



## NOMBRAMIENTOS

Nuevos altos cargos en el  
Ministerio de Fomento

## EN PORTADA

Entrevista a  
D. Francisco Javier  
Rodríguez Argüeso  
Consejero de Obras  
Públicas y Vivienda del  
Gobierno de Cantabria

## RUTAS TÉCNICA

Evaluación del Impacto Energético y Medio Ambiental  
de la Moderación de Tráfico en Travesías  
El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).  
Aplicaciones de los datos LiDAR a la ingeniería civil  
Diseño y Aplicaciones de un Vehículo Instrumentalizado:  
Observación de Maniobras de Adelantamiento



**BETÚN DE BAJA TEMPERATURA DE PROAS:  
LA MEJOR DIRECCIÓN HACIA EL AHORRO DE COSTES  
Y EL RESPETO AL MEDIO AMBIENTE.**

Los **BETUNES** de **BAJA TEMPERATURA** de **PROAS** reducen la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas asfálticas hasta en **40°C\*** lo que supone, en este caso, un ahorro energético y una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero de un **35%\***. Sin duda, otra de las **INNOVACIONES** del Grupo **CEPSA** pensada para serte útil.

[www.proas.es](http://www.proas.es)

**PROAS**

Innovando para ti

\*Comparado con mezclas elaboradas con betunes 35/50 y 50/70.



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

Presidente:  
Roberto Alberola

Comité de Redacción:  
Presidente:  
Roberto Alberola  
Directora Técnica:  
Belén Monercillo Delgado

Vocales:  
José Alba  
Francisco Caffarena  
Alfredo García  
Federico Fernández  
José María Izard  
Carlos Jofré  
Sandro Rocci  
Manuel Romana  
Antonio Ruiloba  
Margarita Torres  
Carmen Velilla

Director Edición:  
Antonio de J. Ulled

EDICIÓN. Redacción, Diseño, Producción,  
Gestión Publicitaria y Distribución:

**SIC** n.i.m.u.p. SL  
Apartado Postal nº 116 ♦ 28250 Torreldones  
Tel.: 918 591 112 ♦ Fax: 918 592 402  
revistarutas@sicrd.es ♦ www.sicrd.es

Director:  
Antonio de J. Ulled

Redacción:  
Juan Vaquerín  
redaccionrevistas@sicrd.es

Publicidad:  
J. V. Vicente  
Tel.: 609 693 592 ♦ revistarutas@sicrd.es

Administración:  
Carmen Ulled

Maquetación:  
Javier Viera

Producción:  
Gráficas Ruiz Polo SA

Distribución:  
Manchalán Gupost SA

Foto Portada:  
Estructura E-15 de la Conexión Suroeste de Murcia.

Depósito Legal: M-35865-2011 - ISSN: 1130-7102  
Todos los derechos reservados.

Notas: 1. Se admiten comentarios escritos a los artículos técnicos publicados en este número, hasta tres meses después de su fecha de salida. El Comité de Redacción se reserva el derecho de decidir la publicación o no de los que juzgue oportuno. No se mantendrá correspondencia alguna con los autores de los comentarios, a los que se agradece en todo caso su colaboración en la orientación de la Revista. 2. 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

© Asociación Técnica de Carreteras

## En este número

### Tribuna Abierta

- 03 Lo que se avecina  
Sandro Rocci

### Nombramientos

- 04 Nombramiento de nuevos altos cargos en el Ministerio de Fomento

### En Portada

- 06 Entrevista a D. Francisco Javier Rodríguez Argüeso  
Consejero de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria

### Rutas Técnica

- 12 Evaluación del Impacto Energético y Medio Ambiental de la Moderación de Tráfico en Travesías

*Energetic and Environmental Impacts Assessment of Traffic Calming in Crosstown Roads*

Ramón Silvestre Martínez y Alfredo García García

- 21 El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Aplicaciones de los datos LiDAR a la ingeniería civil

*The National Program for Aerial Orthophotography (PNOA). LiDAR applications in civil engineering*

Jorge Martínez Luceño, Juan Carlos Ojeda, Guillermo Villa, Eduardo González, Pedro Muñoz y Julián González de Rivera

- 28 Diseño y Aplicaciones de un Vehículo Instrumentalizado: Observación de Maniobras de Adelantamiento

*Design and Applications of a New Instrumented Vehicle: Observing Passing Maneuvers*

Alfredo García, Carlos Llorca, Ana Tsui Moreno y Ana María Pérez-Zuriaga

### Infraestructuras Viarias

- 37 Autovía MU-31. Conexión entre la Autovía MU-30 "Circunvalación de Murcia" y la Autovía A-30 "Albacete-Cartagena". Finalizada la conexión Suroeste de Murcia

Alberto Pleite Casimiro

- 43 Conexión de la CA-250 con la Autovía A-8 y CA-522 Santullán-Sámano. Puesta en servicio de la Variante y túnel de Santullán (CA-251) en Cantabria

Luis Lázaro Gil, Enrique Fajardo Barragán y Eduardo Suengas Goenechea

### Jornadas Técnicas organizadas por la ATC

- 47 Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes  
Álvaro Navareño Rojo

- 54 Drenaje superficial y profundo en infraestructuras del transporte  
La Redacción

### La Asociación informa

- 61 Curso básico de cálculo de estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite

### Fomento informa

- 62 El nuevo Plan de Infraestructuras, Transportes y Vivienda (PITVI) 2012-2024. Autorizaciones y adjudicaciones de contratos

### Noticias

- 68 VI Congreso Nacional de la Ingeniería Civil y otras notas



# 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:

 **Ingeniería  
Sin Fronteras**  
Asociación para el Desarrollo

**ONGAWA**  
INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO

ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Audiberia. 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



# Lo que se avecina

Sandro Rocci  
Profesor Emérito  
Universidad Politécnica de Madrid

El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes... es la oportunidad.

Victor Hugo

**A**l comenzar el siglo XX se produjo un acontecimiento, una revolución imparables al servicio de la libertad, que aún caracteriza a nuestro mundo: la difusión del automóvil. Este medio de transporte no sólo permitía unas velocidades muy superiores a las habituales hasta entonces; sino que prácticamente lo podía manejar cualquiera tras un corto entrenamiento. Pronto no sólo las carreteras sino también las calles experimentaron una profunda transformación, motivada por su adaptación al nuevo medio de transporte. Y la carretera empezó a recuperar el papel preponderante en el sistema de transportes terrestres que le había sido arrebatado por el ferrocarril en la segunda mitad del siglo XIX.

Transcurridos poco más de cien años, nuestra Sociedad resultaría impensable sin disponer de este modo de transporte; aunque perduran lugares donde los desplazamientos se han de apoyar en otros modos, y consiguientemente la vida es de otro modo. Quienes peinamos canas hemos podido asistir a la masificación del transporte individual posibilitada por el automóvil, y los más jóvenes no han conocido otra cosa. Pero el futuro ciertamente no va a consistir en "más de lo mismo": aunque el automóvil no va a reducir su presencia entre nosotros, mal que le pese al muy visible (y aun influyente) sector de opinión que se le opone, muchas cosas han de cambiar para que siga transportando viajeros y mercancías con mayor rapidez y seguridad, consumiendo menos energía y contaminando menos.

El reto es importante. El año pasado (2011) el censo mundial de automóviles y camiones rebasó los 1000 millones de unidades; y se teme que se duplique al finalizar la presente década. Combinando esto con el censo de personas (7000 millones ya), y con que la mayoría de ellas reside ahora en zonas urbanas, se tiene la receta para un atasco universal. Y algunas cosas están cambiando a pesar de nuestra percepción inmediata:

- Aunque los EE.UU. siguen teniendo el mayor índice de motorización (1 vehículo automóvil por cada 1,3 habitantes), su crecimiento anual (1 %) es nimio comparado con el de Brasil y la India (9 %) o con el de China (27,5 %).
- La mayor congestión se da en México D.F., en Shenzhen y Pekín, en Nairobi y Johannesburgo, en Bangalore

y Nueva Delhi. El paradigmático Los Angeles ocupa el puesto 12, Nueva York el 15, y Houston no alcanza el 40.

Para una parte de la industria, la representada por lo que se ha dado en llamar *ITS*, estos atascos, cuellos de botellas y trampas urbanas representan una oportunidad directa de negocio: el alivio de la congestión urbana puede proporcionarles una cuota de un mercado de miles de millones de euros.

Pero al mismo tiempo empiezan a asomar nuevos modelos de negocio. Y no hablo del coche híbrido (un mero problema de coste) ni del eléctrico (pendiente de ciertos avances tecnológicos, como la batería, u organizativos, como la red de recarga). Los fabricantes de automóviles están ya atentos a que en el futuro decline la propiedad de un vehículo, una reminiscencia de cuando los caballeros viajaban en "su" caballo.. No sólo se trata del alquiler convencional, sino de lo que se llama "vehículo compartido" (*carsharing*): unas compañías que poseen miles de coches convenientemente distribuidos por varias ciudades, y cuyos socios sólo tienen que efectuar (vía web o móvil) la reserva del vehículo que hayan seleccionado en función de sus criterios, y utilizar su tarjeta de socio para abrirlo y conducirlo. Han sabido aprovechar los avances en internet y en la tecnología celular para desarrollar una plataforma alternativa de transporte que proporciona unas ventajas muy serias. En España ya funciona en Barcelona.

Pero se vislumbra un modelo todavía más rompedor: coches compartidos (*peer to peer, P2P\**), en el que cualquiera puede poner a disposición, por horas, su propio (e inactivo) vehículo, y obtener de él una renta. Con un simple teléfono móvil se puede localizar un vehículo alquilable próximo, y su propietario puede decidir cuándo, dónde y a quién lo alquila, y por cuánto.

Son éstas los primeros brotes de un futuro no muy lejano, en el que la posesión de un automóvil ya no será ni un ritual de madurez ni un símbolo de estatus: el objeto del deseo será el acceso a la movilidad. De poco serviría hacer que los coches fueran todos "verdes" si no se puede ir en ellos a ninguna parte... ❖

\* Sistema de intercambio de bienes entre sujetos iguales



La Ministra de Fomento, Dña. Ana Pastor dirigiéndose a los nuevos altos cargos del Ministerio de Fomento.

# Nombramiento de nuevos altos cargos en el Ministerio de Fomento

**E**n nuestro número anterior, Rutas 147, y en esta misma sección, publicamos los nombramientos de la Ministra de Fomento, Dña. Ana Pastor y la de D. Rafael Catalá Polo, como nuevo secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras, así como la relación de nuevo altos cargos del Ministerio, aprobados en sendos Consejos de Ministros de los días 30 de diciembre de 2011 y 5 de enero de 2012.

Desde la fecha, a estos nombramientos se les ha unido una serie de nuevos altos cargos (Consejo de Ministros del 20 de enero de 2012) que tomaron posesión de sus nuevas responsabilidades el pasado

24 de enero: Dña. Carmen Librero Pintado, secretaria general del Transportes; D. Rafael Rodríguez Valero, director general de la Marina Mercante; D. Joaquín del Moral Salcedo, director general de Transporte Terrestre; D. Jorge Urrecho Corrales, director general de Carreteras; D. José Manuel Vargas Gómez, director general-presidente de AENA; Dña. Lucía Molares Pérez, directora general de SEPES; D. José Llorca Ortega, presidente de Puertos del Estado; D. Enrique Verdeguez Puig, presidente de ADIF; D. Marcelino Oreja Arburua, presidente de FEVE; Julio Gómez-Pomar Rodríguez, presidente de RENFE; y D. Juan Luis Pedrosa,

director de Sasemar.

Así mismo, el Consejo de Ministros del pasado 24 de febrero, aprobó también, a propuesta de la ministra de Fomento, Ana Pastor, el nombramiento de D. Gonzalo Jorge Ferre Moltó como secretario general de Infraestructuras, que aparece en la foto junto a Pablo Vázquez, presidente de INECO y Pablo Fernández, presidente de SENASA, en el día de su toma de posesión.

A continuación publicamos unas breves semblanzas de los nuevos cargos más directamente relacionados con la infraestructura viaria.

## Secretario general de Infraestructuras: Gonzalo Jorge Ferré Moltó

Gonzalo J. Ferré nació en Alicante en 1954 y es licenciado en Derecho, funcionario del cuerpo de Gestión de la Hacienda Pública e Interventor del Estado. A lo largo de su carrera profesional, ha sido subdirector general del Tesoro, director general de la Empresa Nacional de Autopistas y presidente de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre. También ha sido consejero delegado de Itinere y director general adjunto al presidente del grupo SYV. Hasta su nombramiento ocupaba el puesto de director general de autopistas en Sudamérica en el grupo Abertis.

## Secretaria general de Transportes: Carmen Librero Pintado

Carmen Librero es Ingeniera Superior Aeronáutica y funcionaria del Cuerpo de Ingenieros Aeronáuticos y post graduada en Programa de Alta Dirección de Empresa PADE. IESE 2000. Actualmente ocupaba el puesto de consejera de Transportes en la Representación Permanente de España en la Unión Europea. Además, de 1991 a 2011 desempeñó diversos puestos de responsabilidad en AENA, incluido el de directora general de 2008 a 2011. Así mismo, y previamente, trabajó en la Dirección General de Aviación Civil, así como en la Consultoría Técnica Aeroportuaria Sinconsult.

## Director general de Carreteras: Jorge Urrecho Corrales

Nacido en Madrid, en 1967, es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la U. P. de Madrid, y funcionario de Carrera del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Antes de su nombramiento ocupaba el puesto de Ingeniero Jefe Municipal del Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón.

Además, ha sido consejero técnico de la Dirección General de Carreteras en la Subdirección de Conservación y Explotación del Ministerio de Fomento, y asesor del vicepresidente del Gobierno y ministro de la Presidencia, así como del ministro de Fomento, de 1996 a 2004. ❖



De izquierda a derecha, D. Gonzalo Ferré, secretario general de Infraestructuras; D. Mario Garcés, Subsecretario de Fomento; D. Rafael Catalá, secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras; Dña. Ana Pastor, ministra de Fomento; D. Pablo Fernández, presidente de SENASA, y D. Pablo Vázquez, presidente de INECO



Dña. Carmen Librero jurando su cargo como nueva secretaria general de Transportes del Ministerio de Fomento



D. Jorge Urrecho Corrales jurando su cargo como nuevo Director general de Carreteras en el acto presidido por la Ministra de Fomento, Dña. Ana Pastor, acompañada por D. Rafael Catalá y D. Mario Garcés



**N**acido el 3 de noviembre de 1961, entre 1986 y 1991 fue secretario general de Jóvenes Agricultores de Cantabria, perteneciendo al Comité Ejecutivo de ASAJA. En 1990 fue elegido vicepresidente del Consejo Europeo de Jóvenes Agricultores. Entre 1991 y 1993 fue responsable de las relaciones del Gobierno cántabro con las Comunidades Europeas. Además ha sido presidente de la Obra Social de Caja Cantabria. En 1999 fue elegido vicesecretario general del PP de Cantabria, partido en el que ha sido secretario regional y del que es presidente del Comité Electoral Regional. Es diputado regional desde 1991 y ha sido portavoz del Grupo Popular de 1995 hasta 2011. Desde el año pasado es Consejero de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria.

Entrevista a

## D. Francisco Javier Rodríguez Argüeso, Consejero de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria

**¿Qué supuso para usted su nombramiento como consejero de esta Comunidad?**

6 Que el Presidente de Cantabria haya depositado su confianza en mi persona,

para formar parte de su proyecto de Gobierno, es una satisfacción personal que agradezco sinceramente. Sin embargo, a pesar de mi experiencia política y de gestión, también supone un gran peso de responsabilidad y cierta inquietud por el enorme reto que supone llevar la Consejería de

Obras Públicas y Vivienda en la coyuntura económica actual. Así que, por un lado, satisfacción; por otro, mucha responsabilidad. Además, le aseguro que estoy dispuesto con todo el entusiasmo posible a trabajar y a esforzarme para no defraudar ni a los cántabros ni a su Presidente del Gobierno.



## ¿Cuáles son los objetivos que se ha marcado para esta Legislatura?

Los objetivos de esta Consejería tienen dos aspectos bien diferenciados que tienen que ver con sus competencias. Por una parte, están las obras públicas, que incluyen tres importantes campos: las carreteras autonómicas, las infraestructuras municipales y los puertos de Cantabria.

Dentro de estas tres competencias, para nosotros será fundamental la conservación, pero enfocaremos nuestra actividad también a la construcción de aquellas infraestructuras que sean más necesarias en función de nuestra capacidad económica. Por ello estamos elaborando un nuevo plan de gestión integral de infraestructuras donde integraremos todos los campos de actuación de esta consejería.

Igualmente, estamos llevando a cabo importantes actuaciones en mejora, tanto de la seguridad vial en nuestras carreteras como de la seguridad marítima en nuestros puertos. Así mismo, estamos priorizando también las actuaciones orientadas en ese sentido en las infraestructuras municipales.

Además, y como es lógico y de máxima necesidad, nuestras actuaciones estarán condicionadas al mantenimiento o generación de puestos de trabajo.

Finalmente, y no por ello menos importante, incluso lo consideramos de una gran importancia. En materia de vivienda, nuestra Consejería está actuando en una dirección fundamental: tomar medidas enfocadas a paliar el gravísimo desplome de la construcción en el sector, y, para ello, estamos orientando importantes modificaciones normativas en esta política como son la construcción de viviendas en suelo rústico y otras modificaciones para VPO y vivienda libre.

Por todo ello -prosigue- está desarrollando la normativa para aprobar la futura Ley de Vivienda de Cantabria, y, de este modo, desarrollar el Decreto de habitabilidad de las viviendas y la Inspecciones Técnicas de Edificios (ITES). Así mismo, estamos trabajando con el Ministerio de Fomento para el nuevo Plan Estatal de Vivienda 2013-2017.



El Sr. Argüeso en la inauguración del túnel de Santullán

## ¿Sólo en el tema de compra o también de alquiler?

Por supuesto que no sólo en materia de compra. La situación económica está consignando extremas dificultades para el acceso a una vivienda digna, por lo que estamos incidiendo y desarrollando políticas que beneficien al alquiler. Además, también en estos momentos, una de nuestras máximas prioridades son las políticas de ayudas a la rehabilitación que permitirán una mejor calidad de vida, un nicho de empleo importante y una posibilidad muy importante de rehabilitación de nuestros cascos urbanos y nuestros pueblos más degradados, haciendo de nuestras ciudades unos lugares más habitables. Para ello, hemos incrementado considerablemente la partida de rehabilitación y estamos potenciando los Áreas de Rehabilitación Integral (ARIS).

**Como así lo refleja la prensa, sabemos que mantiene un contacto constante con las diferentes autoridades para planificar y realizar actuaciones de mejora de accesibilidad y movilidad en su región.**

## ¿Hasta qué punto es necesaria esa comunicación y qué beneficios reporta?

El trabajo diario con los Ayuntamientos y con el Gobierno de España es un elemento básico y una obligación que tenemos con los ciudadanos. En momentos de dificultades, más que nunca, es necesaria la máxima coordinación para conseguir la máxima eficacia y eficiencia en la gestión de los recursos públicos.

## Volviendo a las infraestructuras viarias, ¿cómo se clasifica y cuál es la longitud de la red de carreteras de su competencia?

Dentro de las competencias de nuestra comunidad autónoma de Cantabria tenemos tres tipos principales de carreteras, y, excluyendo los denominados caminos, sendas y carriles bicis que tienen un carácter peatonal o deportivo, esta Comunidad dispone de 32 carreteras primarias, 34 carreteras secundarias y 310 locales o de tercer orden que forman la red de carreteras autonómicas, que en total suman unos 2000 kilómetros.



Para el Consejero, el contacto constante y la coordinación con Ayuntamientos y con el Gobierno de España es un elemento básico y una obligación

## ¿Cómo se estructura su Departamento?

La Consejería a la que represento tiene dos Direcciones Generales. Por un lado, la denominada "Obras Públicas", de la cual dependen las infraestructuras viarias de carreteras autonómicas y también la colaboración con obras municipales. En este tema hay que aclarar que, desde esta legislatura, el Director General de Obras Públicas asume también la competencia del Ente público Puertos de Cantabria, del cual dependen los puertos de competencia autonómica de nuestro litoral. En la anterior legislatura existía un director de carreteras y uno de puertos.

Por otro lado, otra Dirección General es la de Vivienda y Arquitectura, que tiene como cometido el desarrollo de políticas de mejora y acceso a la vivienda, así como de la gestión, inspección y control de las todas las Viviendas de Protección Oficial que se hagan en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Así mismo, y vinculado a esta Consejería, está el Ente Público de Puertos, mencionado anteriormente, cuya competencia

es la gestión de los puertos. Además, a partir de esta legislatura se incluye también, la gestión de dos "parkings" públicos: el del puerto de San Vicente y el de Castro Urdiales.

Finalmente, del mismo modo, disponemos de la empresa GESVICAN, cuyo objetivo es el de impulsar la promoción de viviendas de protección oficial y que también desarrolla las encomiendas de gestión de esta consejería en el sector de la construcción o gestión de infraestructuras de interés público y el de apoyo al Plan nacional de Vivienda.

## ¿Con qué presupuesto cuenta para este año 2012 y de qué forma se distribuye?

Para este año, el presupuesto de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda asciende a 108 730 077 euros. Como ve, son unos presupuestos enormemente cautos de la gestión anterior por lo que tenemos que hacer frente a inversiones realizadas en legislaturas anteriores.

De dicho montante presupuestario, 90,5 M€ aproximadamente van dedicados

a inversiones, de los que 53 M€ serán para carreteras autonómicas, 13,8 M€ para infraestructuras municipales, 18,3 M€ para inversiones en vivienda, 4,5 M€ para puertos y el resto para servicios generales.

El capítulo 1 de personal asciende a 11,6 M€ y los gastos corrientes a 3 M€. Como se puede observar son unos presupuestos enormemente austeros en su gasto corriente.

Igualmente también hay que destacar que se han incrementado considerablemente los recursos para la rehabilitación de viviendas.

**Dicho esto, ¿de qué forma le ha afectado la actual crisis económica y cuáles son las directrices adoptadas por esta situación, dado que, según nuestras informaciones y así lo acaba de afirmar, una partida muy grande de su presupuesto estaba comprometida con anterioridad?**

La crisis económica, sin duda, supone un gran obstáculo que este Gobierno está intentando solventar con responsabilidad. Un ejemplo que se encuentra en nuestros presupuestos es el de inversiones en obra nueva de las carreteras autonómicas, donde de los 41 996 990 euros destinados, están comprometidos en plurianuales o pagos aplazados 40 598 069,15 euros, dejando para posibles actuaciones 1 398 920,85 euros.

Además nos encontramos con un retraso de las obras de mayor envergadura que se están realizando en carreteras autonómicas, como consecuencia de no haberse realizado los informes ambientales con anterioridad, lo que hace que los modificados y las actualizaciones de precios incrementen sensiblemente sus costes.

Además, también tenemos el problema de asumir unas grandes deudas por las expropiaciones realizadas desde hace varios años.

En definitiva, la crisis económica hace que los presupuestos no se puedan incrementar, como consecuencia de la disminución de los ingresos de la Administración, y,

al mismo tiempo, tener que hacer frente a todos los problemas que le he mencionado anteriormente, lo que dificulta gravemente nuestra gestión futura.

Por ello, las directrices de esta consejería son: la máxima austeridad, el máximo control del gasto para hacer frente al pago de las deudas y poder destinar el máximo de los recursos económicos a la inversión como pieza clave para modernizar nuestra comunidad autónoma. Pero también, fundamentalmente, para detener la sangría del desempleo en los sectores dependientes de esta casa.



Entrada al túnel de Santullán

### **Sin embargo y a pesar de lo que dice, creo que coincidirá con nosotros que la infraestructura del transporte es un elemento fundamental para la modernización y la reactivación del tejido productivo de una sociedad**

Desde luego, este tipo de infraestructuras son básicas para el desarrollo de Cantabria y nuestro Gobierno lo tiene muy en cuenta a la hora de planificar su política. Por ello, nuestras inversiones se priorizan con un objetivo claro: la modernización de las infraestructuras buscando la máxima eficacia para nuestro tejido productivo, pero también buscando la cohesión social de nuestra Comunidad con el fin de que todos los ciudadanos, vivan donde vivan, dispongan de las máximas oportunidades para desarrollar sus actividades económicas y para mejorar su calidad de vida.

### **¿Qué obra destacaría de las que se encuentran en ejecución y de las que finalizarán a corto plazo?**

Por su complejidad, y su importancia para el desarrollo productivo, destacaría la

carretera del Enlace de La Cerrada - Boo de Guarnizo, puesto que afecta a polígonos industriales importantes para Cantabria.

También, y por su importancia en la cohesión social, destacaría las obras de Puentenansa - La Cohilla, Ojedo - Piedrasluengas y Arredondo-La Sia, que, al no tener en cuenta los informes medioambientales preceptivos para su adjudicación, han conllevado importantes retrasos e incremento de costes. Otro ejemplo de lo que le expongo es la carretera Aes - Los Corrales que ha duplicado su coste y tiene un gran retraso en su finalización.

### **Sin duda una de las aperturas al tráfico más importantes de las realizadas recientemente ha sido la variante y el túnel de Santullán (el primero que se construye en una carretera autonómica) en Castro Urdiales. ¿Qué beneficios está reportando?**

Sin duda alguna, esta obra proporciona importantes beneficios: el primero, para la seguridad vial y el avance medioambiental de los vecinos de Santullán, pero, además, también contribuye de una manera sustancial al desarrollo del suelo industrial, y, por

lo tanto, al desarrollo empresarial al crear un acceso directo y seguro del polígono industrial a la A-8.

### **La conservación en Cantabria y debido a su orografía y clima creemos que es un tema muy importante para esta Comunidad y que requiere de una máxima atención. ¿Cómo afronta este tema la Consejería para este año 2012?**

Cantabria dispone de una red de carreteras autonómicas que, como hemos dicho, es de 2000 kilómetros. Sin duda alguna, desde nuestra constitución como autonomía, los avances en la mejora de nuestras carreteras han sido muy importantes. Por ello, nuestra obligación es llevar a cabo todos los esfuerzos posibles para que las inversiones realizadas se conserven de la manera más eficaz.

Ese será nuestro objetivo prioritario y por ello dedicaremos los máximos recursos económicos dentro de nuestras posibilidades. Este año dedicamos 10,5 M€ que, sin duda, no son los recursos óptimos para la mejor conservación, pero, desde una gestión eficaz, esperamos que permitan ofrecer



El Sr. Argüeso cree que es muy importante que el gobierno central se comprometa a la elaboración, con la máxima urgencia, del proyecto del Desfiladero de la Hermida

a todos los que utilicen nuestras carreteras las mejores garantías de seguridad y comodidad.

### ¿Y la vialidad invernal?

Para nosotros, la vialidad invernal es una preocupación constante porque Cantabria, en una gran parte de su territorio, puede sufrir las consecuencias de la nieve durante muchos meses al año en nuestras carreteras. Por ello, garantizar la movilidad de todos los ciudadanos es básico en el siglo XXI, puesto que la incomunicación produce enormes problemas sociales y gravísimas pérdidas económicas.

No obstante, es cierto que nuestra Comunidad dispone de importantes medios para intentar que ningún ciudadano pueda padecer la incomunicación como consecuencia de la nieve, y que el sistema utilizado en Cantabria para la vialidad invernal es de los pocos utilizados en el resto de Comunidades Autónomas. Además, le puedo asegurar que, en estos momentos, los medios humanos de los que disponemos son de la máxima profesionalidad y experiencia.

Ahora bien, -puntualiza el Consejero- para cumplir con las exigencias de seguridad y con el convenio laboral de los empleados públicos no son suficientes, por lo que estamos trabajando para dar la solución más idónea para los intereses de nuestra Comunidad Autónoma.

### ¿Cuáles son los temas pendientes con el Gobierno Central en cuanto a infraestructuras en Cantabria?

Hay varios temas pendientes con el Gobierno Central en cuanto a infraestructuras en Cantabria.

Es intolerable que, hasta la fecha, no se hubiera realizado ni el más mínimo estudio para la conexión del ferrocarril de Santander con Madrid en nuestra Comunidad. Por ello, es imprescindible que se lleven a cabo los estudios y los proyectos necesarios con la mayor urgencia, para que en Cantabria se diseñen las soluciones que no dejen a esta Comunidad sin capacidad de competir ni en viajeros ni en mercancías con las Comunidades de nuestro entorno: debemos garantizar que los cántabros dispongamos de las mismas oportunidades que el resto de Comunidades vecinas y permitan a la nuestra poder desarrollarse.

Además, Cantabria no estaba incluida en la red básica de transporte europeo, con lo que ello suponía para las inversiones de futuro, y, sobre todo, para el desarrollo del puerto de Santander. Por fortuna, la nueva Ministra de Fomento llegó a tiempo para, antes de que se aprueben definitivamente en Europa los corredores, plantear a las instituciones europeas la in-

clusión de nuestra comunidad.

También la paralización de las obras que se estaban llevando a cabo en la A-8 Solares-Torrelavega, en el puerto de San Glorio y en el puerto de los Tornos ocasionó un gran daño para nuestras infraestructuras y, fundamentalmente, para el empleo en Cantabria. Por ello, nuestra negociación con el gobierno de la nación se centra prioritariamente en la reanudación de las obras de la A-8.

También es muy importante que el Gobierno Central se comprometa a la elaboración, con la máxima urgencia, del proyecto del Desfiladero de la Hermida y del enlace de la A-67 con la A-8 en el nudo de Torrelavega.

Finalmente, y con el ánimo de no extenderme demasiado, destacaría la necesidad de reiniciar tanto la integración de las vías en Camargo y en Santander, como el soterramiento de las vías de FEVE en Torrelavega, que estaban totalmente paralizadas, y comenzar cuanto antes todos los trámites de gestión y administrativos para que dichas actuaciones sean una realidad.

### ¿Qué opina sobre la colaboración público-privada para la creación, conservación y gestión de las infraestructuras?

La colaboración público-privada siempre es importante. Pero, no nos engañemos, en estos momentos existen importantes problemas para financiarse, tanto la empresa privada como las propias Administraciones, que tienen que cumplir con el déficit aprobado por la Unión Europea.

Trabajaremos para intentar lograr dicha colaboración, pero también es cierto que estas colaboraciones son utilizadas fundamentalmente para grandes infraestructuras, tanto para la construcción como para su explotación o conservación.

**Con estas palabras, damos fin a nuestra entrevista y agradecemos a D. Francisco Javier Rodríguez Argüeso la atención dispensada a nuestra revista. ❖**



## 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.

Nuestro compromiso con la seguridad nos permite cumplir con los estándares internacionales más exigentes. Y todo ello gracias a la confianza y colaboración de nuestros clientes.

---

REPSOL YPF Lubricantes y Especialidades  
Glorieta del Mar Caribe, 1. 28043 Madrid.

Más información en [repsol.com](https://www.repsol.com)

---





# Evaluación del Impacto Energético y Medio Ambiental de la Moderación de Tráfico en Travesías

## *Energetic and Environmental Impacts Assessment of Traffic Calming in Crosstown Roads*

Ramón Silvestre Martínez  
Personal investigador, Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC). Universitat Politècnica de València  
Alfredo García García  
Catedrático. GIIC. Universitat Politècnica de València

### Resumen

Los sistemas moderadores del tráfico disminuyen la velocidad y el flujo de tráfico para mejorar la seguridad vial en travesías y vías urbanas, si bien en su diseño no se consideran los criterios de impacto energético y ambiental en el medio urbano.

Para estimar estos impactos inducidos por los elementos moderadores se ha desarrollado una metodología propia basada en datos de recorridos reales. Se ha aplicado un modelo de estimación microscópico que ha permitido obtener el consumo de combustible y la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno en cinco travesías de la provincia de Valencia con diversos moderadores de tráfico.

Los resultados muestran que los elementos moderadores aumentan el consumo de carburante y las emisiones en las travesías de estudio. En particular, en los elementos moderadores del tipo paso de peatones elevado se concluye que el impacto energético y ambiental depende en mayor medida de la disposición de los elementos dentro del sistema moderador de tráfico, que de las características geométricas individuales de los mismos.

Los resultados obtenidos permiten incorporar los principios de sostenibilidad a los ya existentes de funcionalidad del tráfico y seguridad vial en el diseño de sistemas para la moderación del tráfico urbano.

**PALABRAS CLAVE:** Moderación de tráfico, travesía, consumo de carburante, emisiones, impacto ambiental, contaminación atmosférica.

### Abstract

Traffic calming reduces traffic speed and traffic flow in crosstown roads and urban streets to improve road safety. However, its design does not consider energy and environmental impact criteria in urban areas.

In order to estimate both energy and environmental impacts induced by traffic calming measures, a methodology based on naturalistic driving was developed. Then, a microscopic estimation model was applied to obtain fuel consumption and emissions of: hydrocarbons; carbon monoxide; carbon dioxide; and nitrogen oxides in five crosstown roads of Valencia with different traffic calming measures.

The results show that traffic calming measures increase fuel consumption and emissions in the studied crosstown roads. Specifically, it was found that energy and environmental impacts of speed tables depends on the layout of the elements within the traffic calming system, rather than geometric characteristics of each individual traffic calming measure.

The obtained results allow us to incorporate sustainability principles to urban traffic systems. Consequently, not only functionality or road safety but also environmental impacts of traffic calming could be considered.

**KEY WORDS:** Traffic calming, crosstown road, fuel consumption, emission, environmental impact, air pollution.

## Introducción

La actual complejidad de las infraestructuras y servicios del transporte que dan soporte a las relaciones socio-económicas de la sociedad condiciona el desarrollo de soluciones para la mejora de la seguridad vial. La eliminación, reducción y control de las situaciones que comprometen la seguridad vial y peatonal, así como la adecuada gestión del tráfico para evitar la congestión y los viajes innecesarios, se establecen como criterios básicos, particularmente en las zonas urbanas.

Cada vez es más frecuente la implementación de medidas de moderación del tráfico en travesías para reducir tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes, mediante la moderación de la velocidad e intensidad del tráfico. Sin embargo, actualmente el diseño de sistemas moderadores de tráfico no considera el impacto energético y medio ambiental como factor de diseño.

La implantación de sistemas moderadores de tráfico en travesías condiciona al conductor a que modere su velocidad, rompiendo la continuidad de la vía interurbana y forzando la adaptación al entorno urbano. Esta adaptación ocasiona ciclos de deceleración o disminución de potencia y de aceleración o demanda de potencia, que repercuten en el consumo de carburante y, consecuentemente, en la emisiones de los vehículos.

La polución ocasionada por el tráfico en zonas con moderadores provoca emisiones directas de contaminantes a la atmósfera urbana, tales como dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), así como contaminantes secundarios, resultado de reacciones fotoquímicas, que pueden afectar gravemente a la salud humana (Dab et al., 2001; Hoek et al., 2002) [1,2], especialmente en vías que soportan un gran volumen de tráfico y con poca ventilación.

Por otro lado, las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la formación de ozono ( $\text{O}_3$ ) como consecuencia de reacciones en las emisiones anteriormente descritas, son dos de los gases de efecto invernadero más importantes.

Considerando que la emisión de gases provocada por el tráfico rodado es la fuente principal de polución en zonas urbanas



Figura 1. Paso peatonal elevado en Quatretonda (Valencia)

(Colville et al., 2001) [3], cabe estudiar el efecto de los elementos moderadores y su influencia sobre dichas emisiones.

En particular, se han estudiado los elementos moderadores de tipo paso peatonal elevado (figura 1), que destacan como las medidas de moderación de tráfico más frecuentes, y se caracterizan por poseer un perfil trapezoidal y permitir el paso de peatones sobre ellos.

## Antecedentes

Numerosos estudios han relacionado la utilización de elementos moderadores de tráfico con reducciones de velocidad y de accidentes en travesías, así como de la gravedad de los mismos. Sin embargo, los estudios relativos acerca del impacto de los elementos moderadores sobre el consumo de combustibles y las emisiones consiguientes son relativamente reducidos.

Durante la década de los 90, las investigaciones realizadas respecto a los efectos de la moderación del tráfico sobre el consumo de carburante y las emisiones del tráfico son reducidas, caracterizándose por el aporte de conclusiones variadas y, en ocasiones, contrapuestas.

En la última década, la incorporación de los criterios de sostenibilidad a nivel global ha producido una mayor profusión de estudios en este ámbito.

Así, según Boulter et al. (2001) [4], las medidas de moderación del tráfico aumentan las emisiones de algunos contaminantes producidos por vehículos ligeros. En particular, para vehículos de gasolina sin catalizador, con catalizador y diesel, la

media de emisiones de CO por vehículo y kilómetro recorrido aumentaba en un 34%, 59% y 39%, respectivamente. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  de los vehículos de gasolina aumentaban sólo ligeramente, pero en los vehículos diesel se incrementó en un 30%, siendo este aumento más acusado a mayor severidad en la medida de moderación.

Según un estudio realizado por Daham (2005) [5], mediante pruebas de experimentación de un vehículo ligero de gasolina tipo Euro I, con una serie de reductores de velocidad en una carretera y un medidor portátil tipo *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, se determinó que la moderación del tráfico provocaba un aumento de las emisiones de  $\text{CO}_2$  (90%), CO (117%),  $\text{NO}_x$  (195%) y HC (148%).

Recientemente, Ahn y Rakha estudiaron el efecto de los moderadores de tráfico mediante la utilización de sistemas GPS para la recogida de datos, antes y después de su implantación. Los resultados obtenidos demostraban que las glorietas y reductores de velocidad producían un aumento significativo de emisiones de los vehículos. En particular, los resaltos provocaron un aumento del 51%, 44%, 110%, y 52% de HC, CO,  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}_2$ , respectivamente. Por tanto, se consideró que el uso de sistemas moderadores de tráfico aumentaba el consumo de combustible y las emisiones (Ahn et al., 2009) [6].

Por otro lado, se estableció que una homogeneización en la velocidad de circulación disminuye de forma apreciable las emisiones y el consumo de combustible, ya que se reducen los cambios de regímenes de funcionamiento del motor, aunque en con-

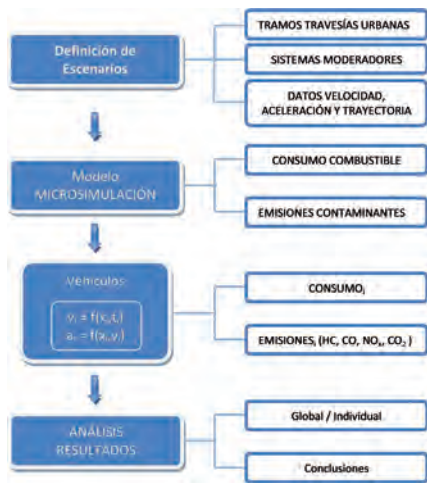


Figura 2. Esquema resumen de la metodología de estudio

diciones de flujo libre esta disminución no es tan significativa (García et al., 2009) [7].

Por tanto, las últimas investigaciones concluyen que la implantación de un sistema de moderadores de tráfico en una travesía, donde anteriormente el flujo libre estaba únicamente condicionado por la limitación de la velocidad, puede ocasionar deceleraciones y aceleraciones en los vehículos, produciendo un aumento en las tasas de consumo de carburante y emisiones.

## Objetivos

El objetivo principal del estudio es el diseño y aplicación de una metodología para caracterizar el consumo de carburante y emisiones asociado a los sistemas moderadores de tráfico, y en particular a pasos elevados, a partir de datos de conducción naturalística y un modelo de estimación a escala microscópica.

Englobados dentro de este objetivo principal, se pueden definir como objetivos secundarios la caracterización del comportamiento de los conductores en travesías con sistemas de moderación a través de rastreadores GPS, la aplicación de la metodología propuesta a los perfiles individuales de velocidad y aceleración, y el análisis del impacto energético y ambiental en función

de las características de las travesías y de los propios elementos moderadores de tráfico. Además, se pretende evaluar la influencia de factores sociológicos del conductor como el género y la edad.

## Metodología

En la metodología desarrollada cada travesía constituye un escenario específico analizado respecto a su localización, condiciones del entorno, elementos moderadores del tráfico existentes y demás factores que puedan incidir significativamente en la evaluación del consumo de carburante y de las emisiones en estudio.

La metodología desarrollada se estructura según las etapas que se definen en los apartados siguientes y que quedan esquematizadas en la figura 2.

### Definición de escenarios

Los escenarios de estudio se corresponden con tramos de travesía, caracterizados por tener una intensidad horaria media por sentido de circulación superior a 30 veh/h, intensidades medias diarias (IMD) entre 2 450 y 4 230 veh/día, longitud suficiente para evitar alcances entre los vehículos y mantener la circulación en flujo libre, así como por la presencia de elementos moderadores del tráfico (MDT).

Los tramos de travesía seleccionados son los correspondientes a los municipios de Albalat de la Ribera, Chelva, Genovés, Llutxent y Quatretonda, todos ellos en la provincia de Valencia.

Con el fin de caracterizar las travesías, se define la densidad de moderadores del tráfico (DMDT) como el número de moderadores de tráfico por unidad de longitud. Para su cálculo se han considerado así mismo los elementos funcionando como puertas de entrada a la travesía, mayorados a efectos de cálculo de la densidad con un

factor de 1,5. Asimismo, también se consideran las curvas con un radio inferior a 150 m, que suponen un control de velocidad por debajo de 50 km/h.

En cuanto a los elementos moderadores existentes, en total se registraron 16 pasos de peatones elevados y 5 lomos transversales. En la tabla 1 se recogen las características principales de cada una de las travesías o escenarios de las observaciones.

### Toma de datos

La toma de datos se realizó en el marco del proyecto de investigación MODETRA "Metodología para el diseño e implantación de sistemas de moderación de tráfico", mediante el uso de rastreadores pasivos GPS que registraron la posición de cada vehículo cada segundo, durante períodos matinales de 8:30 a 14:00, en días laborables y buenas condiciones meteorológicas (Moreno et al., 2011) [8].

Sobre la base de la trayectoria media se obtuvieron tiempo, posición, velocidad instantánea y aceleración de cada vehículo, tomando un intervalo determinado de metros. La precisión de los dispositivos GPS utilizados, en la posición absoluta, es de 2,5 m, realizándose un proceso de depuración dirigido a mejorarla, dando continuidad al comportamiento y a la trayectoria de cada vehículo.

Las características geométricas de los pasos peatonales elevados, que se recogen en la tabla 2, fueron medidas in situ, utilizando un perfilómetro digital, con una precisión de 1/8 de milímetro, desarrollado específicamente para el proyecto MODETRA, con el fin de correlacionar las dimensiones de los elementos moderadores del tráfico con el comportamiento de los conductores. Cabe destacar que la falta de normalización en España en el pasado se hace patente en la gran dispersión de las características geométricas de los elementos construidos in situ.

Tabla 1. Características de los escenarios de observación

Escenario	Límite de velocidad (km/h)	IMD (vh/d)	Longitud (m)	Curvas (ud)	MDT (ud)	Puerta de entrada (ud)	DMDT (ud/km)	
							Sentido ida	Sentido vuelta
Albalat	40	4 230	765	1	5	0	7,8 (E)	7,8 (O)
Chelva	40	2 490	885	1	4	0	5,6 (O)	5,6 (E)
Genovés	40	4 550	945	2	4	1	7,4 (E)	6,3 (O)
Quatretonda	50	3 250	680	0	4	0	5,9 (E)	5,9 (O)
Llutxent	40	2 930	690	0	4	0	5,8 (E)	5,8 (O)



## Reducción de datos

A partir de los perfiles continuos de velocidad y aceleración obtenidos a lo largo de cada travesía y para cada vehículo, y de los correspondientes datos sociológicos, se realizó la reducción de datos mediante técnicas de análisis selectivo.

Se seleccionaron los vehículos circulando en flujo libre, con intervalos de tiempo superior a 3 segundos entre el mismo y el vehículo precedente, mediante un análisis gráfico, comparando el perfil de velocidades individual de cada vehículo con los

globales correspondientes a los percentiles 15, 50 y 85. Así, un perfil individual de velocidades por debajo del percentil 15 o por encima del percentil 85 indica una velocidad inusual, posiblemente debida a una circulación condicionada por otro vehículo o por peatones. Los vehículos condicionados excluidos resultaron ser aproximadamente el 30% de la muestra inicial.

Por otro lado, se eliminaron los perfiles incompletos o con presencia de datos erróneos, resultando una muestra final para el análisis de 448 perfiles individuales de vehículos.

## Modelo microscópico de estimación

El modelo de estimación del consumo de carburante y emisiones utilizado fue el modelo microscópico VT-Micro, desarrollado por el Centro de Movilidad Sostenible del Instituto Tecnológico de Transportes de Virginia.

El modelo VT-MICRO (Rakha et al., 2004) [9], ha sido desarrollado utilizando técnicas de regresión a partir de la experimentación con numerosas combinaciones de los niveles de velocidad y aceleración para

Tabla 2. Resumen de las características geométricas de los pasos elevados

ID.	Localización	DMA (m)	DMS (m)	L (cm)	LE (cm)	LC (cm)	LS (cm)	Hmax (cm)	PV (%)	PE (%)	PS (%)
PE 1	Genovés	60	90	724	149	414	161	8,0	0,92	3,38	4,41
PE 2	Genovés	90	60	724	149	414	161	8,0	0,92	4,41	3,38
PE 3	Genovés	100	145	783	224	337	222	11,9	-0,84	4,63	4,48
PE 4	Genovés	145	100	783	224	337	222	11,9	-0,84	4,48	4,63
PE 5	Genovés	145	130	818	191	463	164	10,7	1,44	3,67	5,40
PE 6	Genovés	130	145	818	191	463	164	10,7	1,44	5,40	3,67
PE 7	Llutxent	380	165	789	202	385	202	9,0	-5,3	3,81	4,17
PE 8	Llutxent	165	380	789	202	385	202	9,0	-5,3	4,17	3,81
PE 9	Llutxent	165	105	808	223	345	240	9,8	-5,48	4,13	4,12
PE 10	Llutxent	105	165	808	223	345	240	9,8	-5,48	4,12	4,13
PE 11	Llutxent	105	155	767	224	320	223	8,5	-5,5	3,19	4,13
PE 12	Llutxent	155	105	767	224	320	223	8,5	-5,5	4,13	3,19
PE 13	Llutxent	155	450	804	215	388	201	12,9	-2,64	5,59	4,52
PE 14	Llutxent	450	155	804	215	388	201	12,9	-2,64	4,52	5,59
PE 15	Quatretonda	30	115	651	151	372	129	6,1	0,98	3,56	3,59
PE 16	Quatretonda	115	30	651	151	372	129	6,1	0,98	3,59	3,56
PE 17	Quatretonda	115	100	743	146	395	201	10,6	2,05	5,40	4,92
PE 18	Quatretonda	100	115	743	146	395	201	10,6	2,05	4,92	5,40
PE 19	Quatretonda	100	95	676	158	292	227	10,3	1,76	6,08	4,42
PE 20	Quatretonda	95	100	676	158	292	227	10,3	1,76	4,42	6,08
PE 21	Quatretonda	95	500	691	143	388	160	10,6	2,77	6,21	6,23
PE 22	Quatretonda	500	90	691	143	388	160	10,6	2,77	6,23	6,21
PE 23	Albalat	110	100	682	152	360	170	10,5	0,20	6,75	6,00
PE 24	Albalat	100	110	682	152	360	170	10,5	0,20	6,00	6,75
PE 25	Albalat	100	270	689	152	378	159	10,3	-0,54	6,54	7,26
PE 26	Albalat	270	100	689	152	378	159	10,3	-0,54	7,26	6,54
PE 27	Chelva	120	125	586	140	319	128	9,4	0,13	6,54	7,26
PE 28	Chelva	125	120	586	140	319	128	9,4	0,13	7,26	6,54
PE 29	Chelva	125	275	637	108	364	166	8,7	0,03	6,64	5,62
PE 30	Chelva	275	125	637	108	364	166	8,7	0,03	5,62	6,64
PE 31	Chelva	275	250	652	113	364	176	8,6	-4,28	4,41	5,87
PE 32	Chelva	250	275	652	113	364	176	8,6	-4,28	5,87	4,41

DMA: Distancia al moderador de tráfico anterior  
DMS: Distancia al moderador de tráfico siguiente  
L: Longitud del paso  
LE: Longitud de la rampa de entrada

LC: Longitud de la meseta central  
LS: Longitud de la rampa de salida  
Hmáx: Altura máxima  
PV: Pendiente de la vía

PE: Pendiente de la rampa de entrada  
PS: Pendiente de la rampa de salida

$$MOE_e = \begin{cases} \exp \left( \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (L_{ij}^+ u^i \cdot a^j) \right) & \text{para } a \geq 0 \\ \exp \left( \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (M_{ij}^+ u^i \cdot a^j) \right) & \text{para } a < 0 \end{cases}$$

$MOE_e$  ; matriz de estimación de tasas de consumo (l/s) y emisiones (g/s)

$L_{ij}^+$  ; coeficientes de regresión, para  $i^{th}$  valores de velocidad y  $j^{th}$  valores de aceleraciones positivas

$u$  ; velocidad instantánea (km/h)

$M_{ij}^+$  ; coeficientes de regresión para  $i^{th}$  valores de velocidad y  $j^{th}$  valores de aceleraciones negativas

$a$  ; aceleración instantánea del vehículo (m/h/s)

Figura 3. Modelo VT-Micro de estimación de consumo de carburante y emisiones

construir un modelo de doble régimen, según se establece en la ecuación de la figura 3.

Para la aplicación del modelo se llevó a cabo la clasificación previa de los vehículos según las distintas categorías de vehículos ligeros de pasajeros (LDV1, LDV2, LDV3, LDV4) y vehículos industriales ligeros (LDT 1, LDT 2). Para ello, a partir de los datos de marca y modelo del vehículo, así como de su matrícula, se obtuvo la tipología del mismo, el rango de tamaño de motor aproximado, el año de fabricación del mismo y el

kilometraje aproximado en función de su antigüedad.

La entrada de datos del modelo se realiza según los perfiles individuales en función del tiempo de viaje (s), velocidad instantánea (km/h) y aceleración instantánea (km/h/s), obteniéndose tras su aplicación los perfiles individuales correspondientes al consumo de carburante (l/s) y emisiones de HC, CO, NOx y CO<sub>2</sub> (g/s).

Posteriormente, se calculan los valores totales acumulados de consumo (l) y emi-

siones (g) a lo largo de todo el trayecto, así como las tasas instantáneas de consumo de carburante (l/100 km) y emisiones (g/km) de cada vehículo a lo largo del recorrido y para el conjunto de la muestra, correspondiente al percentil 50 de los valores instantáneos calculados.

## Resultados y análisis

### Características de las muestras

Los vehículos ensayados son principalmente vehículos de tipo turismo (67%), además de vehículos tipo furgoneta (22%). Según la clasificación requerida por el modelo de microsimulación, en los escenarios se da una presencia mayoritaria de vehículos ligeros de pasajeros tipo LDV3 (42%) y LDV4 (34%), representando los vehículos ligeros industriales (LDT) el 23% de la muestra total.

Respecto del género y edad de los conductores, la mayor parte de los identificados se corresponde con hombres (82%), siendo las mujeres un porcentaje minoritario en la muestra (16%). El grupo de edad mayoritario es el de 36 a 60 años (48%), seguido del grupo comprendido entre los 18 y los 35 años (33%). El porcentaje de conductores de más de 60 años resulta reducido (18%).

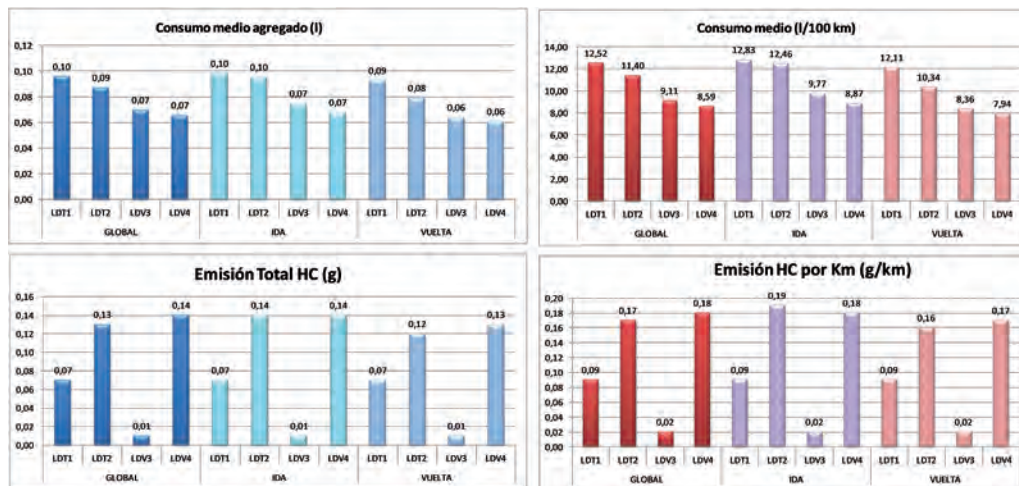


Figura 4. Valores acumulados y tasas de consumo de carburante y emisiones de hidrocarburos por tipo de vehículo en la travesía de Albat de la Ribera

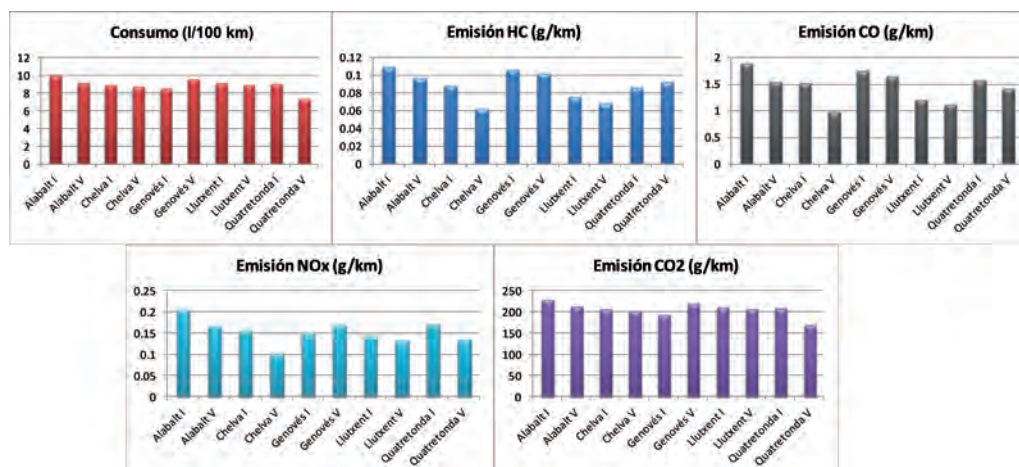


Figura 5. Tasas de consumo de carburante y emisiones por sentidos de circulación (I: Ida, V: Vuelta) en cada travesía

### Tasas de consumo de carburante y emisiones en las travesías

Mediante la aplicación del modelo de estimación a cada uno de los perfiles individuales se obtienen los valores, tanto instantáneos como acumulados, para cada vehículo de la muestra, sentido de circulación y travesía, así como los valores medios globales. En la figura 4 se representan los resultados de la travesía de Albat de la Ribera.

La *tabla 3* y la *figura 5* resumen las tasas medias globales para el conjunto de vehículos de cada muestra, obtenidas en cada travesía observada y por cada sentido de circulación.

Los valores medios para el conjunto de la muestra resultan de una velocidad media de 38,2 km/h, aceleración media positiva de 0,47 m/s<sup>2</sup>, tasa de consumo de combustible de 9,51 l/100 km y tasas de emisiones de HC, CO, NOx y CO<sub>2</sub> de 0,11, 2,27, 0,21 y 217,93 g/km, respectivamente.

Se ha realizado el análisis de la varianza (ANOVA) para las variables de estudio, bajo la hipótesis de poblaciones normales, homocedasticidad respecto a las varianzas de las poblaciones y muestras independientes. Este análisis estadístico se aplica teniendo en cuenta cada escenario y sentido de circulación, determinando si la media de cada una de las poblaciones puede ser estadísticamente la misma que la media del resto de poblaciones. Puesto que los valores-P para cada variable han resultado menores que 0,05, la hipótesis nula se debe rechazar, con un nivel de confianza del 95%, por lo que la variable observada resulta estadísticamente significativa entre los distintos escenarios.

### Ciclos de conducción

Se han representado gráficamente las variables de estudio, para cada escenario y sentido de circulación, a fin de analizar y caracterizar la influencia de los elementos moderadores sobre el consumo de carburante y las emisiones instantáneas. Para ello se disponen en abscisas la longitud recorrida a lo largo de la travesía, en metros, y en ordenadas las variables de estudio: velocidad (km/h), aceleración (m/s<sup>2</sup>), consumo de combustible (l/s) y las tasas de emisión de HC, CO, NOx y CO<sub>2</sub> (g/s).

Mediante análisis gráfico, han sido de-

Tabla 3. Resumen de tasas medias de consumo y emisión por travesías

Travesía	Nº vehículos	Vm (km/h)	AMP (m/s <sup>2</sup> )	Consumo (l/100 km)	HC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)
<b>Albalat de la Ribera</b>	<b>78</b>	<b>34,9</b>	<b>0,46</b>	<b>9,60</b>	<b>0,10</b>	<b>1,71</b>	<b>0,19</b>	<b>221,71</b>
Ida	45	34,7	0,47	9,98	0,11	1,88	0,21	230,23
Vuelta	33	35,1	0,46	9,22	0,10	1,54	0,17	213,19
<b>Chelva</b>	<b>91</b>	<b>36,8</b>	<b>0,38</b>	<b>8,85</b>	<b>0,08</b>	<b>1,25</b>	<b>0,13</b>	<b>204,97</b>
Ida	46	36,6	0,38	8,98	0,09	1,51	0,16	207,32
Vuelta	45	37,1	0,38	8,73	0,06	0,98	0,10	202,62
<b>Genovés</b>	<b>135</b>	<b>33,4</b>	<b>0,37</b>	<b>9,06</b>	<b>0,10</b>	<b>1,70</b>	<b>0,16</b>	<b>207,84</b>
Ida	75	34,1	0,37	8,49	0,11	1,76	0,15	194,47
Vuelta	60	32,6	0,37	9,63	0,10	1,65	0,17	221,21
<b>Llutxent</b>	<b>112</b>	<b>37,9</b>	<b>0,35</b>	<b>9,05</b>	<b>0,07</b>	<b>1,16</b>	<b>0,14</b>	<b>209,87</b>
Ida	50	36,8	0,34	9,18	0,08	1,20	0,15	212,76
Vuelta	62	39,1	0,37	8,93	0,07	1,11	0,13	206,97
<b>Quatretonda</b>	<b>73</b>	<b>40,7</b>	<b>0,33</b>	<b>8,24</b>	<b>0,09</b>	<b>1,49</b>	<b>0,15</b>	<b>190,17</b>
Ida	32	39,4	0,38	9,10	0,09	1,57	0,17	210,18
Vuelta	41	42,0	0,29	7,37	0,09	1,41	0,14	170,15

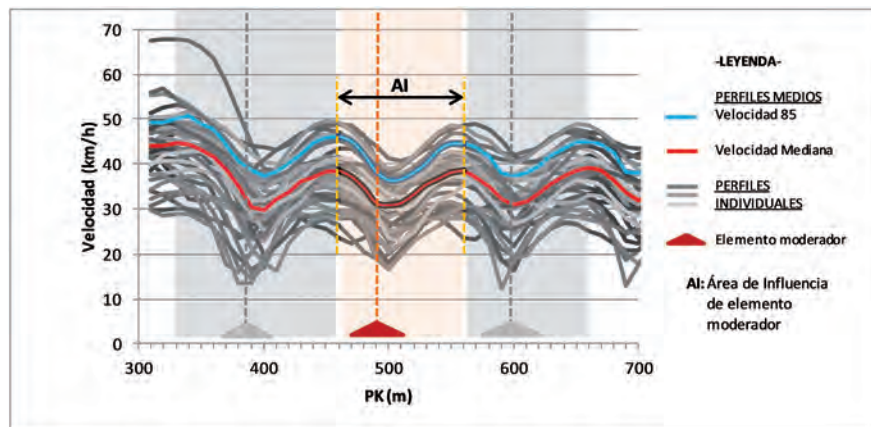


Figura 6. Determinación de las áreas de influencia de cada moderador

terminadas las zonas de influencia de los elementos moderadores. Para ello, se representa el percentil 85 de la distribución de velocidades en cada escenario y sentido de circulación. El punto de inflexión de la curva de velocidades anterior al elemento moderador corresponde con aquel en el que el 85% de los conductores perciben dicho elemento, produciéndose un decremento de la velocidad (*figura 6*). Una vez superado el elemento moderador, se produce un in-

cremento de la velocidad de los vehículos, que finaliza en el punto de inflexión donde la velocidad comienza a disminuir por efecto del moderador siguiente. La longitud de la travesía delimitada por dichos puntos de inflexión, anterior y posterior al elemento moderador, corresponde con la máxima amplitud del valle de distribución de velocidades y determina el área de influencia del elemento moderador.

La *figura 7* muestra los perfiles obteni-

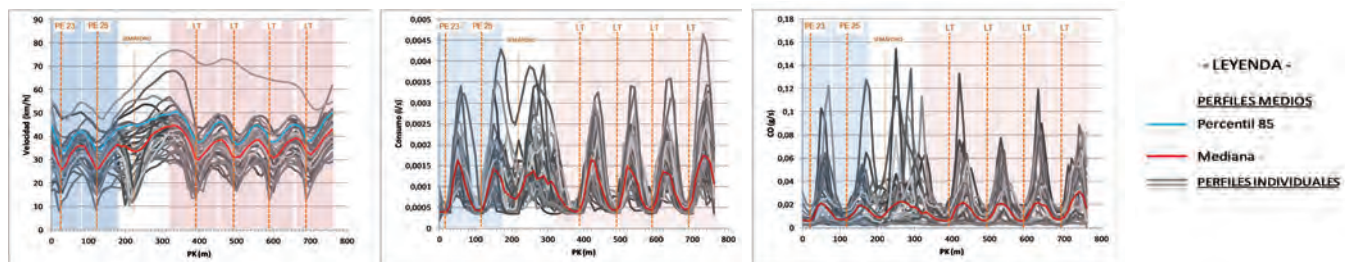


Figura 7. Perfiles de consumo de carburante y emisiones en Albalat de la Ribera, sentido ida (E)

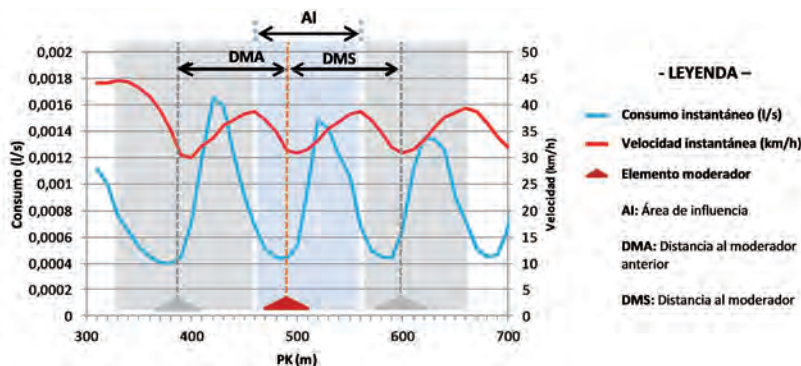


Figura 8. Caracterización del efecto de los elementos moderadores

dos para la velocidad, consumo de carburante y emisión de monóxido de carbono a lo largo de la travesía de Albalat de la Ribera, así como las áreas de influencia de los elementos moderadores existentes.

## Evaluación de los pasos de peatones elevados

El comportamiento de la tasa de consumo instantáneo respecto de la ubicación de los moderadores se caracteriza por un descenso en el consumo desde que se inicia el proceso de deceleración, bien sea por percepción de un elemento moderador o por un cambio de condiciones de entorno, seguido de un aumento brusco una vez superado este (figura 8). Este aumento brusco se debe a que los conductores, una vez reducida la velocidad para superar el elemento moderador, tienden a intentar recuperar rápidamente este diferencial de velocidad perdido, si las condiciones del entorno lo permiten. La tasa de emisión de CO<sub>2</sub> se comporta de manera similar al consumo.

El comportamiento de las tasas de emisiones de HC, CO y NO<sub>x</sub> se generaliza en un aumento de las mismas una vez superado el moderador, aunque en distinto grado, cuando se produce la aceleración del vehículo para recuperar velocidad.

Estos comportamientos están condicionados por las distancias entre moderadores consecutivos, variando según la densidad de moderadores de tráfico en la travesía.

Se ha identificado el área de influencia media de cada moderador en cada sentido, calculando el consumo y las emisiones asociadas a cada paso elevado y para cada vehículo, obteniendo las tasas medias de consumo y emisión asociadas a cada moderador (tabla 4).

Se ha constatado la relación entre consumo de carburante asociado a un determinado

paso elevado con las distancias del mismo a los elementos moderadores anterior y siguiente, así como a la densidad del sistema moderadores de tráfico. La emisión de CO<sub>2</sub> se relaciona igualmente con dichas variables.

Por otro lado, la tasa de emisión de CO se relaciona únicamente con la distancia al elemento moderador anterior y con la densidad de moderadores. En las tasas de emisión de HC y NO<sub>x</sub> se observa cierta relación con la densidad de moderadores y la distancia al moderador anterior, respectivamente, si bien los modelos diseñados explican un porcentaje muy reducido de la variabilidad de las tasas.

En la tabla 5 se relacionan los modelos de mejor ajuste encontrados para la estimación de las distintas variables dependientes contempladas. En ningún caso se encontró significancia estadística para la incorporación como variables independientes de al-

Tabla 4. Tasas medias de consumo y emisión asociadas a cada paso elevado de las travesías de estudio y en cada sentido de circulación

ID.	Localización	V <sub>media</sub> (km/h)	Tasas medias					DMDT (ud/km)
			Consumo (l/100 km)	HC (g/km)	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	
PE 1	Genovés	32,47	11,65	0,16	2,31	0,25	268,51	7,40
PE 2	Genovés	33,69	8,60	0,09	1,35	0,08	197,62	6,30
PE 3	Genovés	33,63	9,49	0,13	1,98	0,16	217,96	7,40
PE 4	Genovés	31,77	9,04	0,10	1,46	0,14	207,24	6,30
PE 5	Genovés	33,21	9,54	0,13	1,87	0,16	219,57	7,40
PE 6	Genovés	31,78	9,10	0,09	1,21	0,09	212,25	6,30
PE 7	Llutxent	37,20	8,83	0,07	1,04	0,08	206,18	5,80
PE 8	Llutxent	39,65	10,60	0,03	0,81	0,12	247,52	5,80
PE 9	Llutxent	36,29	9,75	0,07	1,05	0,13	225,60	5,80
PE 10	Llutxent	37,04	10,08	0,03	0,76	0,10	234,58	5,80
PE 11	Llutxent	34,48	9,60	0,07	1,08	0,13	223,43	5,80
PE 12	Llutxent	37,49	8,83	0,02	0,52	0,08	204,01	5,80
PE 13	Llutxent	35,99	10,42	0,08	1,16	0,15	240,74	5,80
PE 14	Llutxent	39,10	8,78	0,03	0,61	0,08	203,42	5,80
PE 15	Quatretonda	35,43	9,78	0,08	1,14	0,15	228,43	5,90
PE 16	Quatretonda	36,23	9,14	0,11	1,56	0,17	208,91	5,90
PE 17	Quatretonda	36,11	10,29	0,08	1,29	0,18	239,08	5,90
PE 18	Quatretonda	36,91	8,84	0,15	1,98	0,18	203,25	5,90
PE 19	Quatretonda	36,98	10,81	0,08	1,32	0,20	249,51	5,90
PE 20	Quatretonda	39,33	8,15	0,10	1,39	0,12	188,12	5,90
PE 21	Quatretonda	45,74	11,65	0,08	1,57	0,26	272,13	5,90
PE 22	Quatretonda	48,74	6,70	0,09	1,24	0,06	153,33	5,90
PE 23	Albalat	31,49	11,13	0,11	1,73	0,23	259,95	7,80
PE 24	Albalat	31,25	11,46	0,11	1,61	0,16	265,37	7,80
PE 25	Albalat	31,71	11,17	0,11	1,64	0,15	256,05	7,80
PE 26	Albalat	34,50	8,72	0,09	1,39	0,12	203,28	7,80
PE 27	Chelva	27,71	10,39	0,10	1,32	0,15	240,91	5,60
PE 28	Chelva	31,79	9,24	0,02	0,47	0,05	213,77	5,60
PE 29	Chelva	36,19	9,69	0,08	1,34	0,18	226,37	5,60
PE 30	Chelva	36,82	8,08	0,02	0,41	0,05	188,32	5,60
PE 31	Chelva	39,58	9,79	0,08	1,17	0,15	223,20	5,60
PE 32	Chelva	37,99	9,03	0,02	0,49	0,08	211,00	5,60

Tabla 5. Tasas medias de consumo y emisión asociadas a cada paso elevado de las travesías de estudio y en cada sentido de circulación

Variable	Modelo	R <sup>2</sup> (1)
Consumo CC (l/100km)	$CC = 6,71029 - 0,00529817 \cdot DMA + 0,00470484 \cdot DMS + 0,484995 \cdot DMDT$	55%
Emisión CO <sub>2</sub> (g/km)	$CO_2 = 156,15 - 0,123388 \cdot DMA + 0,112915 \cdot DMS + 11,0194 \cdot DMDT$	55%
Emisión CO (g/km)	$CO = -0,202833 - 0,00600686 \cdot DMA + 0,00000925468 \cdot DMA^2 + 0,33527 \cdot DMDT$	51%
Emisión HC (g/km)	$HC = -1,9617 + 0,595454 \cdot DMDT - 0,0422705 \cdot DMDT^2$	45%
Emisión NO <sub>x</sub> (g/km)	$NO_x = 0,181095 - 0,000264899 \cdot DMA$	26%

DMA: Distancia al moderador anterior (m)      DMDT: Densidad de moderadores de tráfico (ud/km)  
 DMS: Distancia al moderador siguiente (m)      (1) Coeficiente de determinación múltiple ajustado

guna de las características geométricas de los pasos elevados.

Bajo la hipótesis de que el diseño óptimo en travesías de doble sentido se produce con elementos moderadores equidistantes, se plantea un escenario teórico donde se distribuyen pasos peatonales elevados de manera uniforme a lo largo del mismo. En este escenario, y a partir de los modelos obtenidos, se estudian las variables consumo de carburante (CC) y emisión de monóxido de carbono (CO), teniendo en cuenta que el resto de variables de los modelos se expresan en función de la distancia entre moderadores.

En este escenario teórico se obtiene que el consumo de carburante (CC) se estabiliza a partir de una distancia entre moderadores comprendida entre 100 y 120 m, con tasas de consumo de carburante de 11,5 y 10,7 l/100 km respectivamente, donde la variación de la pendiente ( $\delta_{cc}$ ) de la curva de consumo es menor o igual que el 1% ( $\Delta\delta_{cc} \leq 1\%$ ), según se muestra en la figura 9a.

Respecto a la emisión de monóxido de carbono (CO), esta se estabiliza en el intervalo comprendido entre 110 y 120 m, con emisiones comprendidas entre 2,3 y 2,0 g/km, donde la variación de la pendiente ( $\delta_{co}$ ) de la curva de emisión de CO es menor o igual que el 1% ( $\Delta\delta_{co} \leq 1\%$ ), según se muestra en la figura 9b.

Por tanto, en travesías de doble senti-

do de circulación, la equidistancia mínima para lograr un decremento sustancial del consumo de carburante y de las emisiones de CO, debe estar comprendida entre los 110 y 120 m.

La equidistancia máxima entre moderadores queda acotada principalmente por criterios de funcionalidad y seguridad vial, si bien se debe considerar que separaciones elevadas influyen en el comportamiento de los conductores, produciendo ciclos de aceleración prolongados y deceleraciones bruscas ante el siguiente moderador, aumentando el impacto energético y ambiental a nivel global de la travesía.

### Influencia de las características sociológicas

La caracterización de los conductores por género, y para un vehículo tipo turismo de clase LDV3, que resulta el más frecuente, indica que las mujeres tienen tasas de consumo y de emisiones ligeramente mayores que los hombres (figura 10 de la página siguiente). No obstante, esta caracterización carece de significancia, dado que el número de mujeres en la muestra es muy reducido y no resulta representativo.

De la caracterización de los conductores por edades se desprende que, para un mismo tipo de vehículo tipo turismo LDV3,

el grupo de edad con mayores tasas de consumo y emisiones es el de edades comprendidas entre 36 y 60 años. Cabe destacar que, incluso realizando una agrupación de edades con intervalos más acotados, los grupos más jóvenes no adquieren relevancia por tasas de consumo y emisiones frente al resto. Sin embargo, el grupo de conductores con edades mayores que 60 años se caracterizan por un alto consumo y tasa de emisión de CO<sub>2</sub>, si bien las emisiones de HC, NO<sub>x</sub> y CO son moderadas.

### Conclusiones

Los elementos moderadores de tráfico provocan un aumento de los ciclos de aceleración/deceleración en el flujo de tráfico, produciendo un aumento del consumo de carburante y emisiones de los vehículos. La magnitud de este incremento depende, en gran medida, del tipo de conducción, de las características del vehículo y de los propios elementos moderadores.

Respecto de las características sociológicas, las variaciones en las tasas de consumo y emisión por género carecen de significancia estadística. Las mayores tasas de emisión y consumo se obtienen para conductores del grupo de edades comprendidas entre 36 y 60 años.

Respecto de los pasos elevados, el im-

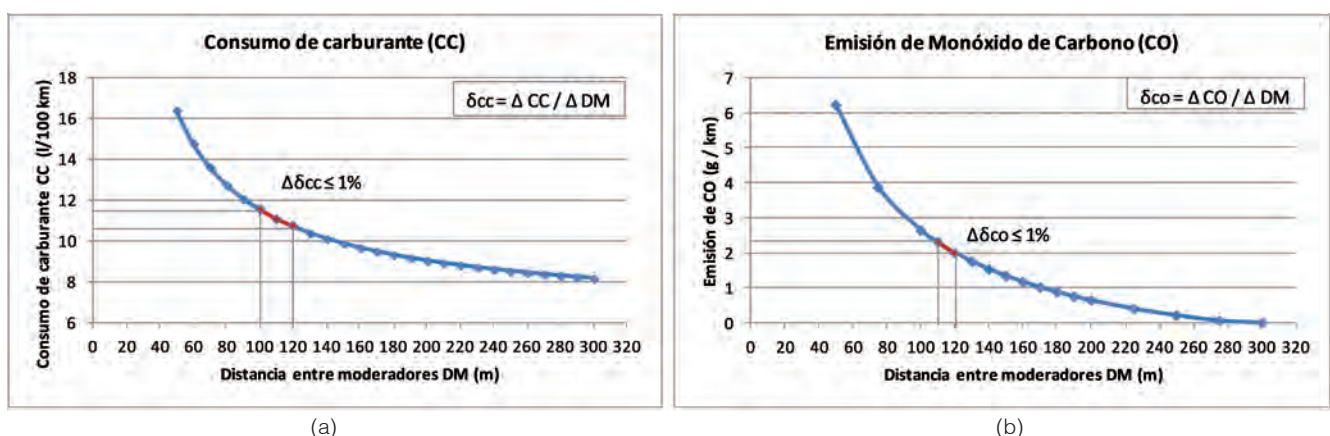


Figura 9. Evolución del consumo de carburante y las emisiones de CO en función de la distancia entre moderadores

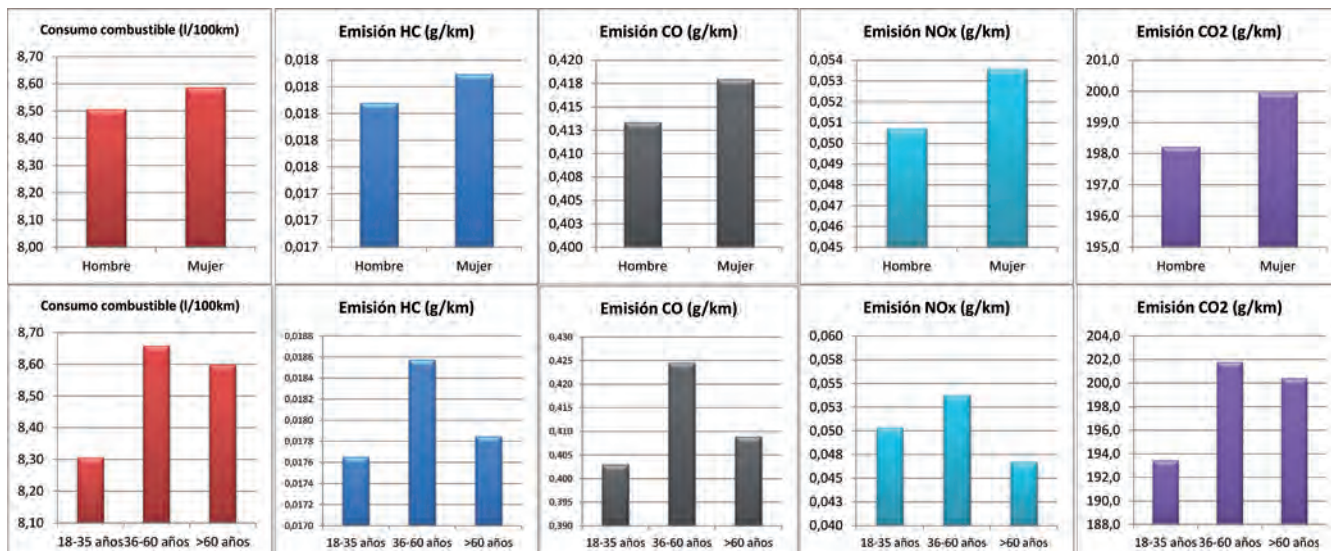


Figura 10. Caracterización de consumos de carburante y emisiones en vehículos tipo LDV3 según género y grupos de edad

pacto energético y ambiental depende en mayor medida de la disposición de los elementos dentro del sistema moderador de tráfico, y no de las características geométricas individuales de los mismos. Por lo tanto, además del adecuado diseño individualizado de los pasos elevados, es necesario un diseño óptimo de funcionamiento en conjunto como un sistema de moderadores de tráfico.

Considerando que en tramos de travesía con doble sentido de circulación el diseño óptimo requiere que los elementos moderadores sean equidistantes, la distancia mínima a mantener entre pasos elevados, según los modelos obtenidos de consumo de carburante y emisión de monóxido de carbono, se sitúa entre los 110 y 120 m. La separación máxima está condicionada principalmente por criterios de funcionalidad y seguridad vial, si bien cabe considerar que equidistancias muy elevadas pueden potenciar el impacto energético y ambiental a nivel global de la travesía.

Por último, la optimización del impacto energético y ambiental de los sistemas de moderación de tráfico en travesías pasa por el diseño de un espaciamiento entre elementos que permita un flujo de tráfico de velocidad uniforme, eliminando las deceleraciones y aceleraciones bruscas e induciendo una conducción menos agresiva. La consideración del sistema de moderación como un conjunto de elementos funcionando de forma integrada, y no individualizada, posibilita un decremento sustancial de consumo de carburante y emisiones.

Los resultados obtenidos permiten incorporar los principios de sostenibilidad a

los ya existentes de seguridad vial en el diseño de sistemas para la moderación del tráfico urbano.

## Agradecimientos

La presente investigación no habría sido posible sin contar con los datos de las observaciones efectuadas en travesías en el marco del proyecto de investigación “Metodología para el diseño e implantación de sistemas de moderación de tráfico” (MODETRA), subvencionado por el CEDEX del Ministerio de Fomento de España, con Referencia PT-2007-052-23/APM.

Asimismo, agradecer al Profesor Hesham Rakha, Director del Centro para la Movilidad Sostenible del Instituto Tecnológico del Transporte de Virginia, su colaboración mediante el modelo de estimación de consumo y emisiones VT-Micro.

## Referencias

[1] Dab, W., Ségala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Le Moullec, Y., Le Tertre, A., Médina, S., Quénel, P., Wallaert, B. y Zmirou, D. (2001). Air pollution and health: correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. *J Air Waste Manag Assoc.* 2001 Feb; 51(2): 220-35.

[2] Hoek, Brunekreef, Goldbohn, Fischer y van den Brandt (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*, 360 (9341): 1203-9.

[3] Colville, R. N., Hutchinson, E.J., Mindell, J. S. y Warren, R. F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmos.Env.* 35(9), 1537-1565.

[4] Boulter, P.G., Hickman, A.J., Latham, S., Layfield, R., Davies, P. y White-man, P., (2001). The impacts of traffic calming measures on vehicle exhaust emissions, *TRL report 482*. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

[5] Daham, B., Andrews, G.E., Li, H., Partridge, M., Bell, M.C. y Tate, J. (2005). Quantifying the Effects of Traffic Calming on Emissions Using On-road Measurements. Institute of Transport Studies, University of Leeds. ISSN 0148-7191.

[6] Ahn K., Rakha H. (2009). A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming. *Transportation Research Part D: Transport and Environment (2009)*. Volume: 14, Issue: 6, pp 411-424.

[7] García, A. y Pérez, A. (2009). Estudio sobre la gestión variable de la velocidad en las vías de acceso a las áreas urbanas. Cambra de Comerç de Barcelona.

[8] Moreno, A.T., García, A., y Romero, M.A. (2011). Speed table evaluation and speed modeling in cross-town roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2203, pp 85-93.

[9] Rakha H., Ahn K. y Trani A. (2004). The VT-Micro Framework for Modeling of Hot Stabilized Light Duty Vehicle and Truck Emissions. *Transportation Research, Part D: Transport & Environment*, Vol. 9(1), January, pp. 49-74. ❖

# El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Aplicaciones de los datos LiDAR a la ingeniería civil

*The National Program for Aerial Orthophotography (PNOA). LiDAR applications in civil engineering*



Jorge Martínez Luceño  
Juan Carlos Ojeda  
Guillermo Villa  
Eduardo González  
Pedro Muñoz  
y Julián González de Rivera  
*Instituto Geográfico Nacional*

## Resumen

Desde el año 2004, el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) proporciona imágenes aéreas, ortofotos y modelos digitales del terreno (MDT) de todo el territorio, con una periodicidad de dos años, siendo éste un proyecto coordinado por el IGN, y cofinanciado y compartido por 7 Ministerios y todas las Comunidades Autónomas.

Durante todos estos años el proyecto PNOA ha evolucionado continuamente, adaptándose a las necesidades de los usuarios y al desarrollo de las nuevas tecnologías. En el año 2009 debido al desarrollo de la tecnología del lidar terrestre aerotransportado, y la necesidad por parte de los usuarios de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de una mayor precisión y resolución, en una decisión consensuada entre los organismos participantes, se decide incorporar la captura de los datos LiDAR en los vuelos fotogramétricos. Estos datos son de gran utilidad en la realización de cartografía de zonas inundables, proyectos de carreteras, inventarios forestales, detección de cambios, etc.

PALABRAS CLAVE: IGN, PNOT, PNOA, ortofoto, Modelo Digital del Terreno, LiDAR

## Abstract

Since 2004, National Program for Aerial Orthophotography (PNOA) provides aerial imagery, orthophotos and digital terrain models (DTM) of whole territory, updated every two years. PNOA project is coordinated by IGN, and it is financed and shared by 7 ministries and the Regional Governments.

During all these years the PNOA project has been continuously evolving according to the user needs and taking into account the new technology advances. In 2009 all the members of this project decided to incorporate the LiDAR data acquisition in flights to get a better accuracy and resolution in the digital elevation models (DEM). These data are useful in flood areas mapping, road projects, forest inventory, change detection, etc.

KEY WORDS: IGN, PNOT, PNOA, orthophoto, Digital Terrain Model, LiDAR

## Introducción

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es una Dirección General del Ministerio de Fomento que tiene encomendada, entre sus competencias, la dirección y el desarrollo de planes nacionales de observación del territorio con aplicación geográfica y cartográfica, así como el aprovechamiento de sistemas de fotogrametría y teledetección, y la producción, actualización y explotación de modelos digitales del terreno a partir de imágenes aeroespaciales [1].

Con el objetivo de cumplir con este mandato y dar respuesta a los importantes retos que España tiene en materia de gestión de recursos, desarrollo sostenible, impulso de infraestructuras, etc., para los que es necesario un conocimiento exhaustivo del territorio a partir de imágenes aéreas y espaciales, el IGN promovió la creación del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT).

El PNOT [2] surge con el fin de coordinar las actuaciones de las distintas Administraciones Públicas en la obtención y difusión de información del territorio, con los siguientes objetivos:

- Satisfacer las necesidades de las Administraciones Públicas españolas, de la Unión Europea y del resto de usuarios.
- Obtener información del territorio de forma coordinada (espacial, temporal y semánticamente).
- Obtener, tratar y difundir información y productos homogéneos y de calidad para toda España.
- Cumplir con la Directiva europea INSPIRE.

EL PNOT se estructura en 3 Planes Nacionales: el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) [3], el Plan Nacional de Teledetección (PNT) y el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), coordinados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este proyecto se desarrolla en dos fases:

1. Obtención de imágenes de satélite y aéreas de todo el territorio nacional (proyectos PNT y PNOA).
2. Extracción de información relativa a la ocupación del suelo (cobertura y uso), a partir de las imágenes capturadas en la primera fase (SIOSE).

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea

	GSD Vuelo (cm)	GSD Ortofoto (cm)	Precisión altimétrica del Modelo Digital de Elevaciones	Paso de malla	Precisión planimétrica de la ortofoto
PNOA 50cm	45	50	RMSE $z \leq 2,00$ m	5m x 5m	RMSE $x,y \leq 1,00$ m
PNOA 25cm	22	25	RMSE $z \leq 1,00$ m	5m x 5m	RMSE $x,y \leq 0,50$ m
PNOA 10cm	9	10	RMSE $z \leq 0,20$ m (con LiDAR)	1m x 1m	RMSE $x,y \leq 0,20$ m
LIDAR			RMSE $z \leq 0,15$ m	1.41 x 1.41m	-

Figura 1. Resumen de características técnicas de PNOA

rea (PNOA) nace en el año 2004, con el objetivo de aplicar la directiva INSPIRE [4] a la Observación del Territorio. Antes de 2004, diversos Ministerios y prácticamente todas las Comunidades Autónomas producían ortofotos de forma aislada y descoordinada, por lo que en ocasiones, en un mismo año, se duplicaba la captura de información en una misma zona. La aparición de este proyecto supone una mejora en la coordinación y un ahorro de costes para todas las Administraciones implicadas, ya que es un proyecto cofinanciado y compartido

por 7 Ministerios y todas las Comunidades Autónomas.

La finalidad del PNOA es la captura periódica de imágenes aéreas de todo el territorio nacional con tamaños de pixel de 0,22 ó 0,45 m (según necesidades), a partir de las cuales se obtienen entre otros productos: **Modelos Digitales de Elevaciones (DEM)** en formato GRID, con un paso de malla de 5 m; y **ortofotos** con un tamaño de pixel de 25 o 50 cm (según el tamaño de pixel del vuelo). Los detalles técnicos del proyecto (figura 1) se pueden consultar

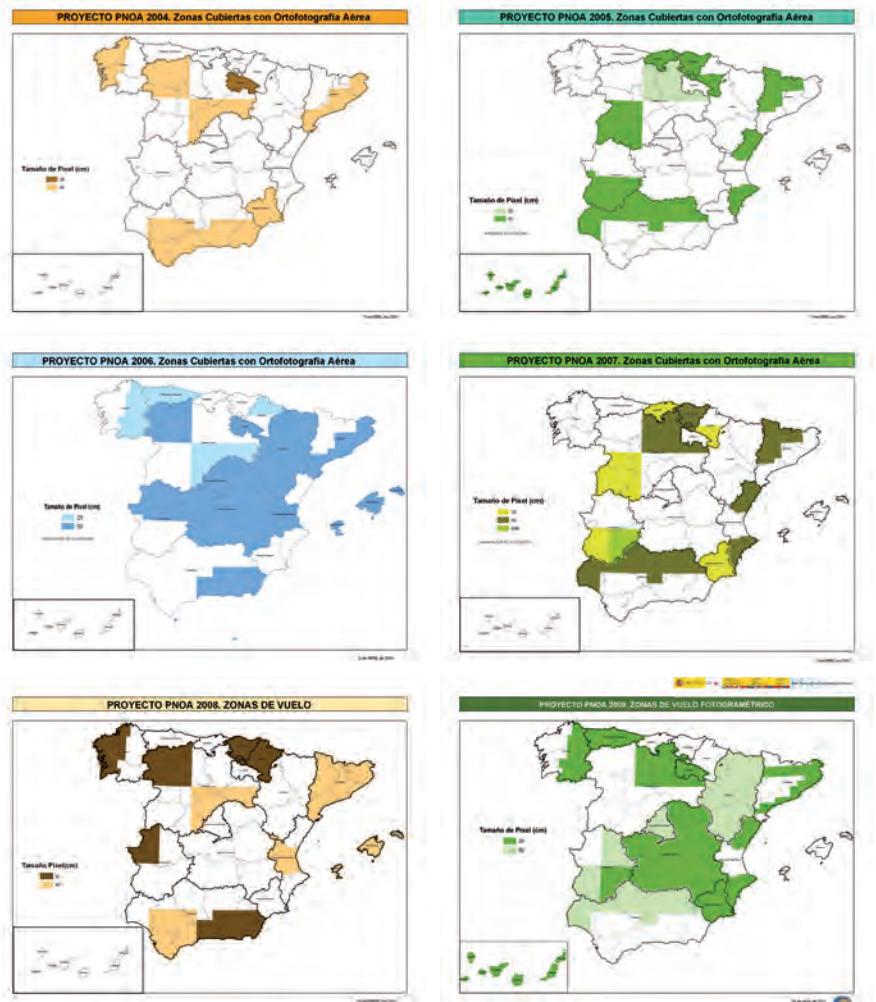


Figura 2. Coberturas de Ortofoto PNOA (2004-2009)



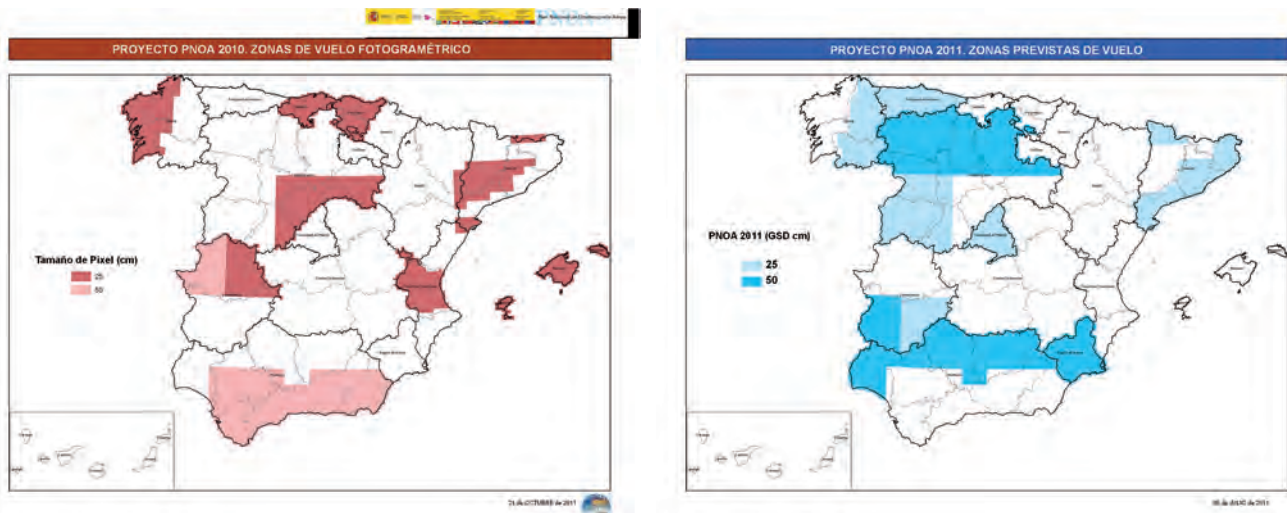


Figura 3. Coberturas de Ortofoto PNOA (2010-2011)

en la página web del proyecto PNOA, a la que se accede a través de la página web del IGN [5].

Estos productos son empleados como información de base en un gran número de proyectos que se llevan a cabo por parte de las diferentes Administraciones Públicas (Administración General del Estado, Comunidades Autónomas y Ayuntamientos) y otro tipo de usuarios (como empresas de ingeniería, Google Earth, etc).

Entre los proyectos más destacados que se pueden consultar por Internet y en los cuales se emplean las ortofotos producidas en PNOA están: IBERPIX [6] (visor del Instituto Geográfico Nacional), SIGPAC [7] del Ministerio de Medio Ambiente, la Sede Electrónica del Catastro [8], la IDEE [9], Cartociudad [10], los visores cartográficos de las Comunidades Autónomas y los de las Confederaciones Hidrográficas.

Las ortofotos se distribuyen gratuitamente en ficheros según las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN50) en la web del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) [11]. En esta página se pueden descargar además, Modelos Digitales de Elevaciones con paso de malla de 200 m y 25 m.

### Cobertura de ortofotos en España

Desde el año 2004, el PNOA ha completado 3 coberturas de toda España (figuras 2, de la página anterior, y 3), pero la mayoría de las Comunidades han terminado ya una tercera y las más avanzadas se encuentran completando la cuarta e incluso la quinta cobertura. Inicialmente el proyecto se diseñó para renovar la capa de ortofotos cada dos años. Actualmente, dada la si-

tuación presupuestaria, está en estudio un aumento de los plazos de renovación para pasar a una periodicidad de tres años.

### Fundamentos de la tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging)

El LiDAR aerotransportado es un sistema activo basado en un dispositivo láser, que emite un haz de luz (pulsos) hacia la superficie terrestre. Un espejo desvía el haz y permite barrer el terreno transversalmente. El sensor LiDAR mide el tiempo que tardan los pulsos en reflejarse en los objetos situados sobre la superficie terrestre y volver de salida del rayo láser (figura 4).

Las coordenadas de los puntos se obtienen a partir de: la posición y orientación del sensor LiDAR instalado en el avión, la distancia medida entre este y el punto del terreno, y el ángulo de salida del rayo láser.

La posición (x,y,z) del sensor LiDAR se obtiene mediante un receptor GPS/GNSS instalado en el avión empleando métodos cinemáticos, y la orientación mediante una unidad de navegación inercial (IMU/INS). La precisión de las coordenadas de la nube de puntos LiDAR, dependerá de la precisión con la que se obtenga en cada momento la posición y orientación del sensor: por lo que en el proyecto PNOA la distancia entre el receptor GPS/GNSS instalado en el avión y la estación de referencia GPS colocada en tierra tiene que ser menor de 40 km [12].

Los sensores actuales son capaces de distinguir hasta 4 retornos para cada pulso, por lo que en algunas zonas de vegetación

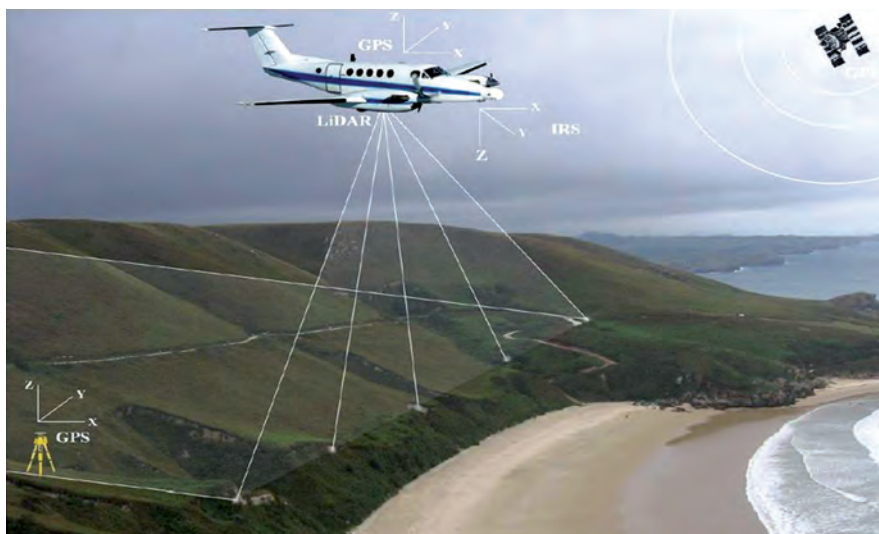


Figura 4. Barrido LiDAR (Imagen cortesía de DIELEMO 3D S.L)

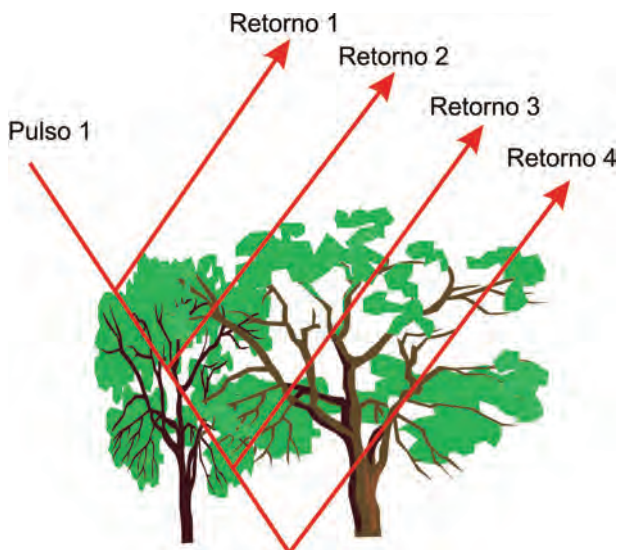


Figura 5. Múltiples retornos

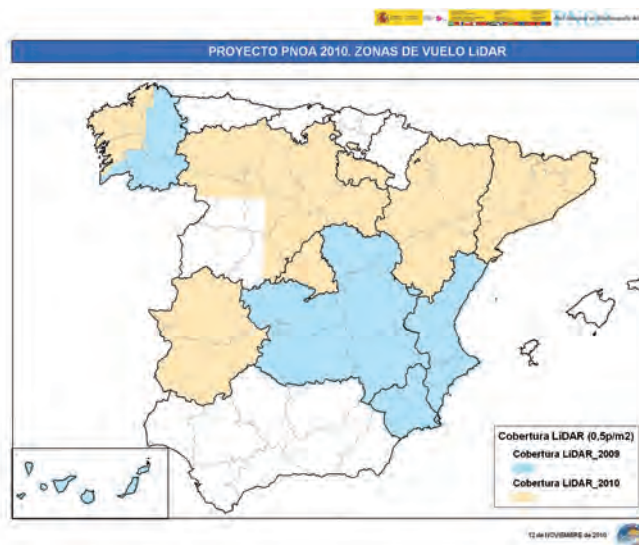


Figura 6. Cobertura LiDAR en España (situación actual)

poco densa, pueden atravesar la cubierta vegetal y es posible diferenciar la vegetación del suelo, es decir se podrán calcular las alturas de los árboles. Las superficies de agua no producen retornos por lo que son fácilmente detectables (figura 5).

## Cobertura LiDAR en España (figura 6)

El proyecto PNOA se encuentra en continua evolución, adaptándose a las necesidades de los usuarios y al desarrollo de nuevas tecnologías, tanto en la captura de la información del territorio, como en el tratamiento de los datos. Entre sus logros se encuentra la incorporación al proyecto de las cámaras digitales junto con dispositivos GPS-IMU (2006) y los sensores LiDAR (2009), lo que ha permitido a las empresas españolas situarse a la vanguardia en la utilización de la tecnología más avanzada, y ser muy competitivas a nivel internacional.

El último ejemplo de incorporación al proyecto de las nuevas tecnologías se produce en el año 2009. En este año surge la necesidad de obtener Modelos Digitales del Terreno (MDTs) de alta precisión, en las Cuencas Hidrográficas competencia de la Administración General del Estado [13].

Ante esta necesidad, el IGN inicia la **cobertura con datos LiDAR** de todo el territorio nacional, empleando para ello sensores LiDAR aerotransportados de última generación. Las principales características de las nubes de puntos obtenidas son: distancia media entre puntos de 1,41 m, den-

sidad media de 0,5 pulsos/m<sup>2</sup> y precisión altimétrica mejor de 20 cm. Los MDTs de alta precisión se obtienen procesando estas nubes de puntos LiDAR.

La cobertura LiDAR de todo el territorio de un país, es un hecho novedoso a nivel internacional, ya que únicamente Dinamarca, Suiza y Holanda disponen de una cobertura completa, mientras que otros países como Estados Unidos, Suecia y Finlandia aún no la han completado.

En España actualmente están cubiertos con datos LiDAR 358 000 km<sup>2</sup>, quedando pendientes 147 000 km<sup>2</sup> para completar todo el territorio. En el año 2009 se capturaron datos en las Comunidades Autónomas de Castilla la Mancha, Valencia, Murcia, Canarias y la mitad este de Galicia, y durante el año 2010 se cubrieron las Comunidades de Aragón, Madrid, Extremadura, La Rioja, 3/4 partes de Castilla y León, la mitad Oeste de Galicia y se terminó la cobertura de Cataluña, (que se inició en 2008).

Hasta hace no mucho tiempo, la tecnología LiDAR había sido utilizada exclusivamente en investigación o en estudios de zonas muy limitadas debido a su elevado coste, pero el proyecto PNOA ha cubierto el 70% de España gracias a la utilización de sistemas de captura de última generación y a la división del territorio en zonas de trabajo extensas, lo que ha permitido reducir el coste unitario de captura a 14 euros/km<sup>2</sup>. (En zonas montañosas este coste unitario es algo más elevado debido a la complejidad de las operaciones a realizar para cumplir con las especificaciones técnicas exigidas en el proyecto).

## Aseguramiento de la calidad y control de calidad en la cobertura PNOA-LiDAR

Como en cualquier actividad cartográfica, los procedimientos de captura de la nube de puntos LiDAR y el proceso de los datos deben estar basados en una metodología que permita garantizar la calidad de los mismos. El proyecto PNOA tiene establecido unas Especificaciones Técnicas [14] que incorporan procedimientos operativos, unos para ser realizados antes de que se ejecute el vuelo (Aseguramiento de la Calidad) y otros a realizarse una vez capturada y procesada la nube de puntos LiDAR (Control de Calidad).

Entre los primeros están los vuelos para calibrar el sensor LiDAR. El objetivo de estos vuelos de calibración es determinar los errores inherentes al sistema, de manera que sean tenidos en cuenta al realizar la planificación del vuelo y el proceso de los datos y no afecten a las características exigidas en el proyecto, como por ejemplo a la densidad de puntos o a su precisión altimétrica.

Los procedimientos de Control de Calidad están dirigidos fundamentalmente a comprobar que se cumplen las características definidas en el proyecto. Algunos de los controles de calidad que se realizan son: determinación de la densidad de puntos, porcentaje de solape entre pasadas, identificación de zonas sin puntos, etc. Además se realiza un chequeo adicional que permite establecer la precisión altimétrica de los datos. El chequeo consiste en com-

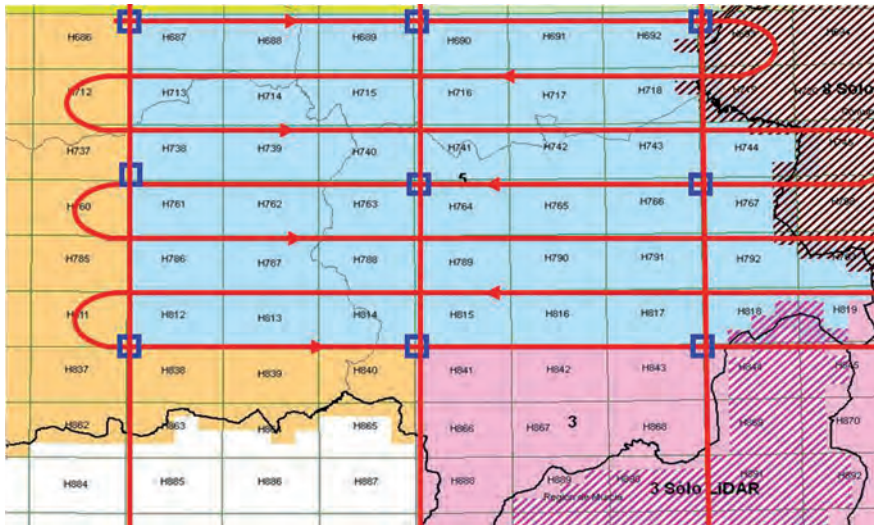


Figura 7. Pasadas longitudinales y Transversales sobre campos de control

parar las altitudes de una serie de puntos observados con técnicas GPS, con las de los puntos LiDAR cercanos.

Otra utilidad de estos campos de control es conectar la nube de puntos al sistema de referencia, en un proceso que se conoce como *ajuste de pasadas al terreno*, por el que se eliminan errores sistemáticos de la nube de puntos.

Los resultados obtenidos en los controles de calidad demuestran que los datos LiDAR capturados en el PNOA cumplen con las especificaciones técnicas, e incluso en muchos casos las mejoran.

### Flujo de trabajo en la captura y proceso de los datos LiDAR

Como paso previo a la captura de datos, las empresas entregan una planificación del vuelo a realizar. Esta planificación pasa un

exhaustivo control de calidad comprobando que cumple con todos los apartados reflejados en las especificaciones técnicas del proyecto. Además de la planificación, las empresas entregan también un fichero con las estaciones de referencia que se van a utilizar durante el trabajo, éstas son seleccionadas entre las que tiene implantadas el Instituto Geográfico Nacional en todo el territorio, las que tienen las Comunidades Autónomas o las pertenecientes a empresas que han instalado redes privadas. En el caso de no disponer de ninguna estación de referencia con las características adecuadas para el proyecto, la empresa de vuelo debe colocar los receptores GPS/GNSS necesarios en vértices REGENTE.

Las líneas de vuelo se planifican con dirección este-oeste cuando el vuelo LiDAR se realiza simultáneamente con un vuelo fotogramétrico (cámara fotogramétrica y LiDAR instalados en el mismo avión) y se

pueden adaptar a las limitaciones impuestas por el relieve, en los casos en los que el vuelo LiDAR sea independiente.

También es obligatorio para las empresas que han de llevar a cabo el trabajo, realizar una calibración del sistema integrado (sensor LiDAR-GNSS-INS) previa a la ejecución del vuelo. Este paso se lleva a cabo sobre campos de calibración (zonas en las que se conocen perfectamente las coordenadas de una serie de puntos identificables por el sensor), para obtener un conjunto de parámetros que servirán para corregir los datos adquiridos.

Para poder obtener una mayor precisión altimétrica de la nube de puntos LiDAR y comprobar la bondad de estos, se establecen unos campos de control distribuidos por el interior y los límites de la zona de trabajo. En ellos se determinan las coordenadas de una serie de puntos mediante técnicas GPS y cuyas altitudes son comparadas con las altitudes de los puntos LiDAR próximos (figura 7).

Sobre estos campos de control se hace pasar una línea de vuelo (pasada transversal). Con las altitudes de los puntos observados con técnicas GPS, se ajustan las pasadas transversales al terreno y con ellas se realiza el ajuste de las pasadas longitudinales (pasadas este-oeste). De esta forma se garantiza que la nube de puntos LiDAR completa, se ajusta al terreno y no existen errores sistemáticos verticales.

Las coordenadas de la nube de puntos LiDAR procesada están referidas al sistema de referencia ETRS89, que es el utilizado en la Península, Baleares, Ceuta y Melilla, y al REGCAN95 en el archipiélago Canario, tal como establece el Real Decreto 1071/2007 por el que se regula el sistema geodésico de referencia en España [15]. La proyección utilizada es la "Universal Transversal Mercator" (UTM) en el huso correspondiente a cada zona. Las altitudes que inicialmente se obtienen son altitudes elipsoidales, referidas al elipsoide SGR80, por lo tanto para ser empleadas en la mayoría de los proyectos, es necesario un proceso posterior para transformarlas a altitudes ortométricas con el modelo de Geoid EGM2008-REDNAP.

Los datos son almacenados en ficheros que cubren una extensión de 2 x 2 km, que pueden contener entre 3 y 10 millones de

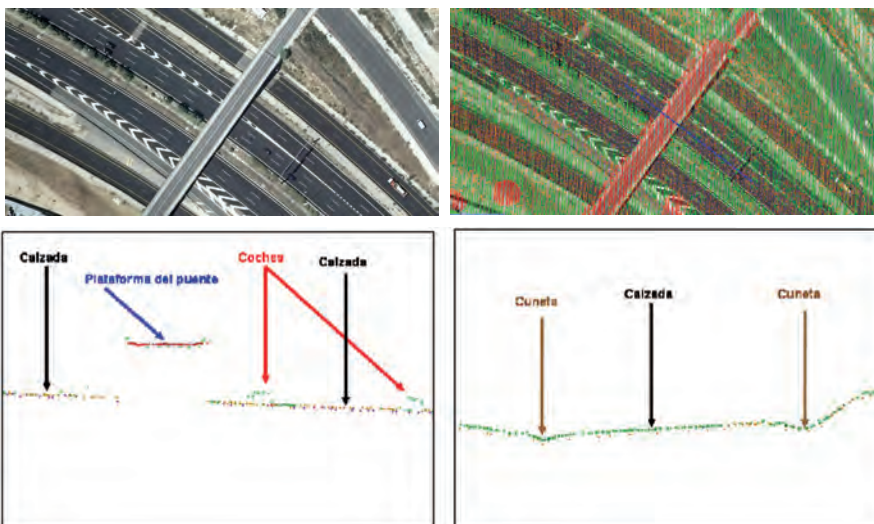


Figura 8. Perfil longitudinal y transversal (datos LiDAR clasificados)

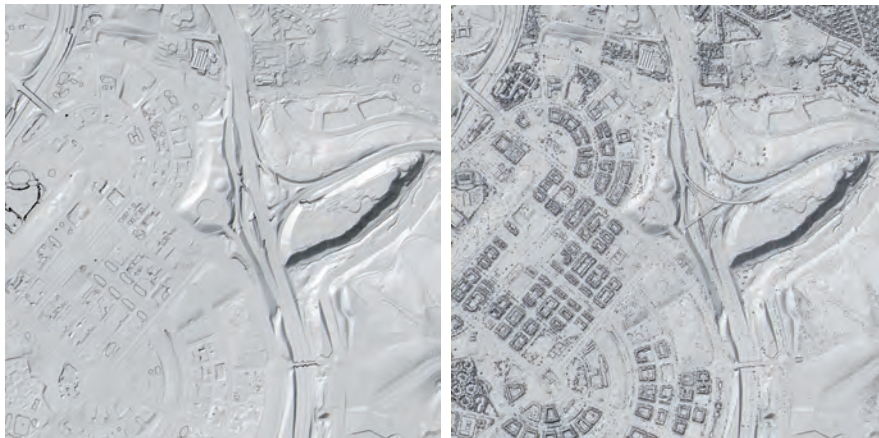


Figura 9. Sombreados. Izq: Modelo Digital del Terreno. Dcha: Modelo Digital de Superficie

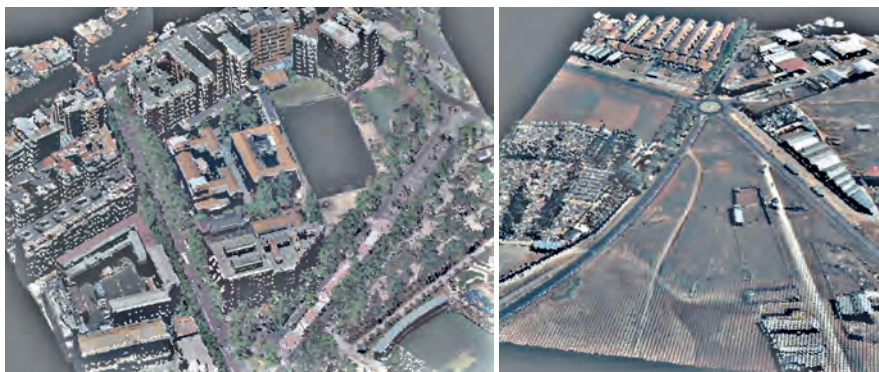


Figura 10. Izq: Zona Urbana (Sede Central del IGN). Dcha: Zona rural

puntos cada uno. Los ficheros se almacenan según la estructura de formato LAS, el estándar aprobado por el ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) para el almacenamiento de datos LiDAR.

El formato LAS es binario [16], y consta de dos partes: la primera es la cabecera del fichero, en la que se almacena la información relativa al programa con el que se han generado los datos, las coordenadas x, y, z mínima y máxima del fichero, el número de pulsos y el número de puntos. La segunda parte almacena la información de cada punto: coordenadas x, y, z de cada uno de ellos, intensidad, número de retorno, número de retornos por punto, dirección de escaneado, ángulo de escaneado, número de pasada, datos relativos a la clasificación de los puntos del fichero, e incluso información radiométrica obtenida a partir de fotografías aéreas correspondientes.

Cuando los datos han sido procesados y entregados al IGN, por parte de las empresas contratistas se realiza un control de calidad comprobando que:

- La zona de trabajo queda totalmente cubierta.
- Se cumple la densidad que indican las

especificaciones.

- Los datos tienen las precisiones altimétricas exigidas.
- No existen escalones entre pasadas.
- No existen zonas sin información.
- Etc.

Una vez finalizado el control de calidad y corregidas las eventuales incidencias, los datos están listos para poder usarse en múltiples aplicaciones. En el Instituto Geográfico Nacional se está generando un Modelo Digital del Terreno de 5 m de paso de malla que sustituirá al actual, obtenido mediante técnicas de correlación automática a partir de las fotografías aéreas.

Para generar este nuevo Modelo Digital, en primer lugar hay que realizar una clasificación automática de los puntos LiDAR. Como se ha explicado antes, la nube de puntos LiDAR contiene información del terreno y de los objetos situados sobre él, como la vegetación y las edificaciones. Mediante una serie

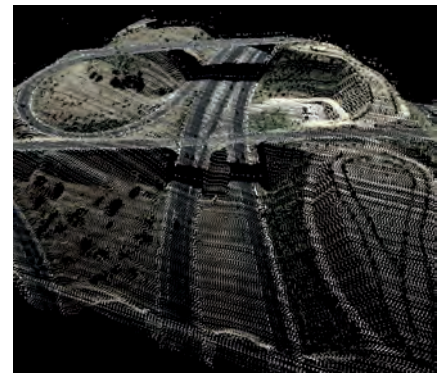


Figura 11. Enlaces de autovías

de algoritmos específicos se puede clasificar la nube de puntos LiDAR en las clases: terreno, vegetación baja, media, alta y edificaciones.

Esta clasificación automática puede contener errores y por ello se debe realizar una revisión y una edición manual del resultado obtenido. Uno de los métodos empleados consiste en superponer la nube de puntos a las ortofotos, para comparar la clasificación con la imagen y corregir los eventuales errores.

Esta clasificación es fundamental ya que en función del proyecto al que se vayan a destinar los datos, interesará una información (terreno) u otra (edificios, vegetación, etc).

Una vez obtenida la nube de puntos LiDAR clasificada, se genera el Modelo Digital del Terreno (MDT) (figura 9) a partir de la clase terreno: esto significa que en el cálculo no se han incluido los puntos clasificados como edificios o vegetación.

Además, el IGN tiene en marcha estudios para generar productos de valor añadido con los datos LiDAR, como son:

- Nube de puntos LiDAR con información RGB obtenida de las fotografías aéreas (figura 11).
- Modelización de ciudades 3D (figura 12).

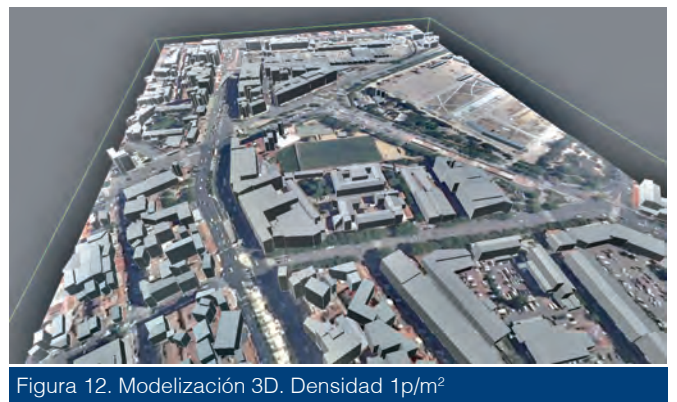


Figura 12. Modelización 3D. Densidad 1p/m²

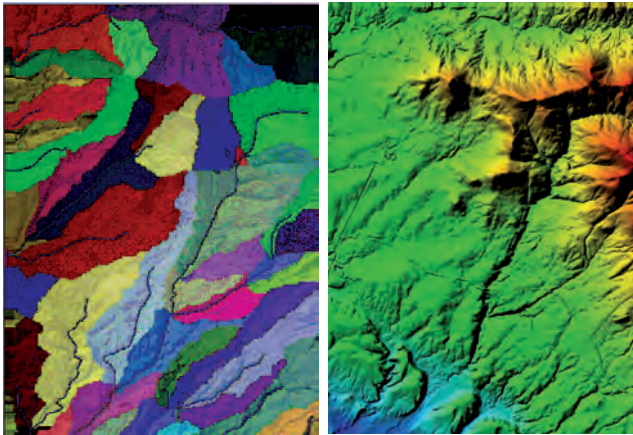


Figura 13. Izq: Generación automática de cuencas. Dcha: Sombreado del MDT

- Estudios de cuencas hidrográficas (figura 13).

## Aplicaciones de la tecnología LiDAR a la ingeniería civil

Los datos LIDAR y los Modelos Digitales de Elevaciones de alta precisión obtenidos a partir de los mismos tienen múltiples aplicaciones en Ingeniería Civil, como por ejemplo:

- Cálculo de cubicaciones en movimientos de tierras.
- Determinación de curvas de nivel.
- Determinación precisa de secciones longitudinales (pendientes, longitudes) y transversales (peraltes).
- Identificación de zonas inundables.

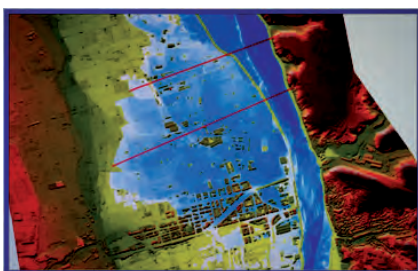


Figura 14. Simulación de inundación sobre un MDS



Fig 15. Montajes de Lidar Mobile

- Estudios de drenaje.
- Generación de Mapas de ruido
- Análisis de impacto visual, etc

En la actualidad, la información aportada por este proyecto está siendo utilizada para la generación de la cartografía de zonas inundables (figura 14) del Ministerio de Medio Ambiente (D.G del

AGUA), así como en muchos otros proyectos, ya que en función de la densidad de puntos son una herramienta indispensable para la realización de inventarios forestales, estudios para la determinación de riesgos de deslizamientos y avalanchas, estudios hidrológicos, dinámica de zonas costeras, mapas de pendientes, proyectos medioambientales, mapas de obstáculos en zonas aeroportuarias, arqueología, modelado 3D de ciudades, ubicación de antenas de telecomunicaciones, detección de edificaciones no censadas, y otras muchas que irán apareciendo con el tiempo.

Las últimas tendencias en la captura de información se centran en los denominados **LiDAR mobile**. Una de sus versiones consiste en un sensor LiDAR instalado en un automóvil con el objetivo de cartografiar vías de comunicación (figura 15).

Todavía no es una tecnología ampliamente utilizada pero ya se han puesto de manifiesto algunas de sus aplicaciones y seguramente en no mucho tiempo irán apareciendo muchas más. Algunas de ellas son:

- Cálculo de secciones longitudinales y transversales.
- Caracterización de puentes.
- Inventario de señales.
- Inspección del pavimento, de taludes.
- etc.

## Referencias

- [1] Art. 13 Real Decreto 638/2010, de 14 de mayo. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: [www.boe.es/boe/dias/2010/06/19/pdfs/BOE-A-2010-9717.pdf](http://www.boe.es/boe/dias/2010/06/19/pdfs/BOE-A-2010-9717.pdf).
- [2] Guillermo Villa, Antonio Arozarena, Isabel del Bosque y otros, 2005. El Plan

Nacional de Observación del Territorio. *XI Congreso Nacional de Teledetección*.

- [3] Antonio Arozarena, Guillermo Villa, 2004. Presentación del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea en España. *VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCAR2004*.
- [4] Directiva INSPIRE. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- [5] Instituto Geográfico Nacional. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://www.01.ign.es/ign/main/index.do>
- [6] Iberpix. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>
- [7] SIGPAC. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>
- [8] Sede electrónica del Catastro. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://www.sedecatastro.gob.es/>
- [9] Infraestructura de datos espaciales de España. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: [http://www.idee.es/show.do?to=pideep\\_pidee](http://www.idee.es/show.do?to=pideep_pidee).ES
- [10] Cartociudad. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://www.cartociudad.es/visor/>
- [11] Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: <http://www.cnig.es/>
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center. 2008. "Lidar 101: An Introduction Lidar Technology, Data, and Applications." Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center.
- [13] Juan Carlos Ojeda, Jorge Martínez y otros, 2003. Cartografía lidar en PNOA. Revista SAUCE nº 3. Págs. 14-15.
- [14] Especificaciones técnicas del proyecto PNOA. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: [ftp://web\\_pnoa@ftp.pnoa.ign.es/1.Dossier\\_PNOA\\_2010/](ftp://web_pnoa@ftp.pnoa.ign.es/1.Dossier_PNOA_2010/)
- [15] Real Decreto 1071/2007 por el que se regula el sistema geodésico de referencia en España. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: [www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35986-35989.pdf](http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35986-35989.pdf)
- [16] LAS format. Fecha de consulta: 04/12/2011. URL: [http://liblas.org/development/format\\_elements.html](http://liblas.org/development/format_elements.html). ❖

# Diseño y Aplicaciones de un Vehículo Instrumentalizado: Observación de Maniobras de Adelantamiento

Design and Applications of a New Instrumented Vehicle: Observing Passing Maneuvers



Alfredo García  
Catedrático  
Carlos Llorca  
Personal Investigador

Ana Tsui Moreno  
Personal Investigador  
Ana María Pérez-Zuriaga  
Profesor Ayudante

Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC)  
Universitat Politècnica de València

## Resumen

La obtención de datos de tráfico en carreteras o vías urbanas en servicio es una herramienta fundamental en la ingeniería de carreteras. En este sentido, los vehículos instrumentados constituyen una de las técnicas más útiles para la observación del comportamiento de los conductores ante el resto del tráfico, o ante la infraestructura y su entorno. El Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras de la *Universitat Politècnica de València* ha desarrollado un nuevo vehículo instrumentado, compuesto por un conjunto de equipos modular y versátil, cuya principal ventaja es que puede instalarse en cualquier vehículo en muy poco tiempo, sin necesidad o depender de un vehículo dedicado.

Este nuevo vehículo instrumentado se ha empleado para estudiar la maniobra de adelantamiento en carreteras convencionales, permitiendo observar maniobras reales desde un vehículo adelantado. De esta forma, se ha caracterizado con gran detalle el comportamiento de los conductores que se disponen a adelantar. En el futuro, están previstas numerosas y muy variadas aplicaciones, dada la versatilidad que el equipamiento portátil del vehículo instrumentado proporciona.

**PALABRAS CLAVE:** Vehículo instrumentado, Seguridad Vial, Adelantamiento.

## Abstract

Traffic data collection on rural highways or urban areas is a key tool of highway engineering. Data collected by instrumented vehicles allow researchers to observe driver's behavior. This technique is useful to study the influence of other vehicles, road geometry or its surroundings. A new instrumented vehicle has been developed by the Highway Engineering Research Group of the *Universitat Politècnica de València*. Versatile and modular equipment can be installed on different vehicles in a few minutes. This is an important advantage in comparison with previous instrumented vehicles, which were based on fixed systems. In consequence, this system does not need a specific vehicle.

This new instrumented vehicle has been already used to observe passing maneuvers on two-lane rural roads. The instrumented vehicle was an impeding vehicle, as it traveled along the road at reduced speed. Therefore, passing driver's behavior and pass decisions were analyzed in detail. Further research has been proposed to extend uses of the developed vehicle.

**KEY WORDS:** Instrumented vehicle, Road Safety, Passing Maneuver.

## Introducción

En la ingeniería de carreteras se estudia el fenómeno del tráfico y su influencia en distintos aspectos, como la seguridad vial o la funcionalidad de la vía, en función de parámetros geométricos, meteorológicos o del propio tráfico. Además, el comportamiento del conductor es una variable muy importante que considerar que habitualmente se obtiene de forma indirecta o se obvia. En este sentido, la falta de conocimiento del factor humano y su interacción con la infraestructura, el entorno, el vehículo y las condiciones del tráfico es uno de las principales limitaciones de muchos estudios e investigaciones de ingeniería de carreteras.

En los últimos años, se han generado modelos teóricos sobre el comportamiento de los conductores con el fin de no únicamente comprender mejor por qué se comportan así en la vía sino también para predecir las reacciones de los conductores a medidas o condiciones determinadas de la infraestructura [1]. Sin embargo, no existen bases de datos lo suficientemente amplias para abordar su estudio detallado. Con el fin de caracterizar el comportamiento humano, últimamente se están empleando grabaciones de vídeo desde proximidades de la vía o simuladores de conducción equipados con sistemas de grabación. Estas metodologías de toma de datos tienen el inconveniente de que, por un lado, las grabaciones desde proximidades de la vía únicamente se pueden realizar en localizaciones concretas de la vía y, en ocasiones, no graban el fenómeno completo. Por su parte, a parte de su elevado coste, los simuladores de conducción requieren de un proceso de calibración y validación de la adecuada interacción entre el conductor, el vehículo y la infraestructura, que en muchos casos no se realiza puesto que no se dispone de datos en condiciones naturalísticas con los que comparar los resultados [2].

Una metodología alternativa de toma de datos es el uso de vehículos instrumentados. Estos vehículos se equipan con diferentes sensores y cámaras que permiten recoger el comportamiento de los conductores en condiciones naturalísticas, es decir, bajo condiciones de tráfico real. Con esta metodología, el vehículo real circula en

el flujo normal del tráfico almacenando no sólo el comportamiento humano sino también las condiciones de la infraestructura, el tráfico y el entorno, así como la interacción entre el vehículo y la infraestructura.

El uso de vehículos instrumentados se ha ido extendiendo poco a poco en los últimos años para realizar investigaciones en ingeniería de carreteras. Entre los vehículos existentes se encuentra el ARGOS, de la Dirección General de Tráfico, o los desarrollados por la *Delft University of Technology* [3], el *Texas Transportation Institute* [4], la Universidad de Michigan, el *Virginia Tech*, el *Trinity College*, la Universidad de Southampton o el *U.S. Corps of Engineers*.

No obstante, en todos los casos, el equipamiento se ha instalado en un único vehículo con el que se realiza la toma de datos. Este hecho puede afectar a la representatividad de los datos puesto que los conductores deben habituarse a un vehículo ajeno que puede no pertenecer al segmento más representativo del parque automotor. Por ello, se ha decidido diseñar un equipamiento modular, versátil e independiente que puede ser fácilmente instalado en diferentes vehículos, con el fin de poder equipar cualquier vehículo en función de los requisitos de la investigación.

## Objetivos

El objetivo del presente artículo es el diseño y desarrollo de un vehículo instrumentado versátil y modular para poder aplicarlo a la investigación en ingeniería de carreteras. Además, se detallarán las principales aplicaciones actuales y futuras del mismo.

En primer lugar, se describirán los distintos elementos que conforman el equi-

pamiento del vehículo instrumentado, así como sus principales características y funciones. Posteriormente, se desarrollará una de las principales investigaciones en las que se ha empleado el vehículo: el estudio de la maniobra de adelantamiento en carreteras convencionales. Por último, se comentarán distintos estudios en los que se ha empleado o se ha previsto emplear en el futuro el vehículo instrumentado.

## Descripción del vehículo instrumentado

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC) del Instituto de Transportes y Territorio de la Universitat Politècnica de València ha desarrollado un equipo de sensorización de carácter modular que permite su adaptación a cualquier tipo de vehículo, convirtiéndolo en un vehículo instrumentado.

El equipo se compone del sistema Video VBOX Pro (figura 1), formado por cuatro cámaras resistentes al agua, dos micrófonos, un GPS de 10 Hz y un sistema de almacenamiento de datos que permite sincronizar los datos procedentes de las cámaras, del micrófono y del GPS. A este sistema se ha añadido una unidad inercial adicional que mide la velocidad, aceleración y giros en los tres ejes y cuyos datos son almacenados de forma sincronizada junto con los anteriores.

Con los dispositivos anteriores, el vehículo instrumentado es capaz de tomar datos sobre su propio comportamiento. Sin embargo, para estudiar el flujo de tráfico en el que se encuentra el vehículo, así como su entorno, ha sido necesario incorporar también cuatro distanciómetros láser que, estratégicamente colocados en el vehículo, permiten medir no sólo la distancia a otros



Figura 1. Sistema Video VBOX Pro



Figura 2. Ubicación de las cámaras en el interior del vehículo instrumentado

vehículos sino también la velocidad relativa de éstos.

Todos estos dispositivos son de tamaño reducido y pueden utilizarse de forma independiente. Su reducido tamaño permite minimizar la influencia sobre el comportamiento del resto de los conductores, al pasar totalmente desapercibido el vehículo dotado del equipamiento. Por otra parte, el poder utilizar cada dispositivo de forma independiente permite emplearlos aislados o combinados, dependiendo del objetivo de la investigación. Además, la combinación de estas dos características hace que sea perfectamente adaptable no sólo a cualquier tipo de vehículo ligero sino también a vehículos pesados y motocicletas.

## Unidad de almacenamiento de datos

La unidad de almacenamiento de datos, alimentada por la toma de corriente continua de 12 V del vehículo, es la base del sistema de sensorización del vehículo instrumentado. La unidad dispone, además de una entrada especial para la conexión de la antena del GPS, diferentes entradas CAN que permiten registrar los datos procesados



Figura 3. Antena del receptor GPS ubicada en la parte superior del vehículo

de las cámaras y de los micrófonos, así como también de otros dispositivos adicionales como la unidad inercial.

Gracias a este sistema todos los datos almacenados por los diferentes dispositivos periféricos en la tarjeta de memoria extraíble están sincronizados, facilitando de esta forma el análisis conjunto de los mismos.

## Cámaras y micrófonos

El sistema está equipado con cuatro cámaras digitales de forma cilíndrica con una longitud inferior a 10 cm y un diámetro de 2 cm. Las cámaras disponen de un soporte articulado con una base formada por tres ventosas que, junto con su pequeño tamaño, permiten una fácil colocación y orientación de las mismas, tanto en la parte interior como en la exterior del vehículo (figura 2).

La máxima resolución con la que es posible grabar utilizando estas cámaras es 576 x 720 píxeles, en función del número de cámaras conectadas simultáneamente. La resolución disminuye a la mitad cuando las cuatro cámaras se encuentran operativas.

La grabación puede completarse mediante dos micrófonos que permiten registrar las observaciones o comentarios del conductor o del investigador embarcado en el vehículo. Estos registros de audio quedan sincronizados con las imágenes captadas con las cámaras descritas.

## GPS

El equipo cuenta con un receptor GPS de 10 Hz, es decir, registra datos con una cadencia de 10 por segundo. El receptor, que se encuentra integrado en la unidad de

almacenamiento de datos, se complementa con una antena externa que, gracias al potente imán del que dispone, puede fijarse en la parte superior del vehículo, para una mejor recepción (figura 3).

El GPS proporciona datos de longitud, latitud y altitud. En cuanto a la posición horizontal, según el fabricante, las lecturas obtenidas el 95% del tiempo se encuentran dentro de un círculo de radio 5 m con centro en las coordenadas exactas, mientras que en el caso de la altitud el radio aumenta a 10 m, siendo constante para todos los puntos tomados en el mismo periodo temporal. Sin embargo, la precisión en la distancia es  $\pm 0.05\%$ , con lo que, a pesar del error en cuanto a posicionamiento global, el error en posicionamiento relativo es mucho menor.

## Unidad inercial

Uno de los dispositivos adicionales que se han incorporado al sistema mediante su conexión a la unidad de almacenamiento de datos por entrada CAN es una unidad inercial.

La unidad inercial permite registrar las aceleraciones y giros en los tres ejes de coordenadas espaciales (figura 4). Además,

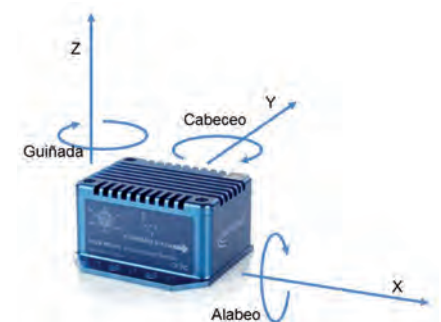


Figura 4. Unidad inercial





Figura 5. Distanciómetro láser

a partir de los datos registrados es posible obtener la posición del vehículo incluso cuando la señal GPS se vea interrumpida. De esta forma, se pueden llevar a cabo estudios en túneles donde la señal GPS es muy débil.

La precisión de la unidad inercial, según el fabricante, es 0,01 grados por segundo para los giros y 0,002 g para las aceleraciones. Para garantizar estas precisiones la unidad inercial debe estar montada tan cerca como sea posible del centro de masas del vehículo y sobre un soporte que la mantenga horizontal e inmóvil.

### Distanciómetros láser

A partir de los datos obtenidos anteriormente es posible caracterizar la dinámica del vehículo instrumentalizado e incluso el comportamiento y las reacciones del conductor; sin embargo, para la caracterización del flujo del tráfico y la interacción de este vehículo con el resto en su entorno, es necesario complementar el sistema con varios distanciómetros.

En este sentido, se han incorporado cuatro distanciómetros láser: uno en la parte frontal del vehículo, uno en la parte posterior y dos en el lateral, aunque la disposición puede variarse en función de los objetivos de las distintas investigaciones.

Los distanciómetros utilizados pertenecen al modelo TruSense S200 de *Laser Technology* (figura 5) que permiten registrar datos de distancia con una frecuencia de salida de datos de 20 Hz, independientemente de la integridad del objetivo.

El distanciómetro puede configurarse para que funcione de tres modos distintos:

1. Rango de mediciones bajo. La máxima distancia registrada es 750 m, independientemente de si el objetivo es

reflectante o no. Su precisión es de 4 cm. Puede utilizarse para la medición de distancias laterales entre vehículos.

2. Rango de mediciones medio. La máxima distancia registrada es 1500 m, cuando el objetivo es reflectante y 900 m cuando no lo es. Su precisión es de 8 cm.

3. Rango de mediciones alto. La máxima distancia registrada es 2900 m, cuando el objetivo es reflectante y 1600 m cuando no lo es. Su precisión es de 15 cm.

En cuanto a sus características ópticas, cabe destacar que su longitud de onda es 905 nm, su divergencia 3 mrad (30 cm a 100 m) y la frecuencia de repetición de pulso es de 1000 Hz, llegando a 2800 Hz o 4000 Hz dependiendo de la configuración.

### Aplicación: estudio del adelantamiento en carreteras convencionales

Una de las principales aplicaciones del vehículo instrumentalizado es el análisis de la maniobra de adelantamiento en carreteras convencionales. Esta metodología se basa en hacer circular al vehículo instrumentalizado por tramos de carretera convencional en los que existen posibilidades de adelantamiento en una o varias zonas de adelantamiento permitido. El vehículo

instrumentalizado circula a una velocidad ligeramente inferior a la de operación del tramo, reproduciendo el comportamiento de los vehículos que son adelantados en las condiciones normales del tráfico.

De esta forma, los conductores de otros vehículos cuya velocidad deseada es superior a la del vehículo instrumentalizado sufren la demora causada por tener que circular a una velocidad inferior detrás de él. Esto provoca que se produzcan maniobras de adelantamiento, pudiendo observar y caracterizar a las propias maniobras y al proceso de seguimiento que tiene lugar antes de ellas empleando los distintos equipos instalados a bordo.

La investigación del fenómeno del adelantamiento se basa en los datos grabados en video por las cámaras digitales instaladas a bordo, que proporcionan una visión completa del vehículo o vehículos que se disponen a adelantar, desde el momento en el que llegan a la cola formada detrás del vehículo instrumentalizado. Para lograr esta visión completa, se coloca una cámara en la parte trasera, dos en el lateral izquierdo, y una en la parte delantera, tal como se muestra en la figura 6.

La observación en video de la maniobra de seguimiento y del adelantamiento se complementa con la medición de las distancias entre el vehículo instrumentalizado y los que le adelantan proporcionadas por

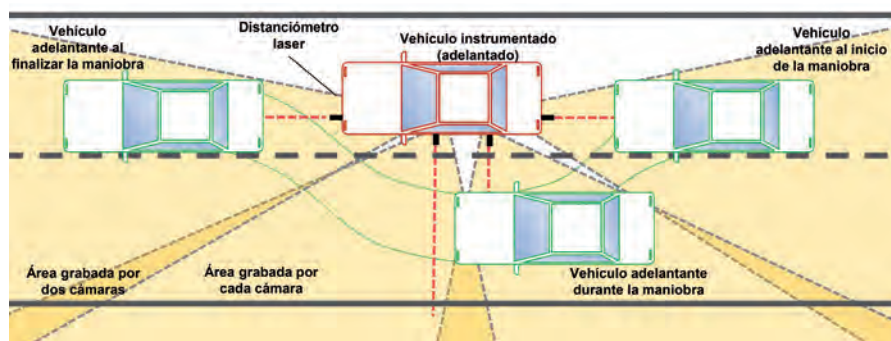


Figura 6. Esquema del vehículo instrumentalizado empleado para el estudio de la maniobra de adelantamiento. Imágenes tomadas por las cámaras de video del vehículo instrumentalizado en el instante inicial y final de una maniobra de adelantamiento

Tabla 1. Resumen de los tramos estudiados. Características geométricas y del tráfico

Carretera	CV-35	CV-35 (i)	CV-35 (ii)
PK	40+000 a 50+000	83+500 a 85+000	34+000 a 40+000
Longitud del tramo estudiado (km)	10	1,5	6
Velocidad de diseño en el tramo (km/h)	120	80	90
Velocidad máxima permitida (km/h)	100	100	100
Intensidad horaria (veh/h)		250 - 350	
Longitud de las zonas de adelantamiento (m)	450 - 1800	600 - 800	250 - 1100
Velocidades del vehículo adelantado (km/h)	80 - 90	50 - 60	60 - 70
Número de maniobras observadas	42	51	54
Distancia recorrida por el vehículo instrumentalizado (km)	160	85	155
Duración de la toma de datos (h)	4	4	4

los distanciómetros láser, así como de la información de posicionamiento y velocidad registrada por el receptor GPS. A ello se le añaden otras variables observadas y registradas por el copiloto del vehículo durante la realización de la toma de datos.

## Metodología

Hasta el momento, existen muy pocas investigaciones basadas en observaciones de adelantamiento, y son principalmente desde puntos de vista exteriores y estáticos [5, 6], y en ningún caso en España, a excepción del presentado por Llorca y García [7]. En cuanto a la observación de esta maniobra desde la propia carretera, mediante vehículos instrumentalizados, el número de estudios es todavía más reducido [3, 4].

Mediante la metodología que se presenta, además de permitir la observación del adelantamiento en carreteras españolas, se introduce el análisis de algunas variables que hasta el momento sólo se habían considerado al emplear otras metodologías, como los simuladores de conducción. Es el caso de los parámetros sociológicos (sexo y edad) del conductor del vehículo adelantante, o el estudio del proceso de seguimiento antes de adelantar, compuesto por distintas decisiones de rechazo o aceptación de huecos generados por el tráfico en sentido opuesto.

Con esta metodología experimental, el GIIC comenzó, en abril de 2011, una inves-

tigación sobre el adelantamiento en tramos de carretera de la provincia de Valencia. Esta investigación forma parte del proyecto "Desarrollo de modelos de distancias de visibilidad de adelantamiento", subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, con referencia TRA2010-21736.

La aplicación de la metodología, tal como se ha comentado, consistió en hacer circular al vehículo instrumentalizado a lo largo de un tramo de carretera convencional a una velocidad constante y previamente fijada en ciertos valores, con el objetivo de que actuara como vehículo adelantado en las distintas maniobras que tuvieran lugar durante la toma de datos.

Dos de los principales parámetros a determinar fueron, por lo tanto, los tramos de carretera en los que se realizó este estudio y las velocidades de circulación del vehículo durante el mismo. La selección obedeció a la influencia que determinadas variables tienen en la maniobra de adelantamiento, entre las que se encuentran las características geométricas de la vía (velocidad de diseño, sección transversal, visibilidad disponible, etc.) o las condiciones del tráfico (volumen, composición y velocidades de operación), tal como demuestran anteriores estudios [6, 4].

En el caso de la investigación comentada por el GIIC, se escogieron tres tramos de carreteras en la provincia de Valencia, cuyos volúmenes de tráfico son similares entre sí y se encuentran entre los 250 y

los 350 vehículos/hora. Esta intensidad de tráfico, de acuerdo a un estudio previo [7] demostró que provocaba una frecuencia elevada de maniobras. La ejecución de aquel estudio se llevó a cabo en los mismos tramos pero empleando grabaciones desde puntos de vista estáticos con ayuda del laboratorio móvil de tráfico del GIIC [8], y permitió caracterizar, entre otros muchos parámetros, las velocidades de los vehículos adelantados. A partir de dichas velocidades, se definieron las velocidades a las que posteriormente se hizo circular el vehículo instrumentalizado.

Una vez planteado el diseño experimental mediante el que se abarcan los distintos tramos y las distintas velocidades de circulación, se procedió a la realización de la toma de datos. Para ello, el vehículo instrumentalizado realizó recorridos de ida y vuelta por el tramo a velocidad constante, hasta alcanzar una muestra de maniobras significativa.

En total, se observaron más de 150 maniobras de adelantamiento, durante más de 15 horas de grabaciones a lo largo de los 3 tramos de carretera considerados. En la *tabla 1* se resumen las características de los tramos y los resultados previos de la toma de datos.

Durante el desarrollo de la toma de datos, el copiloto del vehículo instrumentalizado registraba la hora exacta en la que se producían las distintas maniobras a analizar. Además, la observación de los adelantamientos por parte de los ocupantes del vehículo adelantado instrumentalizado permitió anotar otras variables que no es posible observar posteriormente en los archivos de video. Es el caso de las características del conductor y del vehículo adelantante, como su edad aproximada, su sexo, el número de ocupantes, el modelo de vehículo, etc.

Una vez concluida la toma de datos, se procedió a su tratamiento con el objeto de llevar a cabo un proceso de reducción, tras el que se obtuvieron una serie de variables que caracterizan de forma objetiva y simple a cada una de las maniobras de adelantamiento observadas.

La definición de las variables de caracterización del adelantamiento se realizó a partir de las investigaciones desarrolladas con anterioridad y por otros autores, pero

ampliando el nivel de detalle alcanzado y extendiendo la observación no solo a la propia maniobra, sino a todo el tiempo durante el que el vehículo que adelanta circula en cola, detrás del instrumentalizado. Esta profundización en el estudio del adelantamiento es la principal y más novedosa aportación de la metodología.

De esta forma, se definieron distintas etapas o fases en la maniobra de adelantamiento y en el tiempo en cola, a partir de determinados sucesos observables en las imágenes de video, tal como se aprecia en la figura 7.

El tiempo en cola comenzaba cuando un vehículo circulando a mayor velocidad se aproxima por la parte posterior y comienza a seguir al instrumentalizado a su misma velocidad o a otros vehículos que ya formaban pelotón. A partir del momento en el que el vehículo se encontraba tras el vehículo adelantado, y dentro de aquellas zonas de adelantamiento permitido señalizadas por línea discontinua, se definieron dos posibles situaciones: huecos aceptados y huecos rechazados. Los huecos corresponden a intervalos de tiempo (medidos también en distancia) entre dos vehículos consecutivos en el flujo en sentido opuesto. A lo largo del proceso de seguimiento al vehículo adelantado instrumentalizado, se identificaron y midieron los huecos rechazados, si es el caso, y un hueco aceptado, dentro del que se lleva a cabo la maniobra.

En el interior del hueco aceptado se lleva a cabo el adelantamiento. La fase fundamental es el tiempo durante el que se invade el carril izquierdo, que se designó por  $t_1$ . Además, se llamó  $t_2$  al tiempo existente entre el regreso al carril derecho y el cruce con el próximo vehículo opuesto, que permite medir el riesgo asumido para completar la maniobra.

La medición de tiempos se basó directamente en la observación de las imágenes de video en un programa de visualización adecuado. Paralelamente, el registro de datos GPS proporcionó la posición del vehículo instrumentalizado en cada instante, así como su velocidad.

Por último, conociendo las distancias relativas entre el vehículo instrumentalizado y el vehículo adelantante, fue posible calcular también su posición y su velocidad. Para obtener dichas distancias se aplicó, en

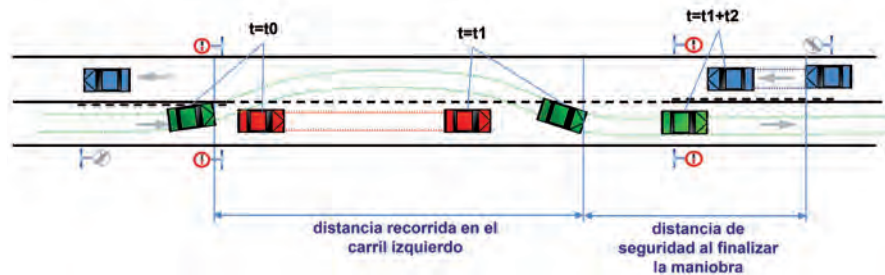


Figura 7. Esquema de la maniobra e identificación de las principales variables

un principio, la restitución de perspectivas a partir de las imágenes de video registradas por las cámaras. Este proceso se basa en la relación geométrica existente entre la realidad y su representación en perspectiva sobre un fotograma [8]. La realización de la restitución requirió la medición de una serie de referencias o puntos de posiciones conocidas previamente a la realización de la toma de datos. Para medir estas referencias, se estacionaba el vehículo con las cámaras en funcionamiento en una explanada amplia, y se colocaban una serie de conos de tráfico en posiciones conocidas, dibujando unas líneas ficticias de referencia que, trasladadas al resto de la grabación, permiten conocer la trayectoria de los vehículos que rodean al instrumentalizado. Este proceso requiere una gran cantidad de tiempo.

Por este motivo, se decidió dotar al vehículo instrumentalizado de medidores de distancia láser para poder calcular estas distancias relativas de forma automática. Se han dispuesto dos sensores, uno en la parte trasera y otro en la delantera, para poder calcular la distancia entre ambos vehículos mientras circulan ambos por el carril izquierdo. Además, dos sensores adicionales colocados en posición transversal permiten calcular la velocidad relativa del vehículo adelantante respecto del adelantado cuando ambos circulan en paralelo, así como las velocidades de circulación de los vehículos en el sentido opuesto.

### Análisis de resultados

Como ya se ha comentado, entre abril y mayo de 2011, el GIIC realizó tres sesiones de toma de datos aplicando la metodología explicada. Este estudio experimental constituye una primera fase de la campaña de toma de datos incluida en el proyecto de investigación "Desarrollo de modelos de distancia de visibilidad de adelantamiento". Aunque en el conjunto del proyecto

está previsto analizar hasta 20 tramos de carretera convencional, bajo condiciones muy diversas, los resultados del análisis de la primera fase, ya completada, han proporcionado algunas conclusiones significativas.

La metodología ha permitido caracterizar la maniobra de forma más detallada que en anteriores investigaciones, permitiendo conocer y analizar el efecto de nuevas variables relativas al conductor del vehículo adelantante y a su comportamiento. El análisis se ha planteado para una muestra de más de 150 maniobras, que ya es comparable en magnitud, en esta primera fase, a la de otros autores que realizaron estudios del adelantamiento mediante vehículos instrumentalizados. En todas las maniobras observadas el vehículo adelantado es, dado el diseño de la metodología planteado, el mismo vehículo ligero.

Las principales variables que caracterizan la maniobra, y que han sido analizadas en profundidad, son las siguientes:

- El tiempo  $t_1$ , de invasión del carril izquierdo, representa la principal variable geométrica del adelantamiento, ya que en este periodo se produce el potencial conflicto con el tráfico en sentido opuesto. Su valor medio, en el caso de las maniobras observadas, fue de 7,5 s, no estando afectado de forma significativa por la velocidad de circulación del propio vehículo, aunque tiende a ser más elevado conforme aumenta la velocidad de operación de la vía.
- La diferencia de velocidades medias entre el vehículo adelantante y el adelantado ( $dV$ ) a lo largo del tiempo  $t_1$ , es la variable que explica directamente la duración de la maniobra. Su valor medio se situó en los 19,9 km/h, y tampoco se ve afectado por las velocidades de circulación de ambos vehículos, aunque presenta una gran dispersión.
- El tiempo  $t_2$  desde el final de la ma-

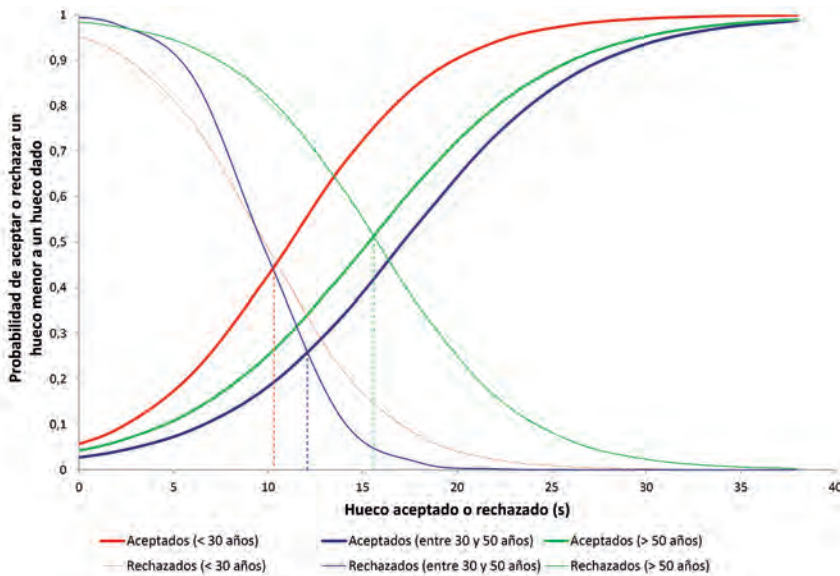


Figura 8. Distribuciones de probabilidad acumulada de aceptación y de rechazo de huecos en función de la edad estimada del conductor del vehículo adelantante

niobra hasta el cruce con el próximo vehículo opuesto representa el riesgo potencial ante el conflicto provocado por la aproximación del vehículo adelantante y el opuesto. El tiempo  $t_2$  estuvo acotado inferiormente por valores de 1 s, aunque se observa que, a partir de tiempos inferiores a 4 s, las maniobras se llevan a cabo con mayor rapidez, encontrándose valores de  $t_1$  significativamente inferiores. En estos casos, además, se han identificado maniobras evasivas del vehículo opuesto, que tiende de manera frecuente, aunque no generalizada, a desplazarse hacia la parte exterior de su carril, para reducir

un posible conflicto con el vehículo adelantante que se le aproxima.

- El valor del hueco aceptado se ha medido desde el punto de vista del conductor del vehículo adelantante, es decir, desde el momento en el que comienza para él la posibilidad de adelantar hasta que se cruza con el vehículo opuesto. Su valor medio se situó en 16 s, correspondientes a la suma de los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ , y una fase inicial desde que es posible adelantar hasta que se decide hacerlo, componente principal del llamado tiempo de percepción y decisión. En este estudio de huecos, sólo se han tenido en cuenta aquellos casos en los

que el adelantamiento se realiza frente a un vehículo opuesto visible.

- La edad estimada del conductor del vehículo adelantante tiene un efecto apreciable en las anteriores variables, de modo que los grupos más jóvenes de conductores realizaban adelantamientos en un tiempo  $t_1$  menor, con un mayor nivel de riesgo (menor tiempo  $t_2$ ), aceptando por tanto huecos más pequeños en el sentido opuesto.
- El sexo del conductor del vehículo adelantante, y el tiempo en cola detrás del vehículo instrumentalizado, no tuvieron, en términos estadísticos, una influencia tan significativa en la maniobra.

Al ajustar las distribuciones de huecos aceptados y rechazados a una función exponencial, tal como han realizado otros autores [9], se puede observar la influencia de la edad, tal como se muestra en la figura 8. La intersección de la curva de aceptación con la curva de rechazo proporciona el valor del hueco crítico, entendido como aquél que tiene la misma probabilidad de ser aceptado que de ser rechazado. La figura muestra, igualmente, cómo el hueco crítico medio aumenta conforme aumenta la edad del conductor del vehículo adelantante.

De forma análoga, la figura 9 muestra la tendencia de los conductores más jóvenes a completar la maniobra con mayor rapidez, si bien no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%.

Hasta el momento, una de las principales limitaciones de la metodología es que en todas las maniobras el vehículo adelantado era el mismo. No obstante, dado que el equipamiento del vehículo instrumentalizado es portátil, está previsto instalarlo a bordo de distintos tipos de vehículos, tal como se comentará más adelante.

Teniendo en cuenta esta limitación, se compararon los resultados de este estudio con otras observaciones realizadas anteriormente, observando, en general, tiempos de recorrido en el carril izquierdo inferiores, acotados por los valores de normativas [10] o inferiores a los valores medios observados [5]. En cuanto a la comparación con otras investigaciones realizadas mediante vehículos instrumentalizados, los valores propuestos por Carlson et al. [4], representan de forma adecuada a los valores

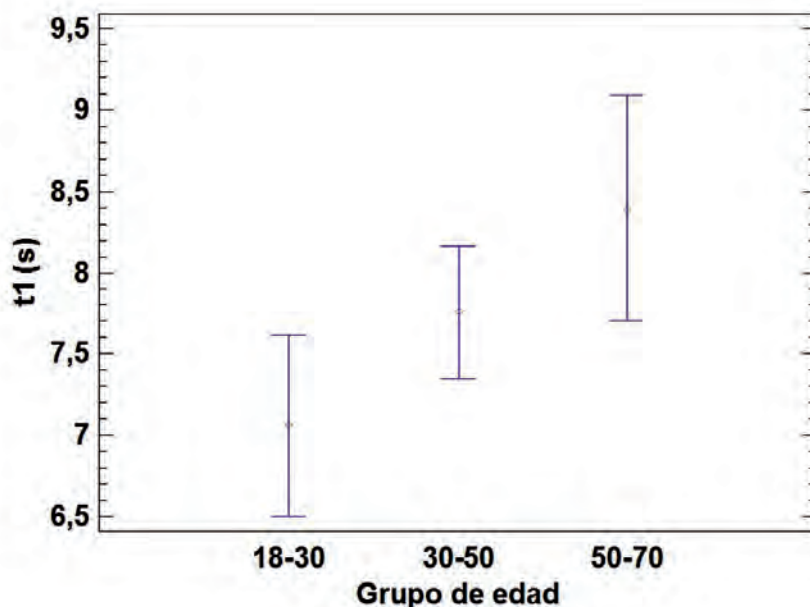


Figura 9. Variación del tiempo de recorrido en el carril contrario en función de la edad estimada del conductor del vehículo adelantante.

observados, en los rangos de velocidad comparables.

Teniendo en cuenta que el número de tramos observados, y por tanto de maniobras, se va a incrementar en los próximos meses, los objetivos principales de esta línea de investigación son la formulación o calibración de un modelo de distancia de visibilidad de adelantamiento, afectada por diversas condiciones. Entre ellas se encuentran las características de la vía (velocidad y visibilidad), del vehículo adelantado y adelantante (sexo y edad del conductor y tipo de vehículos), del tráfico (volumen, demoras acumuladas por el seguimiento y tiempo en cola) o del entrono (condiciones lumínicas). De esta forma, se pretende evaluar, gracias a la observación directa de maniobras ejecutadas por los conductores en tramos de carretera existentes, la seguridad y funcionalidad que proporcionan los actuales criterios de diseño y de señalización de prohibiciones de adelantamiento, recogidos en las Instrucciones de Carreteras 3.1 y 8.2, respectivamente.

## Otras aplicaciones

Como se ha descrito en los anteriores apartados, la toma de datos mediante vehículo instrumentalizado se ha utilizado en el GIIC para el estudio de adelantamiento en carreteras convencionales.

Además, recientemente, el mismo equipamiento ha sido empleado para caracterizar la dinámica vehicular al paso por el *speed kidney*, dentro del proyecto MODETRA "Metodología para el diseño e implantación de sistemas de moderación del tráfico", subvencionado por el CEDEX del Ministerio de Fomento con referencia PT-2007-052-23/APM.

El *speed kidney* es un moderador del tráfico inventado, diseñado y desarrollado por el GIIC de la UPV [11]. El objetivo de esta aplicación concreta fue el de comprobar si las aceleraciones máximas sufridas por los conductores a su paso por el moderador de tráfico *speed kidney* con trayectoria curvada eran superiores a las permitidas por las normativas internacionales, tanto en la pista de ensayos del *speed kidney* en Puzol (Valencia), con 18 geometrías diferentes del dispositivo, como en la ronda este de Almussafes (Valencia), donde se

encuentran implementadas siete unidades de *speed kidney* en servicio.

Con ambas aplicaciones, se ha puesto de manifiesto la versatilidad del equipo y la eficacia del mismo.

Siguiendo con el desarrollo de la principal investigación descrita, acerca del adelantamiento en carreteras convencionales, el sistema de sensorización puede incorporarse también en vehículos pesados para caracterizar tanto la dinámica de estos en las maniobras de adelantamiento como el comportamiento de los vehículos que los adelantan.

Por otra parte, en relación con la segunda de las aplicaciones, la sensorización se puede utilizar para la evaluación de la dinámica vehicular en el resto de los moderadores de tráfico existentes y la caracterización de la trayectoria descrita en el caso de las actuaciones en la planta. Además, este estudio no tiene por qué centrarse únicamente en vehículos ligeros, sino que puede ampliarse a otros tipos de vehículos, como vehículos de emergencias, camiones, autobuses y motocicletas.

Pero las aplicaciones del vehículo instrumentalizado van más allá de estos ámbitos.

En investigaciones encaminadas al estudio del comportamiento de los conductores, el vehículo puede utilizarse con los siguientes objetivos:

- Estudio de la percepción de velocidad por parte de los conductores.
- Estudio de la percepción del tiempo de llegada.
- Estudio de la percepción del tiempo hasta colisión.
- Estudio de la atención de los conductores.
- Estudio de la percepción de la distancia de seguridad.
- Caracterización de los estilos de conducción.
- Comportamiento de los conductores al aproximarse a vehículos más lentos.
- Efecto de las condiciones meteorológicas en el comportamiento de los conductores.
- Márgenes de seguridad utilizados por los conductores.
- Respuesta de los conductores a la señalización horizontal o vertical.
- Aceptación de huecos en cruces e in-

corporaciones.

- Comportamiento en el cambio de carril o trenzados.
- Posicionamiento lateral del vehículo respecto a las líneas de limitación de carriles.
- Tiempos de reacción del conductor.
- Comportamiento de los conductores sobre diferentes estados del pavimento.
- Validación de simuladores de conducción para el estudio del comportamiento de los conductores.

En estudios relacionados con la infraestructura, el sistema puede utilizarse para las siguientes aplicaciones:

- Restitución de la geometría de la vía.
- Estudio de la trazada y velocidades de los vehículos en curvas.
- Estudio del diseño de las intersecciones oblicuas.
- Estudio de los desplazamientos laterales de los vehículos.
- Estudios de visibilidad.

En cuanto al estudio de la dinámica del propio vehículo, se pueden llevar a cabo investigaciones relacionadas con los siguientes temas:

- Comportamiento de los vehículos sobre diferentes estados del pavimento.
- Comportamiento de los vehículos en condiciones de hidroplaneo.
- Validación de simuladores de conducción para la evaluación de vehículos.

Finalmente, uno de los aspectos más importantes que considerar en la ingeniería de carreteras es la interacción entre los distintos vehículos y el comportamiento del flujo de tráfico. Dentro de este ámbito de investigación, el vehículo instrumentalizado puede ser parte esencial en los siguientes estudios:

- Estudio de la relación entre la velocidad y la distancia entre vehículos.
- Estudio de huecos críticos en intersecciones.
- Comportamiento del tráfico en cola.
- Evaluación del tiempo de recorrido.
- Distribución de velocidades.
- Tasas de aceleración y deceleración.
- Toma de datos para la calibración de micros simuladores de tráfico.

Como puede verse en la relación de posibles aplicaciones, el vehículo instrumentalizado puede utilizarse no sólo para la toma de datos que sirvan de base para



Vista interior del vehículo instrumentalizado

diferentes investigaciones, sino que también para la obtención de datos que faciliten la validación de simuladores de conducción y micros simuladores. De esta forma, el vehículo instrumentalizado se convierte en la fuente de alimentación de otras metodologías de toma de datos, siempre basada en observaciones de procesos de conducción naturalística.

## Conclusiones

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras ha desarrollado un vehículo instrumentalizado, modular y versátil, que permite la observación de una gran variedad de fenómenos del tráfico.

El vehículo instrumentalizado se compone, entre otros elementos, de cuatro cámaras digitales, un receptor GPS, distanciómetros láser y una unidad inercial de 3 ejes. Mediante estos elementos es posible caracterizar con un número muy elevado de variables, minimizando o eliminando, si es necesario para la aplicación concreta, la influencia del propio vehículo en el resto de conductores. El reducido tamaño de los equipos instalados a bordo es lo que permite que pasen desapercibidos para el resto de conductores, tal como ya se ha verificado en los estudios ya completados.

El reducido tamaño y el carácter modular de los equipos de sensorización del vehículo proporcionan una gran versatilidad, siendo una de las mayores ventajas la posibilidad de ser instalados en casi cualquier tipo de vehículo, ya sea ligero, pesado o incluso en motocicletas. Esta ventaja permite emplear el vehículo en un rango muy amplio y diverso de investigaciones relacionadas con la ingeniería de carreteras.

En cuanto a las experiencias llevadas a cabo hasta el momento mediante el vehículo instrumentado, destaca la que se ha desarrollado en el artículo. La observación de adelantamientos desde un punto de

vista interno a la maniobra permite evaluar la respuesta del conductor ante las oportunidades de adelantamiento que se le presentan, para conocer la influencia en este proceso de decisión de numerosas variables de la vía o de su entorno. La misma instrumentación ha sido empleada, en otra investigación y en otros vehículos, para estudiar las aceleraciones y velocidades al circular sobre el nuevo moderador de tráfico speed kidney.

El vehículo instrumentalizado puede ser empleado, tanto por profesionales como por investigadores, para analizar trayectorias, velocidades, aceleraciones o giros del propio vehículo o de los que le rodean, así como para estudiar el comportamiento de sus conductores. La utilidad de los datos recogidos es fundamental para numerosos estudios de diseño geométrico de carreteras, de la operación del tráfico urbano e interurbano y la seguridad vial.

## Agradecimientos

El desarrollo del vehículo instrumentalizado ha sido posible gracias a la subvención del CEDEX del Ministerio de Fomento, con Referencia PT-2007-052-23/APM y a la subvención del Ministerio de Ciencia e Innovación con Referencia TRA2010-21736.

## Referencias

- [1] Shinar, D. (2007). *Traffic Safety and Human Behavior*, Emerald.
- [2] Fisher, D., Rizzo, M., Caird, J. y Lee, J. (2011). *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*, CRC Press.
- [3] Hegeman, G., Tapani, A. y Hoogendoorn, S. (2009). *Overtaking assistant assessment using traffic simulation. Transportation Research. Part C 17*, pp. 617-630.
- [4] Carlson, P. J., Miles, J. D. y Johnson, P. K. (2006). *Daytime High Speed Passing Maneuvers observed on Rural Two-Lane, Two-Way Highway: Findings and Implications. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1961, pp. 9-15.
- [5] Polus, A., Livneh, M. y Frischer, B. (2000). *Evaluation of the passing process on two-lane rural highways. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1701, p. 53.
- [6] Harwood, D. W., Gilmore, D. y Richard, K. (2010). *Passing Sight Distance Criteria for Roadway Design and Marking. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2195, pp 36-46.
- [7] Llorca, C. y García, A. (2011). *Evaluation of Passing Process on Two-Lane Rural Highways in Spain Using New Methodology Based on Video Data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- [8] García, A. Romero, M, Moreno, A.T. y Llorca, C. (2010). Desarrollo y aplicaciones de un nuevo laboratorio móvil de tráfico. *Rutas 139*, pp. 10-18.
- [9] Cheng, J., Jang, X. y Huang, X. (2008). *Driver's Critical Gap Calibration at Urban Roundabouts: A Case Study in China. Tsinghua science and technology* 13, 2, 2008, pp. 237-242.
- [10] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (2004). *A policy on geometric design of highways and streets*, Washington, D.C.
- [11] García, A., Moreno, A. y Romero, M. (2011). Development and Validation of Speed Kidney, a New Traffic-Calming Device. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol 2223, 43-53. ❖



Autovía MU-31. Conexión entre la Autovía MU-30 “Circunvalación de Murcia” y la Autovía A-30 “Albacete-Cartagena”

# Finalizada la conexión Suroeste de Murcia

**Alberto Pleite Casimiro**  
*ICCP, Director de las obras*

**E**l pasado 13 de febrero de 2012 se abrió al tráfico el tramo de la Autovía MU-31: Conexión entre la Autovía MU-30, Circunvalación de Murcia, y la Autovía A-30, Albacete Cartagena.

Estas obras se iniciaron en diciembre

de 2.007 y su importe ha ascendido a un total de 56 436 960,11 €.

La mencionada autovía conecta los tráficos de los vehículos procedentes del centro de España con destino Cartagena y el litoral de Murcia, y constituirá, junto con el futuro Arco Noroeste de Murcia, un itinerario alternativo a la Ronda Oeste de Murcia

que presenta la mayor intensidad de tráfico regional, superando los 100 000 vehículos al día, con una previsión de tráfico para su puesta en servicio de 18 700 vehículos/día, y se espera que, a medio plazo, se alcancen los 33 000.

A continuación, se comentan los aspectos más relevantes de esta actuación.

# Infraestructuras Viarias

## Trazado geométrico

El trazado de la autovía MU-31 se ha proyectado con una velocidad de proyecto  $V_p$  de 100 km/h en el tronco y de 80 km/h en las conexiones con las autovías A-30 y MU-30, que se han resuelto mediante enlaces tipo confluencia bifurcación, adaptándose en todo lo posible al planeamiento urbanístico vigente.

La longitud del tronco es de 3240 m, que corresponde a la longitud en la que las dos calzadas discurren juntas y con una mediana de separación de 3,0 m. A esta longitud hay que añadir aproximadamente dos kilómetros al inicio, para la conexión con la A-30, y otro kilómetro, aproximadamente, para la unión con la MU-30. Además se ha dispuesto un tercer carril en ambas márgenes de la MU-30.

En el tronco, el trazado en planta consta de cinco alineaciones, cuatro de ellas circulares con un radio mínimo 700 m y 1 300 m de radio máximo, mientras que el trazado en alzado consta de 5 alineaciones verticales con pendientes comprendidas entre el 1,52% y el 4,00%. El parámetro del mínimo de los acuerdos convexos es de 8000 m y el parámetro mínimo de los acuerdos cóncavos es de 4400 m.

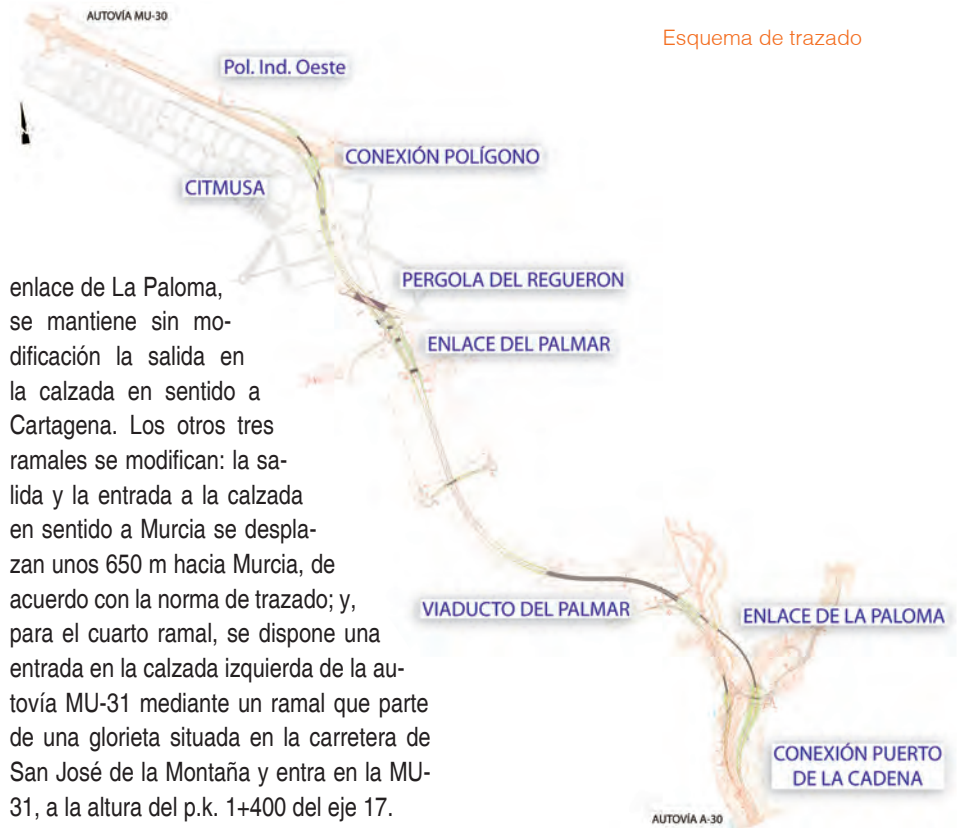
La sección transversal tipo del tronco de autovía está compuesta por 2 calzadas de 2 carriles de 3,50 m, arcenes exteriores de 2,50 m, arcenes interiores de 1,00 m, bermas exteriores de 0,75 m y mediana de 3 m. Los gálibos verticales, de acuerdo con la norma de trazado, han sido de 5,30 m.

## Enlaces

A lo largo de su trazado se ha contemplado un enlace central, denominado **enlace del Palmar**, de nueva creación, a la altura del p.k. 3+200 de la autovía, y dos conexiones tipo confluencia bifurcación, al principio y final de la obra, que conectan con la MU-30 y la A-30.

El enlace del Palmar conecta la autovía MU-31 con la RM-603, de titularidad autonómica, y con el futuro viario previsto en el PGOU cuando se proceda a su ejecución. Este enlace se resuelve mediante una glorieta sobre la que cruza la autovía mediante dos estructuras (E-10 y E-11).

De los cuatro ramales existentes en el



enlace de La Paloma, se mantiene sin modificación la salida en la calzada en sentido a Cartagena. Los otros tres ramales se modifican: la salida y la entrada a la calzada en sentido a Murcia se desplazan unos 650 m hacia Murcia, de acuerdo con la norma de trazado; y, para el cuarto ramal, se dispone una entrada en la calzada izquierda de la autovía MU-31 mediante un ramal que parte de una glorieta situada en la carretera de San José de la Montaña y entra en la MU-31, a la altura del p.k. 1+400 del eje 17.

## Firmes y pavimentos

Para la definición del firme se ha supuesto una categoría de tráfico T1 en el tronco y en las conexiones con la A-30 y la MU-30, excepto en el tramo final de la calzada izquierda en dirección a Cartagena (eje 17), en el que se alcanza un T0.

Por lo tanto, se han escogido las sec-

ciones tipo 032 y 132, constituidas por 20 cm de mezcla bituminosa en caliente, y 25 cm de suelocemento (20 en el caso de la sección 132) apoyados sobre una explanada E3, compuesta por 30 cm de suelo estabilizado tipo 3 sobre 30 cm de suelo seleccionado tipo 2 en fondos de desmonte y de 25 cm de suelo estabilizado tipo 3 en terraplenes.



Vista de la estructura E-7 y glorieta de San José de la Montaña





Vista del enlace Norte y del paso sobre la carretera autonómica RM-603 en fase de ejecución

Cabe destacar que la capa de rodadura es una mezcla abierta de 3 cm de espesor y en la que se han utilizado áridos procedentes de Guadalajara para conseguir un valor elevado del CPA, con la mejora que esto supone para la seguridad del usuario.

En los ramales de los enlaces se han considerado categorías de tráfico T1 y T2, por lo que los paquetes de firme están constituidos por 20 cm de MBC (17 cm en el caso del tráfico T2) sobre 20 cm de suelo cemento.

Al estar prevista la ampliación a un tercer carril en la MU-30, y dada la sección de firme existente, formada por 35 cm de MBC, de acuerdo con la instrucción 6.1. I.C., se ha dispuesto un paquete de firme constituido por 20 cm de MBC y 25 cm de suelo cemento.

En cuanto a las estructuras, la sección de firme sobre las estructuras estará formada por 5 cm de capa de rodadura D-12 sobre la impermeabilización de un cm que cubre la losa de hormigón.

## Estructuras

El tramo consta de 14 estructuras (ver *cuadro*) con una longitud total de 1689 m, destacando sobre todo las denominadas: E-2, viaducto sobre la Rambla del Puerto; E-5, que también salva esa Rambla; E-7, con una longitud de 840 m; la E-12, denominada pérgola del Reguerón, así como la E-15 que salva la autovía MU-30.

### Estructura E-2

La estructura permite el paso de la calzada derecha de la autovía MU-31, en sentido a Murcia, sobre la autovía A-30 y la rambla del Puerto, con una longitud total de 432,50 m, con vanos de 38 m, a excepción de un vano de 46 m que salva dos calzadas de la autovía A-30.

La sección del tablero está constituida por dos vigas artesa prefabricadas con un canto de 2,40 m, con una separación entre ejes de 6,00 m, y una losa de 25 cm de espesor, siendo su anchura de 11,50 m.

Las pilas son de hormigón armado, constituidas por un único fuste de forma octogonal hueca con un dintel macizo en su parte superior que permite el apoyo de las vigas, alcanzando una altura de 26,39 m en



Estructura E-2 que permite el paso de la calzada derecha de la autovía MU-31, en sentido a Murcia, sobre la autovía A-30 y la rambla del Puerto

# Infraestructuras Viarias

la zona de la rambla del puerto. A excepción de las pilas anexas a la autovía, que se han cimentado sobre pilotes, las restantes tienen una cimentación directa; mientras que los estribos se han ejecutado mediante cargaderos de hormigón dispuestos en la parte superior de los terraplenes de acceso a la estructura.

## Estructura E-5

La estructura permite el paso de la calzada derecha de la autovía MU-31, en sentido a Cartagena, sobre la rambla del Puerto, salvando también la Cañada Real de Torreagüera de forma que se minimiza el impacto sobre ésta.

La estructura tiene una longitud total de 95 m, constituida por 3 vanos de 35 m, siendo su tipología análoga a la anterior, y siendo en este caso el canto de las vigas artesa prefabricadas de 1,80 m.

## Estructura E-7

La ejecución de este viaducto, de 840,00 m de longitud y distribuidos en 21 vanos de 40,00 m, vino impuesta por la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto, exigiendo la ejecución de esta estructura en una zona de desarrollo urbano donde era preciso mantener la permeabilidad transversal, evitando el efecto barrera de la autovía.

De igual tipo que las anteriormente definidas, esta estructura está formada por dos tableros de 11,50 m de ancho, con vigas artesa prefabricadas con un canto de 2,20 m.

## Estructura E-12

Esta estructura resuelve el cruce de la autovía MU-31 sobre el canal del Reguerón. Dado el fuerte esviaje de la traza, se ha adoptado como solución estructural óptima la ejecución de una pérgola.

La pérgola está formada por vigas doble T prefabricadas, de 2,05 m de canto, sobre las que se dispone una losa de hormigón armado de 0,25 m de espesor, con un único vano de 42 m de luz.

Estas vigas se apoyan sobre estribos cerrados de hormigón armado en la zona de contención de tierras, mientras que las restantes se apoyan sobre un dintel de hor-

Estructuras (cuadro)						
Estructura	Eje	Tipo	Localización	P.k.	Ancho (m)	Long. (m)
E-1	16	PI. Bóveda	Paso bajo eje 16	16+550	13,20	43,00
E-2	16	PS. Viaducto	Paso sobre A-30 y Rambla del Puerto	16+636 16+298	11,50 11,50	432,50
E-3	17	PS. Viaducto	Paso sobre N-301 <sup>a</sup>	17+140 17+220	11,50	60,00
E-4	17	PI. Marco	Paso bajo vía servicio	17+980	8,00	40,50
E-5	17	PS. Viaducto	Paso Rambla Puerto	17+774 17+440	11,50	65,00
E-7	16 1	Viaducto Viaducto	Zona urb. residencial Zona urb. residencial	17+380 1+380	11,50 11,50	840,00
E-8	1	PS. PSA	Camino Santa Ana	2+211	11,00	52 m
E-9	1	PI. Tablero vigas	Paso bajo MU-603	2+929	2 x 11,50 2 x 11,50	
E-10	Enl. N.	PI. Tablero vigas	Paso bajo Enl. Norte	3+142	11,50	18,50
E-11	Enl. N.	PI. Tablerovigas	Paso bajo Enl. Norte	3+236	11,50	18,50
E-12	1	PS. Pérgola	Paso bajo C.Reguerón	3+510		42,00
E-13	3	PI. Tablero vigas	Paso bajo viales CIT	3+110	2x11,50	18,50
E-14	3	PI. Tablero vigas	Paso bajo viales CIT	3+270	11,50	18,50
E-15	3	PS. Viaducto	Paso sobre MU-30	3+500 3+600	11,50	145,00

Eje 1. Tronco calzada  
Eje 3. MU-30 dirección MU-31

Eje 16. Calzada dcha. Conexión A-30  
Eje 17. Calzada lzqda. Conexión A-30



Estructura E-12 que resuelve el cruce de la autovía MU-31 sobre el canal del Reguerón



Conexión de la MU-31 con la MU-30, estructuras E-14 sobre la variante de Sangonera y E-15 sobre la MU-30

migón armado que, a su vez, se apoya en pilas circulares de 1,00 m de diámetro.

Dada la escasa calidad de los terrenos de apoyo, ha sido necesaria la ejecución de una cimentación profunda, con pilotes de 1,25 m de diámetro, siendo su longitud total de 5004 m.

### Estructura E-15

La estructura permite el paso de la calzada derecha en sentido a Almería de la autovía MU-31 sobre la autovía MU-30, con una longitud total entre apoyos extremos de 145 m, distribuida en cinco vanos (23 + 33 + 33 + 33 + 23).

En este caso, el tablero está constituido una viga cajón continua, de 1,30 m de canto, y una losa de compresión, de 0,20 m de espesor mínimo y 0,35 m de espesor máximo, y una anchura total de 11,5 m.

Dada la escasa capacidad de soporte del terreno en esta zona, también ha sido necesario disponer de una cimentación profunda mediante pilotes, con una longitud total de 448 m.

También hay que destacar, dada la ubicación de la obra en una zona de elevada peligrosidad sísmica y teniendo en cuenta

la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), el tratamiento dado a las estructuras colocando, en las denominadas E-2, E-7 y E-15, unos apoyos elásticos anclados de hasta 900 X 900 X 357 mm para garantizar el adecuado comportamiento frente al sismo.

### Otras actuaciones

Durante la excavación del eje 56, en el enlace de la Paloma, se han encontrado restos fosilíferos de más de 7 millones de años de antigüedad, entre los que destacan cuatro caparazones de tortuga de casi 2 m de longitud, colmillos de mastodonte y restos de flora de la época, para lo que ha sido necesaria la realización de una campaña de seguimiento del yacimiento.

De hecho, y dada la importancia de los restos hallados, la Administración regional ha incoado el expediente para la declaración como Bien de Interés Cultural (BIC) la zona adyacente a la autovía donde se han encontrado los restos mencionados.

Es también destacable el esfuerzo realizado para la modificación de 3 líneas eléctricas de alta tensión propiedad de Iberdrola, una línea de alta tensión propiedad de

Confederación Hidrográfica del Segura, así como varias líneas de media tensión que afectaban al trazado del nuevo tramo de autovía. ❖ (continúa en la página siguiente)

Unidades más importantes	
Longitud del tronco	3240 m
Longitud ramales de conexión	3000 m
Longitud en estructura	1698 m
Excavación en desmante	581 492 m <sup>3</sup>
Relleno y terraplén	1 240 350 m <sup>3</sup>
Suelo estabilizado tipo S-EST 3	51 293 m <sup>3</sup>
Suelocemento	40 600 m <sup>3</sup>
Mezclas bituminosas en caliente (aglomerado)	66 003 t
Pilotes cimentaciones	6794 m
Columnas de grava	66 543 m
Acero corrugado B500 S	5 500 000 kg
Hormigón estructural	64 857 m <sup>3</sup>

## Ficha técnica

Titular:

Ministerio de Fomento. SEITT  
Demarcación de Carreteras del Estado  
en Murcia

Proyecto:

Autovía MU-31. Conexión entre la  
Autovía MU-30 "Circunvalación de Murcia"  
y la Autovía A-30 "Albacete-Cartagena"

Director del proyecto:

D. Gustavo A. Pérez Morales  
ICCP

Director de la obra:

D. Alberto J. Pleite Casimiro  
ICCP

Equipo Técnico adscrito a la D.O.:

D. Manuel López Mora  
ICCP

D. Antonio Cerdá Ferrer  
ITOP-ICCP

Empresa adjudicataria:

Aldesa Construcciones S.A.

Jefe de obra:

D. Miguel Ángel Martínez Vico  
ICCP

Asistencia técnica:

Idom

Jefe de A.T. Control y vigilancia:

D. Miguel Ángel Maldonado López  
ICCP

# Hallazgos paleontológicos

**D**urante la ejecución de las obras, en las estribaciones del Puerto de la Cadena, fueron encontrados más de 400 fósiles de unos 7 millones de años de antigüedad, y alguno de ellos de gran tamaño, entre los que destacan cuatro caparazones de tortuga y colmillos de mastodonte. Para realizar una adecuada gestión de los hallazgos, y al mismo tiempo preservar el ritmo de ejecución de las obras, se colaboró estrechamente con la Consejería de Cultura de Murcia, quien tomó parte activa en la dirección de las excavaciones y recibió finalmente en custodia los restos localizados, que actualmente se integran en los fondos del Museo Arqueológico de Murcia.

Para las operaciones de protección y retirada de restos fósiles y su restauración en laboratorio, se ha contado con la colaboración de ALDESA, La Fundación Cidaris y el asesoramiento de la Universidad de Murcia, siguiendo las directrices de la Dirección General de Bienes Culturales de la Región de Murcia.



Finalmente, al amparo de la Ley 4/2007 de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia, el yacimiento del Puerto de la Cadena ha sido incoado Bien de Interés Cultural en la categoría de Zona Paleontológica, según resolución de 7 de febrero de 2011 de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales.



Esquema de trazado

Conexión de la CA-250 con la Autovía A-8  
y CA-522 Santullán-Sámano

# Puesta en servicio de la Variante y túnel de Santullán (CA-251) en Cantabria

Luis Lázaro Gil

ICCP

Enrique Fajardo Barragán

Ingeniero de Minas

Eduardo Suengas Goenechea

ICCP

El pasado mes diciembre de 2011, y en un acto presidido por el consejero de Obras Públicas y Vivienda, D. Francisco Rodríguez Argüeso, fueron inauguradas las obras de la Variante de Santullán (Castro Urdiales), dentro de la conexión de la carretera CA-250 con la Autovía A-8 en Cantabria, y que ha supuesto una inversión de 9,9 millones de euros, cantidad que, sumada al importe de las expropiaciones, alcanza una inversión total del Gobierno de

Cantabria de 10,6 millones de euros.

Esta actuación ha sido ejecutada por la empresa pública GESVICAN, según Convenio de Colaboración entre la Administración General de la Comunidad Autónoma y la Sociedad Mercantil Gestión de Viviendas o Infraestructuras en Cantabria S.L., de 25 de abril de 2.008.

Las obras de la variante incluyen una carretera de nuevo trazado, la CA-251, con una longitud de 1100 m, que se encarga de conectar la C-250 con la Autovía A-8, con tres glorietas en las intersecciones más importantes, y que proporciona una alternativa viaria al paso por el núcleo urbano, de tal manera que evitará que todo el tráfico entre la Autovía A-8 y la carretera de Santullán, el

polígono de Vallegón y distintas localidades próximas, discorra por las carreteras autonómicas CA-250 y CA-522, lo que suponía un constante paso de vehículos pesados por la zona urbana de Santullán con el evidente perjuicio para sus vecinos y su seguridad vial.

La construcción de la nueva variante supuso la construcción de un túnel, el primero que se ha llevado a cabo en una carretera autonómica, y que, con una longitud de 284 m, atraviesa el núcleo urbano de Santullán con la menor afección posible. Además, el túnel está dotado de todas las medidas de seguridad que exige tanto la normativa comunitaria como la española.

Así mismo, con este proyecto también



Paso interior mediante estructura prefabricada

se ha actuado en la carretera autonómica existente, la CA-522, en un tramo de 1000 m mediante la mejora del trazado, del sistema de drenaje y de la accesibilidad peatonal, mediante la construcción de un paseo peatonal e iluminación.

Tanto para la ejecución de la nueva carretera, como para la ampliación de la plataforma existente, fue necesaria una serie de excavaciones y rellenos para formar los desmontes y terraplenes requeridos.

## Trazado

El trazado se ha diseñado para una velocidad máxima de 70 km/h abundando los tramos en los que se limita a 50 km/h, límite justificado por la topografía de la zona y el gran número de vehículos pesados que se estima que van a circular por la carretera, además del hecho de que se han proyectado 4 glorietas lo que aconsejó que la velocidad de proyecto no fuera elevada.

Las glorietas se diseñaron con diámetros que varían entre los 22 y 47 m, para el anillo central, y los 40 y 65 m, para el exterior.

## Secciones tipo

La sección transversal diseñada ha sido de un carril por sentido de la circulación de 3,50 m de anchura y 1 m de arcén a cada lado de la calzada en el trazado interurbano, y de un carril también por sentido de la circulación de igual anchura, rigola de 0,40 m y acera con anchura media de 1,5 m para el trazado urbano.

En cuanto a la sección tipo del firme, en las zonas de nuevo trazado o ampliación de la plataforma se ha realizado un nuevo paquete de firme que consta de una capa de 70 cm de espesor de materiales de relleno para mejorar la capacidad de soporte de la explanada, sobre la que se ha extendido una capa de zahorra de 10 cm en regularización de la superficie.

El firme proyectado se corresponde con la categoría T2 que ha consistido en la extensión de 25 cm de base granular de zahorra artificial, sobre los que se han colocado otros 25 cm de mezcla bituminosa en caliente.

## Drenaje

También se ha llevado a cabo la ejecución de la nueva red de drenaje a lo largo de todo el trazado proyectado. Para ello, se ha colocado cuneta de hormigón en los desmontes donde no existen aceras y rigola en las zonas de carácter más urbano, junto a las aceras. Como obra singular de drenaje, cabe destacar la colocación de un marco de hormigón prefabricado encargado de transportar el agua longitudinalmente a la carretera CA-522, desde la glorieta 2 hasta donde existe una tajea que desagua a un regato existente. Aprovechando la colocación de este marco se ha dispuesto sobre él un paseo peatonal.

## Túnel

En principio este túnel se había proyectado en mina de 179 m, más las viseras y una prolongación en túneles artificiales por ambas bocas. No obstante, y para no afectar a algunos caminos, se optó posteriormente por modificar estas longitudes.

El resultado final ha sido un túnel de 285,24 m de longitud de los cuales 207 m forman el túnel en mina y 78,24 m los túneles artificiales (67,12 m el falso túnel de la boca este y 11,12 m el falso túnel de la boca oeste).

La cobertera máxima del terreno es de 24 m y mínima de 7 m.

## Emboquille

La construcción del túnel comenzó por el frente Oeste, y el primer paso consistió en la realización del frente de emboquille. Los frentes se fueron excavando en bancadas de unos 3,00 m de altura que, seguidamente, eran sostenidas mediante mallazo, hormigón proyectado y bulones de acero corrugado y 25 mm de diámetro



que se colocaban en el interior de taladros y se anclaban con lechada de cemento. Una vez instalados, se tesaban mediante gatos hidráulicos.

Los taludes laterales de excavación se protegieron con mallazo y hormigón proyectado.

Las labores de emboquille por la zona Este se comenzaron posteriormente, cuando ya se había empezado a excavar el túnel en mina por la otra boca. En la zona Este, el talud derecho también fue cosido con bulones inyectados y sin tensar. A su vez, se realizó una pantalla de micropilotes de unos 16 m de ancho y 20 m de alto, como precaución ante la cercanía de una vivienda en uso.

Una vez terminadas las labores de sostenimiento de los taludes, se procedió a la realización del paraguas del preanillo. En principio se había proyectado un paraguas de micropilotes pero, dada la buena calidad del macizo rocoso, se sustituyeron los micros por un paraguas ligero formado por 33 barras de acero corrugado, de 32 mm de diámetro, y unas longitudes de 12 m en la boca Oeste y 18 m en la boca Este, ya que por esta boca el recubrimiento por encima de la clave del túnel era bastante menor. Estas barras se unieron mediante una viga de atado con armadura y hormigón proyectado.

Antes de comenzar la excavación se construyó la visera (de 3 m de longitud en la boca Oeste y 1 m en la boca Este), formada por cerchas y chapa Bernold.

En las labores de emboquille se proyectaron un total de 368,70 m<sup>3</sup> de hormigón, se colocaron 298 bulones y 2604 m<sup>2</sup> de mallazo.

Una vez finalizadas las labores de emboquille de la Boca Oeste se comenzó a la excavación de la sección completa del túnel que se realizó en dos fases: bóveda y destroza.

## Excavación y sostenimiento de la bóveda

El comienzo de la excavación del túnel en mina se realizó mediante rozadora, que desarrollaba su sistema de trabajo de ataque puntual mediante un cabezal rotatorio provisto de herramientas de corte (picas). Posteriormente se pasó a utilizar martillos hidráulicos montados sobre retroexcavadoras, dada la necesidad de aumentar el rendimiento diario. Así, de los 207 m de túnel en mina, 65 m se realizaron mediante rozadora y los 142 m restantes se excavaron con martillos.

Al principio se atacó un solo frente, el frente Oeste, y posteriormente se comenzó a excavar simultáneamente por el frente Este. Puntualmente hubo 4 máquinas retroexcavadoras excavando el túnel, 2 por cada frente.

En la fase de bóveda se excavaron un total de 9971,55 m<sup>3</sup> de caliza margosa.

A medida que se iba excavando la bóveda se colocaba el sostenimiento correspondiente. El proyecto definía 3 secciones tipo de sostenimiento en función de la calidad del terreno atravesado.

- La Sección 1, para un terreno de calidad buena, con un sostenimiento más liviano (7 cm de hormigón proyectado y 9 bulones colocados en filas cada 2 m).
- La Sección 2, para un terreno de calidad media, con un sostenimiento algo mayor (12 cm de hormigón proyectado y 9 bulones colocados en filas cada 1,5 m)
- La Sección 3, para un terreno de mala calidad, con el sostenimiento más restrictivo (18 cm de hormigón proyectado, 11 bulones colocados en filas cada 1,5 m y cerchas cada 1,5 m).

En líneas generales, la calidad del macizo rocoso atravesado fue bastante buena, realizándose un 77% de la excavación en

Unidades más importantes	
<i>Movimiento de tierras</i>	
Excavación en tierras	33 888,22 m <sup>3</sup>
Excavación en roca con martillo	54 902,98 m <sup>3</sup>
Formación de Terraplén	91 156,20 m <sup>3</sup>
Estructura prefabricada Matiere	42,50 m
Muros de Escollera	4 560,00 m <sup>3</sup>
<i>Túnel</i>	
Excavación en roca	21 834,40 m <sup>3</sup>
Hormigón proyectado	731,30 m <sup>3</sup>
Hormigón en revestimiento y zapatas	4 472,00 m <sup>3</sup>
Bulones tipo Gewi	3 800,00 u
<i>Firmes</i>	
Zahorra artificial	25 474,00 m <sup>3</sup>
Mezcla Bituminosa	17 357,00 t
Betún de penetración	856,28 t
Aceras de baldosa	968,00 m <sup>2</sup>
<i>Drenaje</i>	
Tubería Ø 315 mm	1 160,20 m
Tubería Ø 400 mm	496,50 m
Tubería Ø 500 mm	148,00 m
Tubería Ø 600 mm	496,00 m
Marco prefabricado de 2 x1,50	354,10 m

Sección 1, un 5% en Sección 2 y un 3% en Sección 3. El 15% restante corresponde a las boquillas (que pertenecen a una sección aparte al margen de la calidad del terreno, llevando obligatoriamente cerchas y mallazo).

Así, en durante la ejecución de la bóveda se proyectaron 518,38 m<sup>3</sup> de hormigón en el sostenimiento, se colocaron 848 bulones, 40 cerchas (en sección boquillas y sección 3) y 1206,81 m<sup>2</sup> de mallazo.

## Destroza

Una vez finalizada la excavación y el sostenimiento de la Bóveda, se pasó a realizar la destroza que completaba la sección



túnel, que con una longitud de 284 m, atraviesa el núcleo urbano de Santullán



Vista interior del túnel dotado de todas las medidas de seguridad que exige tanto la normativa comunitaria como la española

total del túnel, fase mucho más rápida y menos delicada, ya que la parte de la clave se encontraba sostenida.

Durante la destroza, los martillos hidráulicos excavaron hasta completar la sección y, simultáneamente, se fue colocando el sostenimiento correspondiente de cada tramo, ya sin bulones, ya que sólo se proyectó hormigón con fibra; y, si se daba la necesidad se colocaba mallazo o cerchas en los tramos en los que lo lleva la parte de la bóveda.

En destroza se excavaron un total de 18 075,88 m<sup>3</sup> de caliza margosa, se proyectaron 212,98 m<sup>3</sup> de hormigón, se colocaron 531,09 m<sup>2</sup> de mallazo y se completaron las 40 cerchas colocadas en la bóveda.

## Revestimiento del túnel

Una vez completada la sección de excavación definitiva del túnel, se pasó a realizar las labores de revestimiento.

En primer lugar se excavaron las zapatas laterales, se extendió una base de hormigón de limpieza, se colocaron las tuberías de drenaje y se realizó la impermeabilización de la parte baja de los hastiales. Posteriormente se hormigonaron las zapatas, mientras que, a medida que avanzaba el hormigonado, se completaba

la impermeabilización en toda la sección del túnel que consistió en una manta geotextil clavada al terreno recubriendo toda la sección interior del túnel, cuyo objetivo es filtrar los sólidos que pueda llevar el agua. Por encima del geotextil se colocó una capa impermeable de PVC que se instaló en láminas que se unen entre sí mediante electrosoldadura. Cada una de las juntas electrosoldadas fue sometida a un ensayo de impermeabilización para garantizar su buen funcionamiento.

En los túneles artificiales se colocaron 2 capas de manta geotextil y 1 capa de PVC, y, en total, se han colocado 7 096,07 m<sup>2</sup> de PVC y 8 551,94 m<sup>2</sup> de geotextil.

Cuando el túnel se encontró totalmente impermeabilizado, se procedió al hormigonado del revestimiento mediante un carro de encofrado, con lo que se finalizaba la sección completa y definitiva del túnel. El espesor de este revestimiento es de 0,30 m en el túnel en mina y de 0,50 m en los túneles artificiales.

En total se han utilizado unos 4 226,54 m<sup>3</sup> de hormigón en el revestimiento.

En resumen, y en líneas generales, se puede decir que en la ejecución de este túnel se han excavado un total de 21 500 m<sup>3</sup> de material rocoso, se han proyectado unos 1000 m<sup>3</sup> de hormigón de sostenimien-

to, se han colocado unos 4500 m<sup>2</sup> de mallazo, 1150 bulones, 40 cerchas, unos 105 m<sup>2</sup> de chapa Bernold, 66 barras de los paraguas de los preanillos, unos 4500 m<sup>3</sup> de hormigón de revestimiento, y 7100 m<sup>2</sup> de PVC y 8500 m<sup>2</sup> de geotextil de la impermeabilización.

Finalmente hay que añadir que se han repuesto los servicios afectados por la realización de las obras, tales como los de abastecimiento, saneamiento, electricidad, telefonía o gas. También se ha repuesto la red de alumbrado existente, incrementando su rendimiento, con la colocación de nuevas farolas en las zonas de las nuevas glorietas. ❖

## Ficha técnica

*Titular:*

**Consejería de Obras Públicas del  
Gobierno de Cantabria**

*Proyecto:*

**Nuevo tramo de carretera. CA-251,  
Conexión de CA-250 con Autovía A-8 y  
CA-522 Santullán-Samano.  
Tramo: Variante de Santullán**

*Dirección de las obras:*

**D. Enrique Fajardo Barragán  
Ingeniero de Minas  
D. Eduardo Suengas Goenechea  
ICCP**

*Inspector de las obras:*

**D. Luis Lázaro Gil  
ICCP**

*Empresa adjudicataria:*

**U.T.E. Servicios y Obras del Norte, S.A.  
Obras Subterráneas, S.A.**

*Gerente de la UTE:*

**D. Pedro Bolado Martínez  
ICCP**

*Jefe de obra:*

**D. Jaime Fernández Cuesta  
ICCP**

*Asistencia técnica:*

**Icinsa – I.S.R. (Construcción del túnel)  
Cetyma (Vigilancia ambiental)  
Pedro Sarabia Rogina (Arqueología)  
I+P (Ingeniería y Prevención de Riesgos)**





# Jornada Técnica sobre Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes

**Álvaro Navareño Rojo**  
Director Técnico de la jornada y  
Presidente del Comité de Puentes de  
la ATC

El pasado 26 de enero de 2012 y en la sala Agustín de Betancourt del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, C/ Almagro, nº 42 de Madrid, tuvo lugar esta jornada, promovida por el Ministerio de Fomento y organizada por la Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR) y la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE) con la colaboración del citado Colegio.

## Jornada de mañana

### Presentación del documento

Comenzó el programa técnico de la jornada con la presentación, por parte de **D. Álvaro Navareño**, *Presidente del Comité de Puentes de la ATC*; **D. Javier León**, *Presidente de la Comisión 4 de ACHE*; y **D. Luis Villamonte**, *Coordinador del Grupo de Trabajo* del documento “**Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes**”, que ha redactado un panel de

expertos integrados en un grupo de trabajo común del Comité de Puentes de la ATC-AIPCR y con la Comisión 4, Uso y Mantenimiento, de ACHE. Se trata de una interesante referencia que viene a cubrir, con profundidad, rigor y carácter práctico una laguna en la bibliografía, tanto de la Ingeniería de Mantenimiento, como del proyecto y ejecución. Precisamente y desde su concepción, los tres ponentes fueron explicando y justificando su elaboración, sus métodos de trabajo y los temas que aún quedan pendientes por elaborar. Pero, sin duda, el avance que supone este documento justifi-

# Jornadas Técnicas organizadas por la ATC



De izquierda a derecha: Sres. Villamonte, León y Navareño

caba de sobra la celebración de la jornada, al tiempo que facilitaba un intercambio de experiencias muy positivo para el estado del arte.

## Sesión 1: Experiencias en Inspección y Mantenimiento

Moderada por **D. Pablo Díaz Simal**, del LCEM-CEDEX, comenzó con la presentación de la ponencia "**Aparatos de apoyo: tipos y patologías frecuentes**", a cargo de **D. Gonzalo Arias**, de *Ines Ingenieros*. En su presentación, el ponente concluyó que es muy importante conocer las propiedades de los distintos tipos de aparatos de apoyo, y es también muy necesario disponer de una escala de gravedad de daños y

que el diseño del apoyo y del puente debe permitir un mantenimiento sencillo.

Para llegar a estas conclusiones, desarrolló su intervención a través de una introducción, en la que reflejó la normativa y la documentación de referencia, así como una estadística sobre ellos. Posteriormente expuso las distintas tipologías de apoyos: elastoméricos (anclados o deslizantes), de rodillo, pot, oscilantes, PTFE (cilíndrico y esférico), guiados y bloqueados, así como otros del tipo "rótulas de hormigón". Tras definirlos y presentar sus diferentes características, pasó a exponer las patologías de los apoyos, subrayando la necesidad de identificar los deterioros, emplear una nomenclatura común y asignar un grado de gravedad, estableciendo un patrón de da-

ños. De esta forma, fue desgranando diferentes patologías (degradación, despegue, pérdida de la posición original, excesos de compresión y de deformación, pátinas, rotura y defectos en la base de apoyo) relacionándolas con cada uno de los diferentes apoyos enunciados.

En la siguiente ponencia, "**Selección y tendencias actuales en aparatos de apoyo**", de **D. Ignacio Pulido**, de *Ideam*, se expuso a los presentes que los aparatos de apoyo tradicionales han tenido en los últimos años un gran avance, con el desarrollo de la normativa europea EN 1337 y los materiales deslizantes de última generación. Así mismo, que cada tipo de apoyo tiene su campo de aplicación, siendo los apoyos elastoméricos los que presentan una mejor relación características-comportamiento-precio. Sin embargo, también subrayó que se puede elegir un apoyo óptimo, pero una mala o deficiente instalación lo inutiliza, por lo que hay que cuidar tanto el diseño como la fabricación, y, por supuesto, la instalación.

También destacó que en los apoyos tipo POT, el "Internal seal", o sellado interno, es un parámetro muy importante y deberían quedar las especificaciones establecidas en el proyecto.

En cuanto a los apoyos de tipo esférico, defendió que son una buena alternativa a los apoyos tipo POT cuando se necesitan grandes giros.

Tras ello expuso que existe una gran variedad de tipologías de apoyo, y que, en función de las necesidades concretas, se debería buscar información en fabricantes y normativas para obtener el apoyo óptimo. Igualmente, subrayó que las bandejas deslizantes son un elemento sencillo, pero crítico, y que su diseño y dimensionamiento debe ser "generoso" en recorridos.

Más adelante, y entre otras, informó que la norma EN 15129 sobre dispositivos sísmicos regula el diseño, fabricación y uso de estos dispositivos, y que es de obligado cumplimiento en Europa. En cuanto a las estrategias sísmicas, los aisladores sísmicos, si bien son una tecnología existente hace muchos años, están teniendo un gran desarrollo y utilización últimamente.

El ponente no quiso finalizar sin subrayar que los dispositivos antisísmicos permiten reducir los esfuerzos en la subestructura mediante el aislamiento (modifica-



48 Vista parcial de la sala

ción del periodo natural de vibración de la estructura) y amortiguamiento (disipación de energía).

“**Juntas de calzada. Tipologías y deterioros más frecuentes**” fue el tema elegido para la presentación de **Dña. Ana Belén Menéndez**, de *Geocisa*, quien dividió su exposición en tres partes. La primera, de introducción, en la que definió a las juntas como los dispositivos que se deben adaptar a los movimientos relativos que se producen entre dos partes de una estructura, debidos a procesos reológicos, cambios de temperatura, acciones de tráfico, asentamientos, etc., y que tienen como funciones las de asegurar que los movimientos se puedan producir sin deteriorar ningún elemento estructural, soportar las cargas de tráfico, facilitar el confort a los usuarios, que sean estancas y que no sean fuente de ruidos, impactos o vibraciones. Por ello, se emplean distintos materiales que cumplan las distintas funciones, uniéndolos de forma adecuada. También subrayó que tradicionalmente ha sido un elemento poco cuidado, debido a los plazos y la economía, y que es muy importante estudiar detenidamente cada caso particular para determinar la tipología más adecuada. También destacó que hay que tener en cuenta que la vida útil de las juntas varía entre 5 y 20 años, y, que siempre hay que planificar las inspecciones.

Más adelante aclaró que se pueden dar diversas clasificaciones tipológicas en función de distintos criterios, pero que se ha optado por mantener la clasificación del documento “Juntas para puentes de carretera. Consideraciones prácticas.” ATC, 2003.

La segunda parte de su intervención la dedicó a presentar los diferentes tipos de juntas, en qué consisten, dónde se utilizan, su vida útil, etc., y que clasificó en: junta sellada con material elástico, perfil de caucho comprimido, de betún modificado, banda de caucho plegada, perfil de elastómero armado; y juntas con placas deslizantes, modulares, de dientes y de peine.

Finalmente, la última parte la dedicó a presentar los deterioros más frecuentes, no sin antes subrayar las consecuencias de una junta en mal estado, y el riesgo que conlleva para el usuario al no poder absorber los movimientos y los sobreesfuerzos de los elementos estructurales. Entre los



Sres. Arias, Díaz y Pulido

deterioros más frecuentes expuso y explicó casos sobre degradación de materiales, la capacidad de movimiento reducida, la falta de material/módulos de junta y su rotura, la pérdida de estanqueidad, las fisuras o degradación del cajeadado, la pérdida de anclajes y de sus elementos protectores o la pérdida de alineación entre placas o chapas, así como la corrosión de los elementos metálicos.

En la presentación de los “**Sistemas de drenaje en puentes ferroviarios de Adif**”, de **D. Víctor Aragoncillo** (ADIF), se expuso el esquema de funcionamiento del drenaje y la impermeabilización de los viaductos ferroviarios. Durante la misma, se realizó una detallada descripción de los múltiples elementos que integran el drenaje, tanto para

la evacuación de agua del tablero como de los estribos. Además, se desarrollaron las diferentes soluciones técnicas empleadas para la impermeabilización del tablero.

A continuación, **D. Luis M<sup>a</sup> Ortega Basagoiti**, de *Retineo*, expuso la ponencia “**Inspección y mantenimiento: reflexiones**”. Comenzó su intervención presentando una serie de antecedentes, en su mayoría conclusiones habidas en las distintas jornadas y congresos de los últimos años, y exponiendo una amplia panorámica de la situación actual de la conservación. Por otro lado trató, a través de las actuales instrucciones EHE y EAE, cómo se contemplan los planes de mantenimiento, analizando y reflexionando sobre el concepto de vida útil de una estructura. Para el ponente, las



Dña. Ana Belén Menéndez en un momento de su exposición

## Jornadas Técnicas organizadas por la ATC



D. Luis Mª Ortega Basagoiti

instrucciones han supuesto un gran avance, especialmente en lo referido al plan de mantenimiento, pero planteó algunas dudas sobre ellas subrayando, por ejemplo, que en la Instrucción EHE se da un excesivo peso en el texto actual a las inspecciones frente a lo que es mantenimiento, aunque con bastantes ideas destacables tanto conceptuales como económicas y técnicas. También planteó una serie de aspectos que debatir y desarrollar como el concepto de vida útil de un puente: ¿es lógico que sea igual para todos los puentes? ¿No está en contra de la tendencia habitual en otros campos? Además, si hay que proyectar con costes de conservación aceptables, ¿no deberían evaluarse éstos en los planes de mantenimiento y, por tanto, en el proyecto? ¿No habría que cambiar la forma de proyectar para realmente llegar a una optimización del coste para el ciclo de vida completo de la estructura?

Ya dentro de sus conclusiones, para el ponente es fundamental desarrollar los Planes de Mantenimiento con seriedad para solventar la carencia de “cultura de conservación” hasta ahora existente, puesto que el mantenimiento no es sólo inspección y debe empezar en el proyecto. Así mismo, debe definirse la vida útil de cada elemento de la estructura.

También, para el Sr. Ortega es necesario avanzar en la definición del umbral de prestaciones mínimo admisible, definir en el citado plan de mantenimiento sus tareas recomendadas y la estimación realista de sus

costes, los cuales deben estar bien definidos, aclarando qué se entiende por costes de conservación aceptables o rehabilitaciones significativas. Finalizó planteando una pregunta a los asistentes: ¿puede permitirse el país pensar en seguir diseñando todos sus puentes para una vida de 100 años?

Tras esta intervención, se celebró una **Mesa Redonda: “Operaciones de Mantenimiento – Durabilidad”**, moderada por **D. Javier Payán de Tejada**, del *Ministerio de Fomento (Valladolid)*, en la que se sucedieron una serie de intervenciones.

**D. Emilio Asensio**, del *Ministerio de Fomento (Sevilla)*, expuso la situación de la conservación de carreteras en Sevilla, los distintos sectores de conservación existentes (COEX), así como las necesidades de los mismos. Señaló también la singularidad de algunas estructuras situadas en la SE-30 en la ciudad de Sevilla.

Por su lado, **D. Luis Ayres Janeiro**, de *API Movilidad, S.A.*, presentó dos casos prácticos de operaciones de mantenimiento-durabilidad. En concreto, la reparación de juntas en el viaducto de Can Bros (A-2, Barcelona) y la de una junta en el viaducto de Itálica (SE-30, Sevilla).

En el primero de los casos y tras la inspección realizada, se comprobó que las juntas presentaban un desnivel excesivo entre ambos labios (de 25 a 45 mm) y que, con el paso de vehículos pesados sobre el carril derecho de ambas calzadas, el tablero tenía en sus extremos un desplazamiento vertical mayor de lo habitual. Tras definir la

estructura y explicar la problemática existente (deformación excesiva de voladizos, entre otros), presentó el análisis realizado sobre su capacidad estructural y la solución adoptada que pasa, también entre otros, por actuar sobre el esquema estático de la losa añadiendo un apoyo adicional en el extremo del voladizo. Tras explicar su proceso constructivo, concluyó que existía un problema en las juntas del viaducto debido a la deformabilidad excesiva del voladizo del tablero y que se plantearon dos posibles soluciones: prolongación de la riostra metálica, que tenía una mayor complicación en la ejecución, mayor coste económico y afectaciones a la circulación de la autovía; o, una segunda, que fue la elegida, que consistía en la construcción de los nuevos apoyos más sencillos en la ejecución, mucho más económica y con afectaciones mínimas al tráfico. Además, para la realización de todos los trabajos sólo fue necesario el corte del carril derecho en cada sentido durante la fase de izado para poder comprobar visualmente que los labios quedaban enrasados (para el conjunto de los 4 apoyos duró una única mañana).

El segundo de los casos presentado fue la reparación de una junta “Maurer” en el viaducto de Itálica (SE-30, Sevilla) en el que, tras la inspección, se observaron deterioros en la viga superficial de la junta (D-240), en una vía fundamental para el tráfico rodado en esa ciudad lo que hizo necesario realizar trabajos nocturnos y en fines de semana, y con una estructura compleja y que exigía realización de calicatas. Tras seguir el mismo método descriptivo que con la anterior obra, el ponente concluyó que se plantearon también dos opciones: sustitución parcial de un módulo de junta “Maurer” ya antiguo, lo que resultaba muy complicado; o la construcción de nueva junta en dos módulos que, una vez instalados, se soldaron, facilitando además su transporte e instalación y que permitió mantener abierto el viaducto al tráfico. Para su realización, que duró 11 días, se actuó primero sobre media calzada. Entre las 22:00h del viernes y las 12:00 del miércoles siguiente se completó el primer módulo. A continuación, se abrió al tráfico y se procedió de igual forma sobre la otra mitad.

**D. Antonio Jesús Tocino**, de *Ferrosfer*, intervino con las experiencias de las “Jun-

**tas de dilatación en el sector 8 (M-8) de Madrid**", presentando sus estructuras y enlaces, así como el número de kilómetros de tronco de autovía, sus ramales de enlace y los más de 4,3 millones de metros cuadrados de pavimento que gestionar. En el sector se encuentran instaladas 5804 m de junta de betún modificado, 36 metálicas y 397 de módulos y su tamaño: 77% menor o igual a 50 cm, un 20% entre 50 y 70 cm y un 3% mayor de 70 cm.

Tras ello explicó las juntas de betún modificado empleadas y sus componentes: fondo de junta, chapa metálica de reparto de tensiones, junta en sí -mezcla en caliente de árido ofítico y betún caucho modificado con elastómeros- y capa de sellado superficial. Los tipos utilizados son: de 35 x 6 cm, 50 x 10 cm y 55 x 10 cm (banda de neopreno).

En cuanto a las juntas de dilatación elásticas, explicó su composición y realización: ejecución de una caja de las dimensiones de la junta, saneo y limpieza de la caja, colocación de fondo de junta y chapa metálica, relleno con árido calentado y ligante a una temperatura de 165° C, compactado del relleno y sellado superficial para garantizar la impermeabilidad. Este proceso facilita la apertura al tráfico en pocas horas.

Para el ponente las juntas de betún modificado tienen, entre otras ventajas: fácil y rápida instalación, absoluta impermeabilidad de la junta, se adapta bien a movimientos en las tres dimensiones, cómoda para el usuario (bajo nivel de ruido), segura para el tráfico, se puede reparar con facilidad el tramo dañado y la posibilidad de recrecido de la junta, en el caso de recrecido de aglomerado. No obstante, también mencionó como inconvenientes: que no admite grandes movimientos, tiene una menor durabilidad y requiere un paquete de firme en buen estado.

Finalizó su intervención presentando algunos deterioros en juntas y el caso práctico realizado en el p.k. 51+1 de la M-40 madrileña, en un viaducto de 580 m de longitud.

Más adelante, **D. Juan Ubera**, de *Iberpistas S.A.C.E.*, señaló la importancia de ser muy meticulosos en las obras de reposición de juntas, destacó la importancia del personal y la profesionalidad, y de cuidar mucho el detalle. Ocurre lo mismo con los aparatos de apoyo. Desde su experiencia,



Mesa redonda sobre "Operaciones de mantenimiento-durabilidad", moderada por D. Javier Payán de Tejada

destacó la importancia de una adecuada construcción, bien rematada, y que se debe pensar en la posterior explotación de la infraestructura. Sobre las actuaciones de mejora del drenaje, se remitió a la ponencia de la jornada de la tarde, relativa a Abertis, por la singularidad de las actuaciones realizadas.

## Jornada de tarde

### Sesión 2: Actuaciones de Rehabilitación y Sustitución

Moderada por **D. Luis Villamonte**, *Coordinador del Grupo de Trabajo*, dio comienzo esta sesión con la presentación de las "**Experiencias en sustitución de aparatos de apoyo (I) (Apoyos a media madera)**", de **D. Francisco José González Ramos**, de *Betazul*, quien centró su intervención en los apoyos a media madera, que son los que se disponen entre elementos horizontales del mismo canto. El ponente explicó que, para conseguir la entrega de cargas entre los dos elementos estructurales, es necesario hacer un escalonamiento del canto, especificando que es un apoyo el que permite una entrega de carga vertical, sin ningún empotramiento, por lo que no induce ni a giros ni a momentos flectores en el soporte; y que, en tableros no continuos, permite alargar las luces de vano, sin incrementar el momento flector positivo. Según la EHE: 64.2. Apoyos a media madera, "Las soluciones de apoyo de este tipo son, en

general, puntos conflictivos en donde se concentran problemas de fisuración y degradación del hormigón, por lo que se evitará su empleo siempre que sea posible."

Entre sus ventajas, el ponente destacó la buena concepción estética, momento flector nulo en el apoyo, fácil construcción, y que permite disminuir los momentos flectores positivos y la carrera (el desplazamiento horizontal) en los apoyos y juntas. Para él, se puede conseguir una ley de momentos flectores similar a la de una viga continua hiperestática, con menores deformaciones tangenciales en los apoyos de pilas y estribos, y menor carrera en las juntas de dilatación. Además, explicó que en épocas anteriores estos factores impulsaron el uso de los apoyos a media madera en tableros de puentes de varios vanos, de una cierta entidad, pero que hoy en día se usan poco en tableros in situ, aunque son habituales en prefabricación, para poder llegar a luces mayores, de las que puede alcanzar un prefabricado tipo en un vano isostático.

Finalizó su exposición presentando el caso del puente sobre el río Guadalfeo, en la N-340 (Granada), explicando sus patologías, los problemas encontrados y cómo se reforzó la estructura: apeo provisional con torres de cimbra, transferencia de cargas con gatos hidráulicos, hidrodemolición, corte de las barras verticales de cosido, mejora de la armadura (con anclaje de nuevas barras y manguitos de unión) y de las superficies de apoyo con chapas de acero inoxidable, y hormigonado de la media madera.

## Jornadas Técnicas organizadas por la ATC



Sres. Ladret, González, Villamonte, Delgado y Rodón

A continuación y con las **“Experiencias en sustitución de aparatos de apoyo (II)”**, D. Patrick Ladret, de Freyssinet, centró su intervención, en primer lugar, en el desarrollo de un procedimiento para la sustitución de estos elementos función de: extensión de los daños y causas del deterioro; geometría y características exactas de todos los elementos; cargas actuantes; características de los elementos que soportan las reacciones durante el levantamiento (terreno, cimentación, subestructura, armado del tablero, etc.); medios disponibles: bien de elevación (tipo de gatos, centrales de presión) y de control, o bien de reacción (cimbras, ménsula, estructuras auxiliares), los refuerzos y adecuación de la estructura; condiciones y entorno de trabajo (cortes y restricciones de tráfico, accesos -cestas auto guiadas, camión-pasarela, andamios, góndolas, etc.-, útiles para extraer y recomponer los apoyos auxiliares -rellenos, excavaciones, desbroce del terreno-). Dicho procedimiento debería contener: los antecedentes, descripción de la estructura, del terreno y de su entorno, deterioros significativos en apoyos y otros elementos de la estructura, apoyos a sustituir, acciones, medios disponibles y otros condicionantes, justificación de elementos o estructuras auxiliares, fases del proceso, magnitudes a controlar: cargas, desplazamientos, giros. Y los correspondientes anejos, entre los que se encuentran: Documentación disponible, resultados de ensayos, cálculos justifica-

tivos (terreno, cimentación, cargaderos, tablero, estructura de reacción), planos y croquis de los procesos, informe fotográfico, plan de desmontaje, retirada o almacenamiento de estructuras auxiliares, proyecto y plan de seguridad y salud, plan de impacto medio ambiental, memoria de calidad. Finalmente, expuso la experiencia en dos trabajos de levantamiento de puentes: Uno en la A-5, sobre el Tajo, en Cáceres (un puente de voladizos sucesivos); y otro en la IP7, en Lisboa.

Posteriormente, D. Miguel Angel Delgado, de Comosán, intervino con las **“Experiencias en sustitución de juntas”**. El ponente dividió su exposición en una visión conceptual de la junta, sus elementos, criterios y proceso de modificación, presentando unos datos sobre las obras realizadas de colocación y sustitución de juntas durante 2011 e informando sobre su rendimiento y el coste medio de la modificación, así como su eficacia.

Tras afirmar que se trata de un elemento de la calzada con elevada exposición al tráfico, sus movimientos dinámicos (impactos, fatiga) y sus cargas variables, así como tanto climatológica (variabilidad térmica) como química (ozono, fundentes, etc.), repasó los aspectos funcionales relevantes para el mantenimiento de las juntas, analizando los asientos y ajuste de transiciones del aglomerado al dispositivo de la junta. Dentro de los elementos de modificación, en el apartado de reparación, fue desgra-

nando algunas de las medidas de reparación (apretado de tuercas y tornillos, degradación de mesetas de apoyo y nivelación, deterioro de transiciones, sustitución de módulos o perfiles de caucho y reposición de anclajes y de sus protecciones). Dentro de la sustitución, sus posibles variables por otras de menor, similar y mayor recorrido; y, dentro de la eliminación y sus causas, la ausencia de movimientos irreversibles, la actuación limitada por acumulación de movimientos y la incidencia sobre sistema de apoyos y otras juntas.

Más adelante presentó una serie de criterios de modificación. Así, para la reparación, expuso el envejecimiento severo del material, su pérdida en las transiciones y la de anclajes y sellados. Dentro de la sustitución, la deformación y las pérdidas de elementos. Finalmente, dentro de la eliminación, la ausencia de movimientos reversibles y el rango de la actuación limitada.

Más adelante, se centró en el proceso de modificación y sus pasos: inspección y auscultación de la junta, su recálculo y nuevo diseño, y la necesidad de programar las campañas de modificación, analizando todo el proceso y subrayando sus posibles pasos: número de juntas que modificar, tipos, mano de obra, maquinaria auxiliar, tipo de tráfico, si se trata de una zona sísmica, necesidad o no de cortes y desvíos de tráfico, importancia en la red, extensión, gravedad y evolución, etc. Tras ello, también presentó una serie de experiencias en juntas de neopreno armado, destacando que en cammas de asiento hay que utilizar morteros sin retracción con espesores mínimos de 2 cm. Resistencias a compresión mediante aditivos en función del plazo de ejecución. Además subrayó la necesidad de la continuidad de impermeabilizaciones entre el tablero y sistema de junta, que el acabado del mortero bituminoso en transiciones sea de 1 cm aprox. por encima de rasante, y que en la sustitución de junta hay que hacer coincidir el inicio del módulo con el eje de la calzada, así como evitar que la huella de tráfico coincida con el módulo de junta.

Finalizó su intervención analizando los costes directos e indirectos de estas labores y el análisis de la eficacia de la modificación, subrayando, como medidas de aumento de la vida útil, el mantenimiento preventivo y el tratamiento adecuado del

aglomerado aledaño a la junta, entre otros.

Por su lado, **D. Santiago Rodón**, de *Abertis Autopistas España*, presentó las **“Experiencias en la mejora del sistema de drenaje”**, comenzando su intervención con una introducción y la presentación de unas generalidades, afirmando que el drenaje en las estructuras consiste en un conjunto de elementos (sistema) al que no se le suele prestar la atención debida y las consecuencias de un mal drenaje son estéticas, de durabilidad y estructurales. Para la ejecución de un correcto sistema de drenaje “desde el principio” es necesario un proyectista al que le gusten los detalles y sepa particularizarlos, una dirección de obra puntillosa a la que le guste “pasear por el campo”, un jefe de obra “concienciado”, un encargado “curioso” y unos materiales adecuados. Tras ello clasificó los elementos de drenaje: longitudinales, transversales y verticales con sus diferentes tipos y exponiendo una serie de operaciones básicas de conservación como la limpieza de caces, cunetillas e imbornales/sumideros, reparaciones puntuales de roturas y reposición de tapas de arquetas o rejillas de sumideros.

Posteriormente presentó cómo contempla el drenaje el Manual de Reparación de Estructuras de Abertis Autopistas, que preparó durante 2010, con objeto de proporcionar unas pautas generales de buenas prácticas y una homogeneización en las actuaciones a llevar a cabo dentro de la empresa. El Manual se compone de 24 fichas que abordan todo tipo de deterioros con especial consideración a los elementos del sistema de drenaje (8 fichas): Colocación de juntas de betún modificado y banda de “hypalon”, colocación de canalización con vierteaguas bajo junta, colocación de vierteaguas en borde de tablero, sellado de orificios en tablero, reconducción de aguas en proximidades de arquetas y registros, sellado de imbornales de desagüe, colocación de gárgolas y prolongación de tubos de desagüe verticales e impermeabilización del tablero—conexión con el sistema de drenaje. El Manual se complementa con un Pliego de Prescripciones Técnicas para cada una de las actuaciones que se particulariza para cada proyecto/licitación.

Posteriormente y dentro de los elementos longitudinales, presentó el colector y el canalón longitudinal y la reparación de



En la foto, los miembros de la mesa redonda sobre “Recomendaciones para el proyecto y obra”, que fue moderada por D. Jose Antonio Hinojosa y en la que aparece D. Álvaro Navareño presentando las conclusiones

imposta -goterón-, aclarando que la degradación de las impostas normalmente está asociada a mal drenaje y a la presencia de sales de tratamiento invernal. También analizó los efectos de los ciclos hielo-deshielo y carbonatación.

Tras esto, y relativo a la impermeabilización del tablero, afirmó que, como sistema de impermeabilización de nueva ejecución, se prescribe el sistema de láminas prefabricadas asfálticas con mástico asfáltico, oxiasfalto/betún modificado, destacando, entre otros, la importancia de los solapes de paños (al menos 10 cm)

Finalizó su exposición con los elementos de depuración, balsas de contención de vertidos/decantación y el sistema de depuración biológica: doble sistema de balsas (interiores/exteriores), impermeabilización mediante limos procedentes de la excavación de pilotes, “Filtro verde” constituido por macrófitos acuáticos (junco, lirio amarillo, espadaña...) que absorben y almacenan contaminantes y la estabilización del cordón de las balsas mediante revegetación arbórea (chopos, sauces, etc.).

A continuación, se celebró una **mesa redonda** sobre **“Recomendaciones para el proyecto y obra”**, moderada por **D. Jose Antonio Hinojosa**, del *Ministerio de Fomento*. Expuso inicialmente su visión sobre la realidad de los proyectos, respecto a los elementos protagonistas de la jornada, haciendo hincapié en primer lugar en estudiar siempre la necesidad de los mismos, a

favor de las soluciones de pilas empotradas en tablero, o juntas inexistentes en diversas tipologías de puentes. Así mismo, destacó la importancia de aportar más planos de detalle y más específicos en los proyectos de estructuras.

Por su lado, **D. Antonio García**, de *Cintra*, afirmó que están intentando mejorar sus sistemas de gestión, a través de campañas más sistemáticas de conservación. **D. Javier León**, de *Fhecor Ingenieros Consultores*, expuso que las mejores juntas son las que no existen. Por ello, recalcó la importancia de estudiar siempre la necesidad de ponerlas en proyecto, suprimiéndolas cuando sea necesario a costa de estructuras más integrales, pero, al mismo tiempo, de óptimo mantenimiento. Más adelante, **D. Jose Manuel Simón-Talero**, de *Torroja Ingeniería*, comentó problemas asociados a un mal diseño geométrico de los aparatos de apoyo, a una mala concepción o bien a una mala colocación. Finalmente, **D. Javier Albajar**, de *Maurer*, trató sobre los avances en nuevos materiales y en la necesidad de buscar las mejores soluciones en función de los casos específicos.

La jornada terminó con la intervención de **D. Alvaro Navareño**, que volvió a destacar la importancia de un proyecto exhaustivo en los detalles, y en la necesidad de realizar una conservación meticulosa, agradeciendo al público su asistencia, y esperando que la jornada hubiese resultado interesante y productiva. ❖



D. Roberto Alberola, Presidente de la ATC (centro), en el acto de inauguración de la jornada, junto D. Carlos Oteo (izquierda) y D. Álvaro Parrilla (derecha)

# Jornada técnica sobre Drenaje superficial y profundo en infraestructuras del transporte

El 2 de febrero de 2012 y en la sala Agustín de Betancourt del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, C/Almagro 42, se celebró esta jornada, promovida por el Ministerio de Fomento, y organizada por el Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras con la colaboración del citado Colegio.

## Acto de Inauguración de la Jornada

La inauguración de la jornada fue presidida por **D. Roberto Alberola**, *Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras*, quien subrayó la importancia del tema de la jornada y la gran influencia que tiene tanto para el diseño como para la construcción y mantenimiento de las infraestructuras, y

cuya celebración venía justificada por esa constante labor de la ATC por mantener e impulsar la transferencia de conocimientos, tecnología y puesta en común de todo lo que afecta a las infraestructuras viarias. Así mismo, dio a conocer a los asistentes el inicio, por parte de la ATC, de la impartición de cursos especializados que, de forma paralela, faciliten la formación y especialización de nuestros ingenieros.



Posteriormente, los Directores técnicos de la jornada, **D. Carlos Oteo**, *Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC y Catedrático de Ingeniería del Terreno*, y **D. Álvaro Parrilla Alcaide**, de la *Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*, explicaron a los asistentes las razones y el contenido de la jornada, que, podría decirse, era continuación de la celebrada en Antequera hace unos años, y que pretendía difundir diversos aspectos del drenaje, tanto superficial como subterráneo, así como la labor que está realizando el Ministerio de Fomento en este campo, dando entrada también a la actualidad de las empresas especializadas en esta faceta de la ingeniería.

### Jornada de mañana

Comenzó la jornada con la ponencia **“Drenaje superficial de carreteras: aspectos teóricos”**, de **D. Álvaro Parrilla Alcaide**, del *Ministerio de Fomento*, quien pasó revista al estado de los trabajos de revisión y actualización de la norma 5.2 IC Drenaje Superficial que se está llevando a cabo desde la Dirección General de Carreteras y el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. El documento se encuentra en fase de borrador muy avanzada, esperándose que pueda ver la luz en los próximos meses.

Las principales innovaciones previstas en la norma se basan en los cambios acaecidos en los últimos años en la reglamentación en materia de aguas y gestión de riesgos de inundación, en la evolución científica e informática en materia de hidrología e hidráulica, en los cambios experimentados por la normativa de la DGC y en la experiencia en construcción y conservación de carreteras acumulada en las últimas dos décadas.

El enfoque dado a estos trabajos es el de una actualización del texto formalmente vigente (1990), que incorpore los avances referidos, pero que salvaguarde la estructura global del documento existente, que se entiende perfectamente válida y que se estructura en las siguientes áreas temáticas: Consideraciones generales y criterios básicos, Cálculo del caudal de proyecto, Drenaje de la plataforma y márgenes, Drenaje transversal, Construcción y conservación.



D. Álvaro Parrilla en un momento de su intervención

Esta norma, junto con la relativa al drenaje subterráneo (OC 17/03), que fue objeto de una jornada celebrada por nuestra Asociación en Antequera (2008), constituirá el corpus normativo relacionado con el drenaje en el ámbito de la Dirección General de Carreteras.

**“Drenaje superficial de carreteras: cálculo de caudales”**, de **D. Antonio Jiménez Álvarez**, del *CEDEX*, presentó a los asistentes a los presentes el contenido principal de la propuesta de revisión del capítulo 2 de la norma 5.2 IC de Drenaje Superficial, realizada por el Centro de Estu-

dios Hidrográficos del CEDEX, por encargo de la Dirección General de Carreteras.

Uno de los aspectos más relevantes de la propuesta se refiere a la utilización de la información sobre caudales máximos desarrollada por la Administración hidráulica como fuente básica de información para los caudales de proyecto, en particular los mapas de caudales máximos publicados recientemente por la Dirección General del Agua. Como método de cálculo en cuencas pequeñas se mantiene el método racional modificado, actualizado a su última versión, para el que se establecen distintas reco-



D. Antonio Jiménez presentó la propuesta de revisión del capítulo 2 de la norma 5.2 IC

## Jornadas Técnicas organizadas por la ATC



D. Carlos Oteo, Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC, presentó, esquemáticamente, los problemas más importantes que se plantean en el entorno de las obras viarias en relación con el agua

mendaciones de aplicación. En este sentido, destacó la propuesta de unos nuevos coeficientes correctores del umbral de escorrentía, basados en la regionalización de los resultados derivados de la calibración del método racional y modificado con los datos de más de 400 estaciones de aforos seleccionadas en el ámbito territorial de la España peninsular. También es relevante la inclusión de información cartográfica sobre umbrales de escorrentía, a escala nacional, para facilitar la obtención de dicho paráme-

tro. Asimismo, se incluyen recomendaciones específicas para la estimación de los caudales de más alto periodo de retorno en las zonas costeras del Levante y Sureste peninsular.

Por último, se describieron las principales características de la aplicación informática (CauDren) desarrollada por el Centro de Estudios Hidrográficos como complemento a la Instrucción. La aplicación, desarrollada sobre un sistema de información geográfica de libre distribución, permite el

cálculo de los caudales de proyecto en pequeñas cuencas mediante la aplicación del método hidrometeorológico propuesto en la Instrucción. Para ello, la aplicación obtiene automáticamente la cuenca vertiente, así como las distintas variables y parámetros necesarios para el cálculo, a partir de las distintas capas raster contenidas en ella.

Posteriormente, D. Ángel Juanco García, del Ministerio de Fomento, intervino con el tema “**Drenaje superficial de carreteras: aspectos prácticos**”. Con motivo de la preparación de la actualización de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial, el ponente hizo un repaso de distintos aspectos concretos del drenaje de carreteras, que no aparecían en la antigua instrucción 5.2 IC de 1990, o sobre los que se quiere insistir porque se ha observado, según la experiencia de la Dirección General de Carreteras, que pueden dar lugar a fallos y problemas.

Por ello, comenzó por insistir en la necesidad de una buena práctica constructiva y de conservación, para pasar a exponer las posibilidades de observar el funcionamiento del drenaje a través de la monitorización con las tecnologías actuales.

Posteriormente continuó analizando los vertidos de la escorrentía de la plataforma y márgenes, estudiando la posibilidad de disponer dispositivos de tratamiento. En cuanto al drenaje transversal, habló sobre la elección entre obra de drenaje transversal (ODT) o puente, recordando las definiciones del Reglamento del Dominio Público Hidráulico de cauce, zona de flujo preferente y zona inundable.

A continuación, y tras exponer el diámetro mínimo que deben tener las ODT, se centró en el uso de los métodos numéricos de cálculo, los métodos de tipo 1D y, en especial, los más recientes de 2D en régimen variable por volúmenes finitos, explicando cómo se hace la entrada de datos y cómo se muestran los resultados, exponiendo ejemplos de aplicación al estudio de obras de drenaje transversal y de la plataforma. Finalmente, hizo una introducción al tratamiento del fenómeno de erosión y socavación de pilas y estribos de puentes.

Con esta tercera intervención, se cerró el bloque relativo al avance de contenidos del borrador de norma 5.2 IC, actualmente en fase de elaboración por parte de la Di-



D. Ángel Juanco, del CEDEX, intervino con la ponencia “Drenaje superficial de carreteras: aspectos prácticos”

rección General de Carreteras y el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Finalizó el turno de intervenciones de la mañana, **D. Carlos Oteo Mazo**, *Catedrático de Ingeniería del Terreno*, y *Presidente del Comité de Geotecnia Vial*, que pronunció una conferencia con el siguiente título: **“Del drenaje superficial y profundo y su incidencia geotécnica en las Infraestructuras lineales”**. En ella se presentaron, esquemáticamente, los problemas más importantes que se plantean en el entorno de obras viarias, en relación con el agua, considerando tanto los problemas de inestabilidad de taludes y terraplenes a media ladera, como los casos de filtración bajo la plataforma viaria y el efecto del agua sobre las propiedades físico-químicas del terreno (colapso, hinchamiento, etc., en función de la humedad y densidad del terreno, así como los posibles problemas de “degenerabilidad” por deformación que pueden presentar algunas formaciones arcillosas españolas). A la vista de estas características, se analizaron los procedimientos más usuales de estabilización de desmontes y terraplenes, prestando atención especial a los fenómenos que pueden inducirse en el fondo de trincheras o al pie de desmontes en terrenos colapsables y expansivos, completándose la exposición con un análisis del problema del agua en relación con túneles, bien artificiales, bien subterráneos, tanto por su afección directa a niveles freáticos, como indirectos, a larga distancia. Por último, se prestó atención especial a la auscultación geotécnica de obras, como



En la foto, los ponentes de la sesión de mañana (Sres. Oteo, Juanco, Jiménez y Parrilla) al inicio del coloquio junto a Dña. Belén Monercillo, Directora de la ATC, que moderó la segunda sesión matinal

parte de seguridad de las mismas y parte de aprendizaje.

### Jornada de tarde

La jornada de tarde, dedicada a la presentación de comunicaciones libres, comenzó con las **“Condiciones Hidrogeológicas y daños debidos a la presencia de agua en el terraplén de la carretera GI-533, en el término municipal de Bescanó (Girona)**, de **D. Francisco J. Castanedo Navarro**, de *EPSA y Profesor de la UCM*. El ponente presentó un análisis de las causas que pueden estar produciendo asentamien-

tos progresivos en un tramo en terraplén de la citada carretera (pp.kk. 7+900 a 8+350), que tiene una altura máxima de 12 m, incluyéndose dentro del mismo una obra de drenaje y paso de fauna en las que se están produciendo goteos y presencia de agua por encima de la losa superior del paso, así como una rotura de una de las aletas en la ménsula, y comprobándose que el terreno del trasdós estaba constituido por material totalmente saturado y de consistencia fangosa. Tras 4 sondeos, se comprobó que se había construido con suelos arcillosos algo arenosos procedentes de la degradación del granito y con algunas intercalaciones de



Vista parcial de la sala



Al final de la mañana se celebró un interesante coloquio



En la foto, D. Francisco J. Castanedo quien expuso dos comunicaciones

material más arcilloso. Por ello, la compactación del material en todos los casos es de muy floja a floja, con valores de resistencia a la penetración prácticamente incompatibles con el grado de compactación que se alcanza en un material arenoso extendido por tongadas y con maquinaria de cadenas. Tras el análisis pertinente, se consideró como causa más probable la existencia de manantiales artesianos en las zonas de desmonte o en la transición de desmonte a terraplén que alimentaran la parte superior de su relleno y condujeran el agua que, posteriormente, goteaba en la losa superior de la estructura de paso.

Posteriormente, el mismo ponente presentó los **“Problemas hidrogeológicos por circulación de agua en una zona karstificada de la AP-68 (Alto de Altube)”**, de la que es autor junto a D. Rafael Pérez Arenas y D. Santiago Rodón, de Abertis Autopistas España. En esta intervención, presentó el análisis de las causas y metodología de estudio para la reparación de los problemas de hundimiento de la plataforma en la Autopista AP-68, Bilbao-Zaragoza. Tramo: pp.kk. 35,5 a 36,5 (Alto de Altube), que geológicamente se sitúa sobre una zona diapírica con ascensión de arcillas y yesos del Keuper, cuyas singularidades geológicas suelen llevar siempre asociados problemas de karstificaciones, afloramientos de aguas termales con composición mineralógica singular respecto al

resto de los acuíferos de la zona, etc.

A continuación, D. Santiago Rodón intervino con el tema **“Degradación de los paramentos por erosión de un desmonte en la AP-71, León-Astorga, y análisis del riesgo de rotura por flujos de derrubios”**, de la que era autor junto a los citados D. Rafael Pérez Arenas y D. Francisco Javier Castanedo Navarro. Su intervención se centró en el desmonte ubicado entre los pp.kk. 29+000 y 29+600, margen derecha, el que presenta una mayor problemática debido a este fenómeno en la autopista. Entre otros desperfectos, citó que, en la parte de desmonte por encima de la berma, existe un total deterioro por tubificación y acaravamiento, quedando en voladizo niveles centimétricos de areniscas y limolitas cementadas, estando la cuneta del borde de la berma saturada por arrastres y habiendo acaravamientos incluso en zona de cuneta. En definitiva, los daños que tiene actualmente este desmonte son, a juicio de los autores, calificados como de graves.

A continuación, D. Rafael Pérez Arenas, de Abertis Autopistas España, tomó la palabra y expuso el **“Efecto inestabilizador de la saturación de la coronación de los terraplenes en la autopista AP-71 y medidas de mejora de la estabilidad”**, de la que también era autor junto a los Sres. Rodón y Castanedo. Comenzó explicando que en algunos de estos terraplenes, con alturas de 6 a 8 m, se han producido distin-

tos desperfectos con grietas longitudinales paralelas a la calzada y escarpe en la berma superior, así como que también se han producido deslizamientos superficiales en los paramentos del derrame del talud afectando a toda la altura.

Todos estos desperfectos aparecieron reflejados en las fichas del Sistema de Gestión de Taludes de la Red de Abertis Autopistas España, elaboradas por la UTE Geoprin-Epsa, contratada por Abertis.

Tras explicar algunas de las medidas adoptadas hasta la fecha, las tres posibles soluciones para su reparación y el análisis realizado de las condiciones iniciales de estabilidad de los terraplenes, así como las exigencias del coeficiente de seguridad, procedió a presentar la solución adoptada que consistió en la impermeabilización de todo el derrame del talud y la berma mediante lámina de bentonita, ya que no obligaba a aumentar expropiaciones, el movimiento de tierras era mínimo -sin necesidad de acopios ni de ocupaciones temporales de terrenos ajenos a la autopista- y la ejecución de las obras era compatible con el mantenimiento del tráfico en la autopista, aunque con algunas restricciones por la ocupación de la maquinaria de colocación de la lámina, que, en cualquier caso, es ligera

Por su lado, D. Carlos Ursúa Lorenz, de Concesionaria Española de Autopistas, S.A., expuso la comunicación **“Asientos y fisuración de terraplenes realizados con materiales tolerables cohesivos debido al aumento del grado de saturación, y su ejemplo en la AP-41”**, de la que era autor junto al Sr. Castanedo, informando que en la AP-41, Madrid-Toledo, se han producido varios agrietamientos longitudinales en el firme de algunos de los terraplenes realizados y que hacían temer por su futura estabilidad. Esta comunicación describió los tramos con los desperfectos que presentaba en octubre de 2010 y las reparaciones efectuadas hasta principios de 2011, sin que desde entonces se hayan producido nuevos desperfectos en las zonas reparadas ubicadas en distintos puntos kilométricos y en ambas calzadas

Tras el análisis y las prospecciones realizadas se concluyó que las causas de los mencionados agrietamientos eran fundamentalmente debidas al reblandecimiento por saturación del material de terraplenes

que, aunque eran tolerables, presentaban un alto contenido en finos. Además, la entrada del agua se había visto favorecida por el hecho de que la mediana no estaba impermeabilizada. Los principales desperfectos se reducían a 4 terraplenes, siendo los desperfectos de los tres primeros claramente debidos a asientos por reblandecimiento al humedecerse el cuerpo del terraplén, mientras que el cuarto era un asentamiento muy localizado justo por encima por donde el terraplén cruza el aluvial del Arroyo de la Viñuela. Por tanto, la naturaleza blanda de estos materiales sería la causante del reflejo en el firme de los asentamientos.

Finalmente, informó que en toda la altura del derrame del terraplén y hasta por debajo de la zona en que la explanada mejorada se ha sustituido, colocándose lámina impermeabilizante de bentonita. Una vez regularizado y nivelado el paramento de su derrame, se recubrió con tierra vegetal para evitar su agrietamiento por desecación durante el estiaje. La lámina de bentonita es impermeable por la presencia de arcilla, pero, al mismo tiempo, permite el paso de raíces de la vegetación, cosa que no permiten otros tipos de láminas impermeabilizantes como la *pead* y otras similares.

La segunda parte de la sesión comenzó con la exposición de un segundo bloque de comunicaciones en la que **D. Jorge Gutiérrez Cuevas**, de *Intermas Geosynthetics*, expuso la “**Utilización de geocompuestos de drenaje en infraestructuras del transporte**”, comenzando por subrayar que es más fácil y rápido de instalar, cumple sus objetivos, tiene una menor limitación por pendiente y facilita e incrementa la seguridad en obra. Dentro del drenaje vertical expuso como ejemplo los más de 55 000 m<sup>2</sup> de Interdrain GMFL 6 que se instalaron como drenaje e impermeabilización en algunos falsos túneles del AVE, como el de la Línea Madrid-Valladolid o algunos ejemplos de los realizados en las autopistas radiales de Madrid.

Intervino a continuación **D. Jorge Mijangos Linaza** quien, dentro del proyecto de investigación OASIS, presentó la “**Compatibilidad entre drenaje, seguridad vial y mantenimiento**”. OASIS es un proyecto de investigación de 30 millones de euros financiado por el CDTI, dentro de las convocatorias CENIT del Ministerio de Ciencia e



D. Rafael Pérez Arenas no sólo expuso dos comunicaciones, sino que además moderó algunas de las sesiones

Innovación, y persigue como razón de ser, entre otras, las autopistas del futuro.

Su filosofía se basa en que cualquier obstáculo peligroso, como las cunetas, debe de ser protegido, y que es más seguro eliminar el obstáculo y así no necesitar protección. El proyecto OASIS, por lo tanto, busca una “cuneta segura”.

El Sr. Mijangos presentó las últimas investigaciones de este proyecto sobre márgenes seguros de una autopista e informando que se ha estudiado una cuneta OASIS sobre la que han pasado vehículos reales a

velocidades de 80, 100 y 120 km/h, y que han cumplido las previsiones de pasar sobre ella y volver a la plataforma sin volcar.

Igualmente informó que se ha estudiado la interacción de niveles freáticos con distintas ubicaciones y profundidades de subdrenes que demuestran que, posicionados al borde de los arcones, son más útiles que bajo las cunetas, evitando la construcción de colectores, que son muy costosos de mantener.

A continuación intervino **D. Goran Vukotic**, de *Kellerterra*, con las “**Actuacio-**



D. Goran Vukotic en un momento de su intervención

# Jornadas Técnicas organizadas por la ATC



Sres. Pérez Arenas y Parrilla junto a la Sra. Monercillo en la clausura de la jornada

**nes con super jet-grouting en un pozo de ventilación del tramo Sants-Sagrera de la LAV Madrid-Barcelona**, ubicado en el cruce de la calle Padilla con la calle Mallorca, en el p.k. 3+925, y en el que se ha empleado una tuneladora "Barcino". Se trata de un túnel urbano de doble vía, de 5,6 km de longitud, de 85 m<sup>2</sup> de sección y 10,40 m de anchura. Los pozos, en general, son recintos apantallados circulares con profundidades, en algunos casos de más de 60 m y cuyas pantallas han sido ejecutadas mediante hidrofresa.

El tema objeto de la ponencia era un pozo de la calle Padilla, en el que, debido a la permeabilidad del terreno por debajo del pie de la pantalla, se decidió hacer un tratamiento con el objetivo de permitir el

drenaje del recinto y trabajar en condiciones prácticamente secas, reducir al mínimo el bombeo por debajo del pie de pantallas, evitar las posibles afecciones a los edificios colindantes, y aumentar los factores de seguridad de la estabilidad hidráulica de la excavación.

En total, se realizaron 126 columnas que sumaron 2 394 m, y se obtuvieron los resultados perseguidos en la actuación.

**D. José María Moure Tribaldos** (ponente) y **D. Leocadio Sánchez Rodrigo**, de *Inocsa*, presentaron **"Experiencia en el diseño de autovías en Rumanía Metodología aplicada en estudios hidrológicos e hidráulicos"** que dividieron en tres partes dedicadas al análisis hidrológico, al dimensionamiento de viaductos y a las socavacio-

nes en puentes. Entre otras afirmaciones, y dentro de la singularidad paramétrica del método hidrometeorológico, subrayaron que el tiempo de concentración ( $t_c$ ) es función del tiempo de concentración del cauce principal ( $t_a$ ) y del tiempo de concentración asociado a las laderas de la cuenca ( $t_v$ ), e indicaron que el cálculo de  $t_v$  es algo más singular ya que intervienen parámetros tales como la longitud media de la ladera, su coeficiente de rugosidad y su pendiente. Así mismo, se obtienen tiempos de concentración superiores a los de la norma española, presentando mayor diferencia a medida que se incrementa la duración.

Finalmente, **D. Raúl Mínguez Matu-rana**, de *Geofísica Consultores*, expuso la **"Aplicación del Geo-radar 3D multifrecuencia para la detección de zonas de acumulación de humedad en obras lineales"** con la que propuso al Geo-radar 3D multifrecuencia como una herramienta de apoyo a las auscultaciones de la vía, que permite la detección de zonas de acumulación de humedad en las capas que conforman la vía hasta profundidades de entre 1 y 2 m. Para el ponente, el pulso de geo-radar es muy sensible al contenido de humedad de los materiales, afectando al contenido en frecuencias del pulso, la reflectividad y la velocidad del pulso del geo-radar. Este instrumento permite analizar con mayor eficiencia el espectro de frecuencia y es capaz de estimar la velocidad de tránsito del pulso de geo-radar. Montado en un vehículo con GPS lo convierte en herramienta eficiente capaz de detectar acumulaciones de humedad en las capas de firme hasta profundidades de 2 m y a velocidades de hasta 100 km/h. Su análisis tridimensional permite estudiar con mayor detalle la estructura del firme e identificar los procesos que generan las patologías.

Por último, un mejor conocimiento de la estructura del firme y su estado es crucial para comprender su evolución futura y planificar en el futuro (incluso antes de que la patología se manifieste) reduciendo los costes de los trabajos de mantenimiento y aumentando la operatividad y seguridad de las infraestructuras.

Una vez presentada la última de las comunicaciones, se dio por finalizada la jornada, agradeciéndose la presencia y participación de los asistentes. ❖



60 D. Raúl Mínguez cerró el turno de presentación de comunicaciones

# Curso básico de cálculo de estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite

## Madrid, 24-26 de abril de 2012



CURSO BÁSICO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Madrid, 24,- 26 de abril de 2012

Organiza:



### Presentación del curso

El primer objetivo del curso es fundamentalmente teórico, mediante un repaso de los conceptos básicos de la teoría de filtración y de los métodos de equilibrio límite necesarios para su aplicación en cálculos de estabilidad de taludes. A continuación, el contenido se enfoca a la aplicación práctica de la teoría mediante unas clases introductorias de iniciación al manejo del paquete informático GEOSTUDIO™. Durante estas clases, el alumno deberá resolver un caso práctico que le será planteado. Este caso será realizado en común en la clase, de forma asistida, con el apoyo que sea necesario por parte de los profesores.

La última parte del curso estará formada por un ejercicio práctico que deberá resolver el alumno de forma personal durante las semanas posteriores a las clases presenciales. El ejercicio resuelto se enviará al equipo docente para su evaluación final.

Al inicio del curso se hará entrega de la documentación correspondiente, formada por las presentaciones de las clases teóricas y una guía rápida de uso del paquete GEOSTUDIO™.

La parte práctica del curso se realizará mediante el uso de la versión educacional del software GEOSTUDIO™, que se repartirá entre los alumnos el primer día para su instalación en sus ordenadores portátiles.

#### Dirección Técnica del Curso:

**Roberto Alberola García.**

Asociación Técnica de Carreteras.

Profesores:

**Miguel Ángel Toledo Municio.**

Departamento de Ingeniería Civil. Hidráulica y Energética. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM.

**Rafael Morán Moya.**

Departamento de Ingeniería Civil. Hidráulica y Energética. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM.

### Programa

#### **Martes 24 de abril de 2012 Módulo 1** **Teoría general sobre filtración y sobre los métodos de equilibrio límite**

16:00 a 17:30 Módulo 1A

1. Concepto de filtración y su efecto sobre la estabilidad de taludes.
2. Planteamiento de un problema de filtración.
3. Repaso de conceptos básicos: línea de saturación, caudal filtrado, presiones intersticiales, gradiente hidráulico, anisotropía y coeficientes de presión intersticial.

17:30 a 19:00 Módulo 1B

1. Concepto de resistencia al corte.
2. Tipos de deslizamientos.
3. Planteamiento de un problema de equilibrio límite.
4. Metodologías e hipótesis de cálculo.

#### **Miércoles 25 de abril de 2012 Módulo 2** **Cálculo de redes de filtración con SEEP/w**

16:00 a 18:00 Módulo 2A

1. Definición del problema.

18:00 a 19:00 Módulo 2B

2. Resolución y revisión de resultados.

#### **Jueves 26 de abril de 2012 Módulo 3**

#### **Cálculo de estabilidad de taludes con SLOPE/w y resolución de un caso práctico asistido durante la clase.**

16:00 a 17:00 Módulo 3A

1. SLOPE/w.

17:00 a 19:00 Módulo 3B

2. Ejemplo de aplicación. Caso práctico asistido por los profesores.

#### **Módulo 4**

Ejercicio evaluado de un caso práctico para que los alumnos realicen de forma personal y entreguen al cabo de una semana (entrega vía internet).

### Lugar, dirección fechas e información

El curso tendrá lugar los días 24, 25 y 26 de abril de 2012, de 16:00 a 19:00 horas en la Asociación Técnica de Carreteras, C/ Monte Esquinza, 24; 4ª dcha. - 28010 MADRID (ESPAÑA). Tel.: (34) 91 308 23 18 - Fax.: (34) 91 308 23 19 .E-mail: congresos@atc-piarc.com [www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

#### **Precio del curso**

- Socios Protectores: 510 € + 18 % IVA
- Socios Colectivos: 540 € + 18 % IVA
- Socios Individuales: 570 € + 18 % IVA
- Resto de Asistentes: 600 € + 18 % IVA

Asignación de plazas por orden estricto de llegada. Plazas limitadas.

#### **Documentación técnica del curso:**

- Se facilitará a los asistentes la versión educacional del software GEOSTUDIO™.
- Es aconsejable acudir al curso con un ordenador portátil para un mayor aprovechamiento del mismo. ❖



# El nuevo Plan de Infraestructuras, Transportes y Vivienda (PITVI) 2012-2024

El pasado 9 de febrero, la Ministra de Fomento, Dña. Ana Pastor, anunció este nuevo Plan ante la comisión de Fomento del Congreso e informó sobre las líneas generales de la política de su Departamento para esta legislatura. El Plan, que tendrá como horizonte temporal el año 2024 y cuyas prioridades pasarán por mejorar la calidad de vida del ciudadano y aumentar la productividad económica del país, contará con el soporte económico de las aportaciones presupuestarias, los fondos europeos y la participación del sector privado.

El Plan, que ya se está elaborando, se elevará al Consejo de Ministros en el mes de julio para su aprobación, y contempla una inversión de 52 403 millones de euros para carreteras. Su realización supondrá, entre otras, la construcción de 4400 km de vías de gran capacidad que supondrá 23 452 millones de euros de inversión.

Para su financiación, además de la pública, se pretende recurrir a la cofinanciación con el sector privado, por lo que se potenciará la participación de agentes en el mercado de capitales a través de las distintas fórmulas de participación público-privada.

Volviendo a sus objetivos, el Plan pretende finalizar los itinerarios viarios en

	Km	Total	Inversión media/ M€/año
<b>Red de Gran Capacidad</b>			
Autovías	4484	23 452	1954
Mejora y aumento de capacidad	93	1265	105
<i>Total</i>		24 717	2060
<b>Red convencional</b>			
Acondicionamientos	179	2767	231
Variantes de población	105	1523	127
Cesión travesías y tramos sin funcionalidad	10 000	2000	167
<i>Total</i>		6291	524
<b>Entorno urbano</b>			
Circunvalaciones	298	2965	247
Plataformas metropolitanas	201	2204	184
Accesos a puertos	58	684	57
Accesos a aeropuertos	58	407	34
Otras actuaciones	148	1247	104
<i>Total</i>		7507	626
<b>Conservación y seguridad vial</b>			
Conservación integral	11 000	5568	464
Autovías 1ª Generación	1000	3360	280
Autovías 1ª Generación 2ª Fase	1000	1680	140
Rehabilitación de firmes	9000	1440	120
Barreras de seguridad	1400	240	20
Adecuación de túneles		400	33
<i>Mejora seguridad</i>		1200	100
<i>Total</i>		13 888	1157
<b>TOTAL CARRETERAS</b>		<b>52 403</b>	<b>4367</b>



marcha y cerrar el mallado de la red, así como una nueva planificación ajustada a las necesidades actuales, la optimización de la conservación y la mejora de la seguridad vial. Por ello, los tramos incluidos en los corredores multimodales propuestos por la Comisión Europea e incluidos en la Red Transeuropea de Transporte tendrán prioridad.

## Carreteras

### Red de gran capacidad

Entre otros, el Plan contempla la construcción de los tramos Lugo-Santiago de Compostela (113 km y 442 M€ de inversión), así como los tramos pendientes de la Autovía del Cantábrico en Galicia y Asturias (85,60 km y 484 M€). Además, el cierre de la Autovía A-66 Ruta de la Plata con la ejecución del tramo Benavente-Zamora (49 km; 210 M€), la finalización de los tramos en ejecución de la Autovía A-7 en Granada y Almería, entre Nerja y Adra (50,2 km; 336 M€) y del itinerario Pamplona-Jaca-Huesca Lleida (121 km; 882 M€), así como la finalización de otras 36 grandes y pequeñas autovías (Ver *cuadro 2*).

Así mismo y como se aprecia en el cuadro correspondiente (*cuadro 1*), el Plan contempla la ampliación de calzadas en vías de gran capacidad con el incremento de carriles de circulación, para lo que se destinarán más de 1265 millones de euros.

### Red convencional y accesos a aeropuertos y puertos

Por lo que se refiere a la red convencional los objetivos del plan, entre otros, pasan por la creación de circunvalaciones (variantes Sur de Huesca y Cáceres, variante Norte de Ourense, circunvalación Este de Pontevedra, Rondas Este de Valladolid y León, circunvalación de Granada, nuevo acceso a Cádiz y Ronda de la Bahía de Santander) y mejora del transporte público, así como de creación y también mejora de los accesos a puertos (Málaga, La Línea, Huelva, Cádiz, Algeciras, Gijón, Avilés, Barcelona, A Coruña, Valencia, Gandía, Castellón, etc.) y aeropuertos (Málaga, Barcelona, A Coruña, Vigo, Alicante y

Red de Gran Capacidad-Actuaciones en autovías		
	Km	M€/año
Nordeste (A-2)	251	1629
Sur (A-4)	90	373
Mediterráneo (Granada, A-7)	50,2	336
Cantábrico (A-8)	85,6	484
Duero (A-11, Soria-Portugal)	265	941
Camino de Santiago (A-12)	89	291
Logroño-L.P. Navarra (A-13)	5	70
Lleida-Fra. Francesa (A-14)	95	534
Navarra (Medinaceli-Soria-Tudela, A-15)	125	341
Pirineo (A-21) Huesca-Lérida (A-22) Mudéjar (A-23)	121	882
Daroca-Calatayud (A-24)	43	250
Figueros-Olot (A-26)	24	102
Tarragona-Montblanc (A-27)	89	352
Tarancón-Guadalajara-A-1 (A-28)	169	729
Linares-Albacete (A-32)	224	806
Cieza-Fuente de la Higuera (A-33)	89	286
Ávila-Cuenca-Teruel (A-40)	161	1172
Ciudad Real-Puertollano (A-41)	13	30
Extremadura-C. Valenciana (A-43)	225	500
Costa de la Luz (A-48)	74	450
Rías Bajas (A-52)	10	169
Santiago-Lugo (A-54)	113	442
Lugo-Ourense (A-56)	67	442
A-57.Pontevedra	30	425
Conexión A-57/AP-9 (A-59)	26	363
Valladolid-León (A-60)	136	468
Castilla (A-62)	5	21
Oviedo-La Espina-Canero (A-63)	44	577
Benavente-Palencia (A-65)	80	390
Ruta de la Plata (A-66)	49	210
Ebro (A-68)	246	951
Monforte-Chantada (A-72)	30	196
Burgos-Aguilar de Campóo (A-73)	74	296
Ponferrada-Ourense (A-76)	150	1400
Badajoz-Granada (A-81)	419	2323
Barreiros-San Cibrao (A-82)	30	243
Huelva-Zafra (A-83)	192	1076
Orbital de Barcelona (B-40)	40	296
Reus-Barcelona (T-11)	8	14
Alcolea-Monreal del Campo (N-232)	100	430
La Robla-León (N-630)	22	198

Melilla, etc.).

Finalmente, y siguiendo en el apartado de carreteras, el Plan acometerá la mejora de la conservación de las redes existentes optimizando la inversión, mejorando las medidas de seguridad vial y el confort de la conducción.

## Ferrocarriles

Por otro lado, y por lo que se refiere a ferrocarriles, la ministra de Fomento señaló que los objetivos en política ferroviaria son completar la red de Alta Velocidad, mejorar la red convencional, incrementar la calidad

# Fomento informa

del servicio en Cercanías y homogeneizar el tejido ferroviario.

En el caso de la Alta Velocidad se desarrollarán actuaciones por un importe superior a los 25 000 millones de euros; y para la red convencional, y asociada a la modernización de la infraestructura y del material móvil, se destinan 450 millones de euros anuales. Adicionalmente, se destinarán 860 millones anuales al mantenimiento de la red administrada por ADIF y FEVE.

En cuanto a mercancías, la ministra anunció, entre otras cosas, que llevará a cabo la segregación de los tráficos de mercancías respecto al de viajeros en el ámbito de las grandes ciudades, construyendo para ello las necesarias vías de circunvalación, y se potenciarán las alianzas con otros operadores, especialmente los internacionales, para estimular la competencia.

Por lo que se refiere a Renfe, se ofrecerá a los viajeros mejoras en los sistemas de información y venta, recurriendo al uso de las nuevas tecnologías. Además, también anunció el lanzamiento de una oferta con productos más atractivos, flexibilización de precios y mejora de las prestaciones en los sistemas de información, venta



y posventa. También apostará, en cercanías, por mejorar de forma integral la calidad de sus servicios a través de un Plan de Cercanías Global y, en media distancia, se

prestarán los servicios declarados Obligaciones de Servicio Público con criterios de eficiencia económica y los mejores niveles de calidad.

## RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

REVISTA DE LA A.I.P.C.R. ESPAÑOLA

Para información y suscripciones pueden dirigirse a:

**Asociación Técnica de Carreteras**  
Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid  
Tel.: 913082318 Fax: 913082319  
info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com

Deseo suscribirme por un año a la revista **RUTAS**, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ 4% I.V.A. respectivamente)

Forma de pago:

Cheque

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

Transferencia a la CCC nº 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa

NIF

Dirección

Teléfono

Ciudad

C.P.

e-mail

Provincia

País

**Año 2012**

Fecha

Firma

Nota: En los envíos no nacionales se cobran los gastos de envío

## Adjudicación de contratos

El 10 de marzo de 2012, el Ministerio de Fomento adjudicó a la empresa Innovia Integral, S.A.U, con su publicación en el BOE, el contrato de servicios de asistencia técnica para la ejecución de diversas operaciones de conservación y explotación en varias carreteras comprendidas de la provincia de **Zaragoza**. El importe aproximado de adjudicación es de 10,05 millones de euros.

Los contratos de servicios de asistencia técnica para la ejecución de operaciones de conservación y explotación en la Red de Carreteras del Estado surgen con un objetivo: mejorar el servicio que se presta a los usuarios de las carreteras, incrementando la seguridad vial.

Entre los trabajos que deberán realizarse se encuentran los servicios de comunicaciones, servicios de vigilancia, atención a accidentes, mantenimiento de los elementos de la carretera, servicios de vialidad invernal, mantenimiento sistemático de las instalaciones de suministro de energía eléctrica, alumbrado y señalización variable.

Además, se incluyen las labores de establecimiento de inventarios, agenda de información del estado y funcionamiento de la carretera, programación, coordinación, seguimiento e información de la ejecución de los trabajos, actuaciones de apoyo a la explotación, estudios de accidentalidad e informes de seguridad vial.

Asimismo, se realizarán los trabajos de desbroce, fresados y reposición del firme, limpieza de cunetas, y en general, todas las labores de conservación ordinaria de las vías a su cargo.

Son objeto del contrato los siguientes tramos de carretera:

- A-23, del p.k. 250,700 al p.k. 277,600 (tramo: Torrubia-Zaragoza) y del p.k. 298,600 al p.k. 326,900 (tramo: Villanueva de Gállego-L.P. Huesca).
- N-330, del p.k. 468,300 al p.k. 483,300 (tramo: Muel (Sur)-Cadrete); del p.k. 483,300 al p.k. 491 (tramo: Cadrete-Zaragoza); del p.k. 502,200 al p.k. 510 (tramo: Zaragoza- Villanueva de Gállego); y del p.k. 515,500 al p.k. 537,900 (tramo: Villanueva de Gállego-L.P. Huesca).
- N-232, del p.k. 186,800 al p.k. 223,600



(tramo: L.P. Teruel-Burgo de Ebro); y del p.k. 269,100 al p.k. 296,800 (tramo: Fin tramo desdoblado-L.P. Navarra).

- N-122. Del p.k. 49,500 al p.k. 95,800 (tramo: Cruce Gallur-L.P. Soria).
- N-122a. Del p.k. 85,300 al p.k. 86 (tramo: Travesía de Tarazona).
- N-121. Del p.k. 0 al p.k. 6,600 (tramo: Tarazona-L.P. Navarra).
- N-232<sup>a</sup>, del p.k. 209,713 al p.k. 211,270 (tramo: Travesías Fuentes de Ebro); y del p.k. 217 al p.k. 222,610 (tramo: Travesía del Burgo de Ebro).

Además, y en ese mismo día, adjudicó a diversas empresas la ejecución de otras operaciones de conservación y explotación en varias carreteras de la misma provincia de **Zaragoza**, concretamente en la A-23, A-68, N-125, N-211, N-232, N-232a, N-II, N-Illa, Z-32, Z-40 y Z-2563, por un importe de 12,63 millones de euros.

Los tramos son los siguientes: A-23. Del p.k. 291,300 al 298,800; A-68, del p.k. 223,600 al 234+600, y del 250,300 al 269,100; N-125, del p.k. 3,800 al 9,900; N-211, del p.k. 259,100 al 318,300; N-232, del p.k. 242,200 al 250,300; N-232<sup>a</sup>, del p.k. 250 al 253,400; N-II, del p.k. 326,400 al 394,400; N-Illa, del p.k. 324,700 al 329,500; Z-32, del p.k. 246 al 250,300;

Z-40, del p.k. 13,500 al 34; y ZA-2563, del p.k. 0 al 1,900.

También estarán incluidos todos los tramos residuales utilizados como caminos, vías de servicio y demás viales de titularidad estatal.

Además de los tramos anteriores, denominados tramos principales, se incluye a los efectos del uso del servicio de comunicaciones y, en su caso, de servicios de vigilancia específica y de atención de emergencias, urgencias y actuaciones excepcionales, restos de la red dependiente de la Unidad, y que se denominan tramos no principales.

Finalmente, también adjudicó operaciones de conservación y explotación en varias carreteras en la ciudad autónoma de **Ceuta**, cuyo importe asciende a 1 521 506,76 euros.

Los tramos objeto del contrato son todos los de carreteras de la Red de Carreteras del Estado comprendidos en el Sector CE-01 de conservación de la Ciudad Autónoma de Ceuta, cuyos tramos principales son: N-352, del p.k. 0,000 al p.k. 3,554 (tramo: Ceuta – Frontera); N-354, del p.k. 0,000 al p.k. 7,556 (tramo: Ceuta – Benzú); y N-362, del p.k. 0,000 al p.k. 8,280 (tramo: Circunvalación Fronteriza).

## Autorización de contratos

El Consejo de Ministros del 17 de febrero de 2012, autorizó dos contratos de servicios para la ejecución de diversas operaciones de conservación y explotación en varias carreteras de las provincias de **Sevilla** y **Albacete**, por un importe aproximado de 39,96 millones de euros. El objetivo de estas obras es mejorar el servicio que se presta a los usuarios de las carreteras, incrementando la seguridad vial.

El primero de los contratos autorizados (provincia de Sevilla), por importe de 19,86 millones, se refiere a la ejecución de diversas operaciones de conservación y explotación en la Autovía A-4 (p.k. 435+700 a p.k. 536+700. L.P. Córdoba-SE-30), así como en la N-IVa (p.k.504+000 a p.k. 511+000 (Accesos y travesía de Carmoña) y la N-339 (Acceso al Aeropuerto de Sevilla).

El segundo contrato autorizado por el Consejo de Ministros, por importe de 20,10 millones, contempla también la ejecución de operaciones de conservación y explotación en las siguientes carreteras en la provincia de Albacete: A-35, Autovía de Almansa-Xàtiva (p.k. 0+000 a p.k. 8+500);

A-43, Autovía de Extremadura-Comunidad Valenciana (p.k. 106+986 a p.k. 143+159); N-301, Madrid-Cartagena (p.k. 193+880 a p.k. 210+300); N-310, Ciudad Real a Valencia (p.k. 111+000 a p.k. 145+000); N-330, Alicante a Francia (p.k. 93+460 a p.k. 99+056); N-344, Almería a Valencia (p.k. 105+400 a p.k. 118+500); y N-430a, Travesía de Almansa (p.k. 589+820 a p.k. 595+460).

Además, el pasado 24 de febrero, el Consejo de Ministros autorizó diversas operaciones de conservación y explotación en varias carreteras de la provincia de Palencia: A-67, con un valor estimado de 40,35 millones de euros: Autovía de Cantabria-La Meseta (p.k. 8+490 a p.k. 117+143); N-120, Logroño-Vigo (p.k. 171+046 a p.k. 233+257); N-611, Palencia-Santander (p.k. 13+653 a p.k. 120+825); N-627, Burgos-Aguilar (p.k. 68+016 a p.k. 78+161); P-12, Penetración al Norte de Palencia (p.k. 0+000 a p.k. 5+024); N-627-a, Travesía de Camesa de Valdivia (p.k. 75+000-a a p.k. 75+600-a); N-611-a, Quintanilla de las Torres-Canduela (p.k. 111+960-a a p.k. 116+274-a); N-611-a, Tramo antiguo, travesía de Valoria (p.k. 103+800-a a 104-255-a); Carreteras de

conexión entre A-67 y N-611 en las localidades de Mozón de Campos, Fromista, Osorno.

Entre los trabajos que deberán realizarse en estas vías se encuentran los servicios de comunicaciones, servicios de vigilancia, atención a accidentes, mantenimiento de los elementos de la carretera, servicios de vialidad invernal, mantenimiento sistemático de las instalaciones de suministro de energía eléctrica, alumbrado, ventilación y control de túneles, señalización variable y semaforización.

Además, se incluyen las labores de establecimiento de inventarios y reconocimientos de estado, agenda de información de estado y funcionamiento de la carretera, programación, coordinación, seguimiento e información de la ejecución de los trabajos, actuaciones de apoyo a la explotación, estudios de accidentalidad e informes de seguridad vial.

Asimismo, se realizarán los trabajos de desbroce, fresados y reposición del firme, limpieza de cunetas, y, en general, todas las labores de conservación ordinaria de las vías. ❖





**SIC**

**DISEÑO GRÁFICO REPROGRAFÍA IMPRENTA**  
**EDICIÓN LIBROS Y REVISTAS PUBLICIDAD**

*¡Anúnciese en esta revista y  
aprovéchese de la oferta especial  
de Campaña 2012!*



con el viento de popa y fijado el rumbo

Precios especiales para estar presente en todos los números de la revista o en una selección de ellos.  
Consulte con nuestro departamento de publicidad [revistarutas@sicrd.es](mailto:revistarutas@sicrd.es)

sic@sicrd.es - www.sicrd.es  
C/. Eduardo Costa, 21, L8  
Minicentro El Bulevar Torreldones ESTACIÓN  
28250 MADRID Apdo. Correos 116  
Tels: 918 591 112 - 609 693 592  
Fax: 918 592 402



De izquierda a derecha, D. José Mª Benlliure, D. José Polimón, D. Edelmiro Rúa y Dña. Mercedes Aviño en la mesa de clausura del congreso que se celebró en Valencia.

## VI Congreso Nacional de la Ingeniería Civil El Colegio de Ingenieros de Caminos apuesta por una reducción de los plazos de ejecución del Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI)

**D**urante los días 23 y 24 de febrero y en la ciudad de Valencia, se ha celebrado este VI Congreso Nacional de la Ingeniería Civil que ha expuesto, analizado y debatido temas tan importantes como los retos de la ingeniería civil, desde los condicionantes de su desarrollo hasta la internacionalización, la necesidad de la conservación del patrimonio construido, todo lo relativo al medio ambiente, el agua y la energía; y, desde luego, la ordenación territorial, la gestión del transporte y la intermodalidad, todos ellos temas “verticales” que integraron el temario técnico del congreso, en el que también se celebraron diversas mesas de debate, además de los ponencias

y comunicaciones libres y una exposición.

El congreso, cuyo acto de inauguración fue presidido por Dña. Carmen Librero, secretaria general de Transportes del Ministerio de Fomento, y que reunió a más de 500 profesionales, empresarios y expertos nacionales e internacionales, puso de manifiesto que la globalización, la convergencia de las organizaciones españolas con las europeas, la defensa de la competitividad y la crisis económica son algunas de las causas determinantes de los profundos cambios actuales en la sociedad. Por ello, el principal objetivo del Congreso fue encontrar respuestas que adapten la profesión de ingeniero a dichos cambios, y así mejorar la

formación de nuestros profesionales desde la docencia a la investigación, conseguir un aumento del empleo en el sector y, en general, definir la ingeniería que se va a necesitar en el futuro.

De cuanto aconteció a lo largo de su desarrollo, D. José Polimón presentó una serie de conclusiones de las distintas sesiones técnicas y mesas redondas que se celebraron, destacando que el Colegio de Ingenieros Caminos apuesta por una reducción de los plazos de ejecución del PITVI, el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda que presentó Ana Pastor en la Comisión de Fomento del Congreso. Este plan contempla un programa de actuacio-



La secretaria general de Transportes del Ministerio de Fomento, Dña. Carmen Librero en una foto de familia junto a D. Edelmiro Rúa, Presidente del Colegio y otras personalidades.

ideologías políticas”. La institución colegial propone potenciar “el mantenimiento y conservación del actual patrimonio de obras civiles para evitar gastos millonarios desmedidos en el futuro y no perder el incremento de competitividad que supone para nuestro país”.

En cuanto al ámbito energético, D. José Polimón señaló en sus conclusiones que “es urgente replantearse el mix energético para disponer de un sistema de generación competitivo y menos dependiente del exterior”. Asimismo, que “España necesita un Pacto Nacional del Agua que recupere la unidad de cuenca en nuestros ríos, apueste por la gestión integrada del agua y haga posible reelaborar y llevar a cabo un Plan Hidrológico para el conjunto del país”.

nes que se desarrollarán durante 12 años, del 2012 al 2024, y el Colegio de Ingenieros plantea acortar el periodo de tiempo para su ejecución.

En su intervención, el Sr. Polimón indicó que en este congreso “hemos llevado a cabo una reflexión profunda y hemos sentido unas buenas bases para la evolución futura de nuestra profesión, en sus etapas básicas de formación y de su desempeño en el mundo laboral”. En sus conclusiones, el Director del Congreso apuntó que

el sector de la ingeniería civil es “la gran generadora de empleo y de PIB” y ha demandó “mantener unos niveles mínimos de inversión en obra pública”. En este sentido, señaló que “las medidas necesarias para la reducción del déficit deben diferenciar entre gasto e inversión productiva”.

Para estimular la economía y contribuir a la creación de empleo, el Colegio de Ingenieros de Caminos planteó la elaboración de “un Plan nacional de Infraestructuras con criterios técnicos y económicos alejados de

## Impulso de la I+D+i

El Colegio de Ingenieros de Caminos también defendió que “es imprescindible una ayuda decidida a la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) que no penalice a las empresas innovadoras, sino que reconozca y premie su esfuerzo, eliminando las barreras para la aplicación práctica de los resultados obtenidos”.

Los ingenieros han solicitado al Gobierno “un plan de apoyo que impulse y consolide la internacionalización de las empresas del sector, en especial de las pymes”. El director del congreso destacó que “el visado es la principal garantía de la seguridad ciudadana”, y que “la profesión requiere unos altos estándares de desempeño que sólo pueden ser garantizados en base a una formación continua esmerada y con la actuación de las escuelas técnicas y las organizaciones profesionales”, añadiendo que “la oferta académica de los estudios universitarios de ingeniería debe racionalizarse y fomentar la internacionalización”.

Por todo ello, la institución colegial demanda “acuerdos de Estado para que todas estas propuestas se lleven a cabo con el máximo consenso”, ofreciendo toda su colaboración y su compromiso con el desarrollo sostenible y la recuperación económica de nuestro país. ❖



En la imagen, mesa redonda que se celebró el día 23 con los responsables de la patronal y las principales constructoras del sector, que reclamaron al Gobierno un mínimo de inversión pública que garantice la internacionalización, la creación de empleo y la innovación en las empresas de ingeniería civil.

## ASEFMA

Según nos informa esta asociación, el día 1 de marzo, en el Palacio de Congresos y Exposiciones de Madrid, se celebró la Asamblea General de Asefma, la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, del año 2.012 con una asistencia superior incluso a la de ediciones anteriores.

Entre otras cosas, en la clausura de la Asamblea, el nuevo Presidente Ejecutivo de Asefma, D. Juan José Potti destacó los datos de producción globales de mezcla bituminosa en Europa del año 2.010 publicados por EAPA (European Asphalt Pavement Association) hace unas semanas, que reflejan una nueva caída. Se ha pasado de una producción total en Europa de 317,3 millones de toneladas en el año 2.009 a 309,3 millones de toneladas en 2.010, lo que representa un descenso inferior al 3%, pero es el tercer año consecutivo de descenso en la producción global en Europa.

España, sigue también cayendo por tercer año consecutivo, pero además con caídas relativas muy superiores a los del resto de los países europeos. En el año 2.007 se alcanzó la cifra récord de 49,9 millones de toneladas lo que nos colocaba en la segunda posición de Europa tras Alemania. En el año 2.009 pasamos a la tercera posición tras Alemania y Francia y en el año 2.010 hemos caído a la cuarta posición tras Alemania, Francia y Turquía. La caída relativa del año 2.010 respecto al año 2.009 es de un 12% y de más de un 30% respecto al año 2.007.

Así mismo, se acaba de cerrar la estadística de 2.011 y la caída ha sido de un 16% respecto a la producción de 2.010, lo que nos sitúa por debajo de los 30 millones de toneladas en España. Esto representa una caída de más de un 40% respecto a 2.007.

Así mismo, el Sr. Potti alertó del deterioro patrimonial de las carreteras españolas y consideró que, en la actual situación de crisis y recortes presupuestarios, el deterioro puede llegar a una situación no recuperable, y que se trata no sólo de un problema económico, ya que el deterioro de los pavimentos afecta de manera directa a la seguridad vial. Por ello, y entre otras, propuso que, como en el caso de Francia,



Asamblea General de ASEFMA

se realizara una programación anual vinculada al valor patrimonial de la red para optimizar su conservación. De esta forma, se deberían destinar no menos de 520 millones anuales para el refuerzo de firmes desde el Ministerio de Fomento y otro tanto desde las Comunidades Autónomas. Para el presidente de ASEFMA, “la situación que estamos viviendo en los últimos años está poniendo al sector al borde de la desaparición” subrayando que “esta afirmación no es exagerada”.

## AERCO

Según nos informa la Asociación de Nacional de Empresas Constructoras de Obra Pública (AERCO), Construcciones Lujan se ha incorporado como miembro de pleno derecho en el transcurso de SU última Junta Directiva.

El presidente de AERCO, D. Javier Sáenz Cosculluela ha señalado la enorme satisfacción de la Junta Directiva por esta incorporación que viene a reforzar la posición de AERCO en obra pública y la defensa de la clase media en dicho sector.

**Construcciones Luján S.A.** es una empresa constructora con más de 50 años de experiencia en obra pública, tanto obra civil, como edificación pública y obra industrial, cuya actividad se inició en la Comunidad Valenciana pasando a cubrir el arco mediterráneo y en la actualidad está ejecutando obras en la práctica totalidad del

territorio nacional. En el año 2009 comenzó su actividad internacional con presencia en Rumania, Reino Unido, Colombia y Perú.

En su conjunto, las empresas asociadas a AERCO cerraron 2011 con una plantilla fija total de 12 000 y 125 000 de empleos indirectos.

## Empresas

**Ferrovial**, compañía global de infraestructuras y servicios, informa que obtuvo en 2011 un Resultado Neto de 1269 millones de euros, frente a los 2163 millones de euros de 2010. El Resultado Bruto de Explotación (RBE) ascendió a 818 millones de euros en 2011, el 8,9% más que el año anterior en términos comparables. Estas son las primeras cuentas anuales que reflejan los cambios en el perímetro de consolidación, consecuencia de la venta de una participación en BAA.

Esta cifra de beneficio es producto de la plusvalía y puesta en valor de la rotación de activos, de la internacionalización de la compañía y la buena marcha operativa del conjunto de los negocios. Las ventas se situaron en los 7446 millones de euros, -0,6% frente a 2010, en términos homogéneos.

Así mismo, la cuenta de resultados refleja la solidez de los negocios de Ferrovial y la resistencia de sus principales activos. En términos homogéneos, el RBE de Autopistas crece el 14,4%; el de Servicios, el 4,9%; y el de Construcción, el 4,3%; mien-



tras el de BAA, el 17,8% lo hace en moneda local. Budimex aumenta un 20,4%; la 407 ETR, un 10,8%; y Servicios España, un 6%.

Sobresale también el buen comportamiento del Aeropuerto de Heathrow y de la autopista canadiense 407 ETR, que han presentado crecimientos del RBE del 18,7% y del 10,6% -en moneda local-. Asimismo, la evolución del tráfico, el incremento de tarifas y el control de costes han permitido esta favorable evolución.

Además, Ferrovial ha conseguido durante 2011 contratos relevantes entre los que destacan las adjudicaciones del proyecto londinense Crossrail, en Reino Unido; la construcción del Centro de Procesamiento de Datos de Telefónica y su mantenimiento durante quince años; así como la construcción de la autopista Manor Expressway Northeast, en Texas, y distintas obras en Polonia e Irlanda. La compañía se alzó también con la recogida y tratamiento de residuos en Murcia durante 20 años; diversas adjudicaciones del Ministerio de Justicia británico y la gestión de varias torres de control en España.

Finalmente, la cartera de Ferrovial se eleva a los 22 422 millones de euros, manteniéndose en niveles históricos, en la que gana peso el componente internacional, que alcanza el 68% en Construcción y el 51% en Servicios. Este volumen de cartera asegura la actividad a medio y largo plazo.

Por su lado, OHL nos informa que el consorcio liderado por OHL (55%), con el grupo polaco PBG (45%) como socio, se ha adjudicado el proyecto "Autopista de conexión del aeropuerto al puerto de Gdansk (ruta eslovaca), tramo IV". Más conocido como "Slowackiego IV", que ha sido adjudicado por la Sociedad Gestora de Inversiones de Infraestructura del Ayuntamiento de Gdansk (Polonia).

El presupuesto de la obra asciende a 221,4 millones de euros, con un plazo de ejecución de 36 meses. Se trata de un tramo de autovía de 2,4 km de longitud que discurre por zona urbana en la ciudad de Gdansk y que ha sido diseñado para una velocidad de 120 km/hora.

Su característica fundamental es la ejecución de dos túneles gemelos bajo la desembocadura del río Vístula en el Mar Báltico. Cada túnel tendrá 1.075 m de longitud y sección transversal circular de 11



Autopista canadienses 407 ETR

m de diámetro libre, con dos calzadas y arcenes cada uno de ellos. Ambos tubos estarán comunicados entre si mediante siete galerías transversales de socorro, de 12 m cuadrados de sección libre y 20 m de longitud. El revestimiento de los túneles se realizará mediante dovelas prefabricadas de hormigón armado de 60 cm de espesor. El río Vístula se cruzara en una longitud de 500 m, con un resguardo de 9 m sobre la clave de los túneles, aproximadamente en el punto medio de su longitud.

La excavación de los tubos se realizará con una tuneladora del tipo "hidroescudo" de 12,56 m de diámetro, especialmente diseñada y encargada para esta obra. Será la de mayor diámetro y longitud de las que funcionan para OHL en la actualidad.

Así mismo, también nos informa que ha finalizado 2011 con unos excelentes resultados, especialmente destacables por la difícil coyuntura económica del ejercicio. Destacan los fuertes crecimientos, del 23,0% y 40,0%, registrados en los márgenes operativos EBITDA y EBIT, respectivamente, así como el incremento del 14,2% en el beneficio neto atribuible, que ha ascendido a 223,3 millones de euros. Las ventas han

crecido un 2,1% y alcanzado los 4869,8 millones de euros.

La actividad internacional del Grupo ha generado el 70,4% de la cifra de negocio y el 89,1% del EBITDA total. Los mercados exteriores con mayor aportación a las ventas fueron Brasil, un 23,3%; México, un 13,6%, y EEUU, un 10,6%. En lo que respecta al EBITDA, México generó el 38,1% y Brasil, el 35,2%.

La división OHL Concesiones ha impulsado, un año más, los resultados del Grupo, gracias a la positiva evolución de su actividad, con crecimientos del 9,1% en ventas y del 24,2% y 40,8% en EBITDA y EBIT, respectivamente. Estos incrementos han elevado aún más la relevancia de esta división en el Grupo, al que ha aportado en 2011 el 76,1% del EBITDA y el 81,3% del EBIT.



Florida Turnpike (OHL)

Así mismo, **Telvent GIT, S.A.**, compañía especializada en soluciones tecnológicas e información en tiempo real para un mundo sostenible, ha anunciado que la autoridad regional de movilidad de Texas, North East Texas Regional Mobility Authority (NET RMA), la ha elegido para integrar el cobro electrónico (ETC) en su actual sistema de peajes tradicional de la región nordeste de este estado.

La tecnología avanzada Open Road Tolling, componente de las soluciones Smart-Mobility™ de Telvent, se integrará con el actual sistema de peaje de NET RMA. Este desarrollo brindará a los conductores de esta vía la comodidad de pagar el peaje sin necesidad de parar, manteniendo una velocidad estable en el tramo de peaje de la autopista. Esto repercute no sólo en beneficios para los conductores, sino también para los operarios del peaje y para el medio ambiente, al incrementarse el rendimiento en las operaciones de cobro y reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por el tráfico intermitente.

El sistema de mantenimiento y operación en remoto (Remote Operations & Maintenance, ROMS), también parte de la solución SmartMobility™ de Telvent, se encargará de hacer un seguimiento exhaustivo de cada aspecto del sistema, proporcionando avisos en tiempo real sobre el estado del mismo y las tareas de mantenimiento pertinentes. Con esto se asegura el máximo nivel de fiabilidad del sistema para los operarios y de disponibilidad para los clientes.

En Norteamérica, la compañía ha llevado a cabo con gran éxito otros proyectos de peaje electrónico, como el desarrollado para la Dirección de Transporte de Nuevo Hampshire, Pocahontas Parkway 895, la Autoridad de Movilidad Regional de Texas Central, Puentes y Túneles de la MTA y la Autoridad de Carreteras y Puentes de Rhode Island.

Igualmente, también ha anunciado que está implantando su tecnología para la gestión de la movilidad en las ciudades chinas de Beijing, Panjin, Fushun, Nanning, Urumqi, Erdos, Yiqi, Changchung y Zhunki ayudando a reducir en más de un 35% las retenciones en sus entornos urbanos. Esto se traduce en tiempos de recorrido dentro de las ciudades de hasta un 15% más rá-

pidos, mayor seguridad para los conductores y reducciones en los niveles de contaminación superiores al 10%.

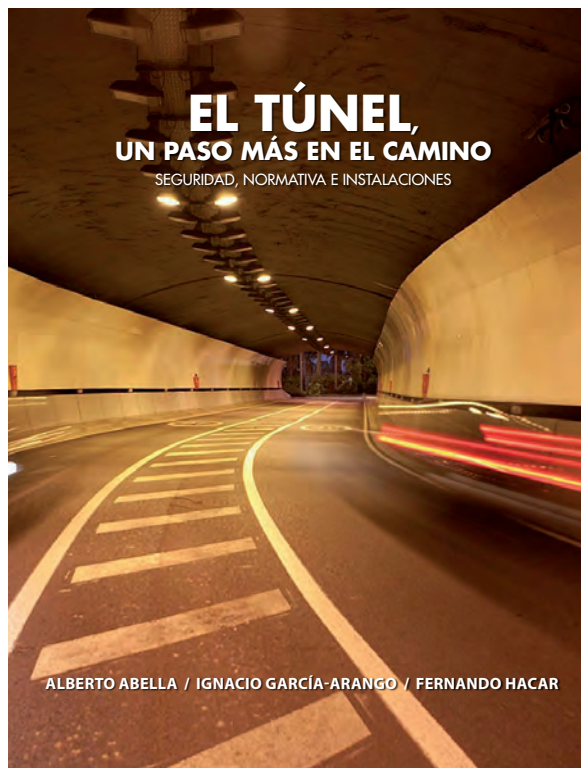
Por su lado, **INECO** nos informa que su Consejo de Administración designó al economista D. Pablo Vázquez Vega como nuevo presidente, en sustitución de D. Ignasi Nieto Magaldi.

Cacereño, de 46 años, Vázquez Vega era en la actualidad director ejecutivo de la Fundación de Estudios de Economía Aplicada (FEDEA). Con anterioridad, ocupó el cargo de subsecretario en el Ministerio de Sanidad y Consumo entre 2002 y 2004, responsabilizándose de las áreas de legislación, consumo y relaciones internacionales. Además, entre 2000 y 2002, dirigió el departamento de Bienestar y Educación, en el Gabinete del presidente del Gobierno, donde también desempeñó entre 1996 y 1998 el cargo de asesor del departamento de Economía y Asuntos Sociales.

Doctor en Economía Aplicada por la Universidad Complutense, Vázquez Vega también realizó estudios de doctorado por la Universidad norteamericana de Berkeley. Es profesor titular de Economía Aplicada en la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Así mismo, **Repsol** informa que alcanzó un resultado neto de 2193 millones de euros, un 53,3% inferior al de 2010, que incorporaba el efecto del acuerdo con Sinopec en Brasil. El beneficio neto recurrente (sin extraordinarios) fue de 2173 millones de euros, un 7,9% inferior al de 2010. Estos resultados se vieron afectados por factores externos, como el conflicto armado de Libia y la situación de huelgas y suspensión del Programa Petróleo Plus, en Argentina. En todo caso, el éxito de la actividad exploratoria de Repsol produjo un aumento récord de la tasa de reposición de reservas de hidrocarburos, que alcanzó para el grupo el 131% (162% en el área de Upstream y el 112% en YPF).

Finalmente, hay que destacar que Repsol consiguió nuevos descubrimientos,



como los grandes hallazgos en Brasil y el de hidrocarburos no convencionales en el yacimiento Vaca Muerta, en Argentina; y que la compañía profundizó en su diversificación geográfica con la adquisición de participaciones en bloques en Colombia, Alaska, Irlanda, Noruega, Portugal, Estados Unidos y Rusia.

### Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas

Esta Fundación acaba de editar un libro que, con el título “**El túnel: un paso más en el camino (Seguridad, normativa e instalaciones)**” ha sido escrito por Alberto Abella, Ignacio García-Arango y Fernando Hacar que condensa en casi 600 páginas todos los aspectos relativos a normativa, seguridad y explotación en túneles, y que servirá de apoyo a cualquier profesional de la Ingeniería que quiera profundizar en este tipo de obras. Sus autores, ingeniero técnico de obras públicas, ingeniero de caminos, canales y puertos e ingeniero técnico de minas cuentan con una sólida experiencia en este campo. Los beneficios del citado libro han sido donados a la citada Fundación. Para más información: Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas, C/ José Abascal, 20. 28003 Madrid. E-mail: fundacion@citop.es. Web: <http://www.fitop.es/proyectos1.html>. ❖



## Implantación del Sistema de Gestión y Eficiencia Energética del Alumbrado en Túneles

- ❑ Cumplimiento de la normativa y uniformidad en la iluminación.
- ❑ Sistema de gestión y control de iluminación para lámparas VSAP y también HM.
- ❑ Sistema dinámico, adaptado a la instalación y a las condiciones externas.
- ❑ Elevado potencial de ahorro y mejora de la eficiencia y el confort (sin perjudicar la seguridad de la instalación).
- ❑ Control del gasto energético y centralización del control de la instalación.
- ❑ Ahorro energético superior al 30% con amortización inferior a 3 años.



gestión y ahorro de energía

**actio**  
aedilitas



# Hacemos GRANDES

hasta los SUEÑOS  
más pequeños...

... porque en Ferrovial Agromán,  
ponemos en tus manos  
a los profesionales más cualificados del sector,  
las más avanzadas tecnologías y más de 80 años  
de experiencia en servicio y atención al cliente,  
lo que nos ha dado reconocido prestigio  
como empresa líder a nivel nacional e internacional.

Nosotros creemos en cada uno de nuestros clientes,  
creemos en **ese sueño** y lo convertimos  
en el más importante, dándole el respaldo  
y la **seguridad** de hacerlo realidad.

**ferrovial**  
agroman

