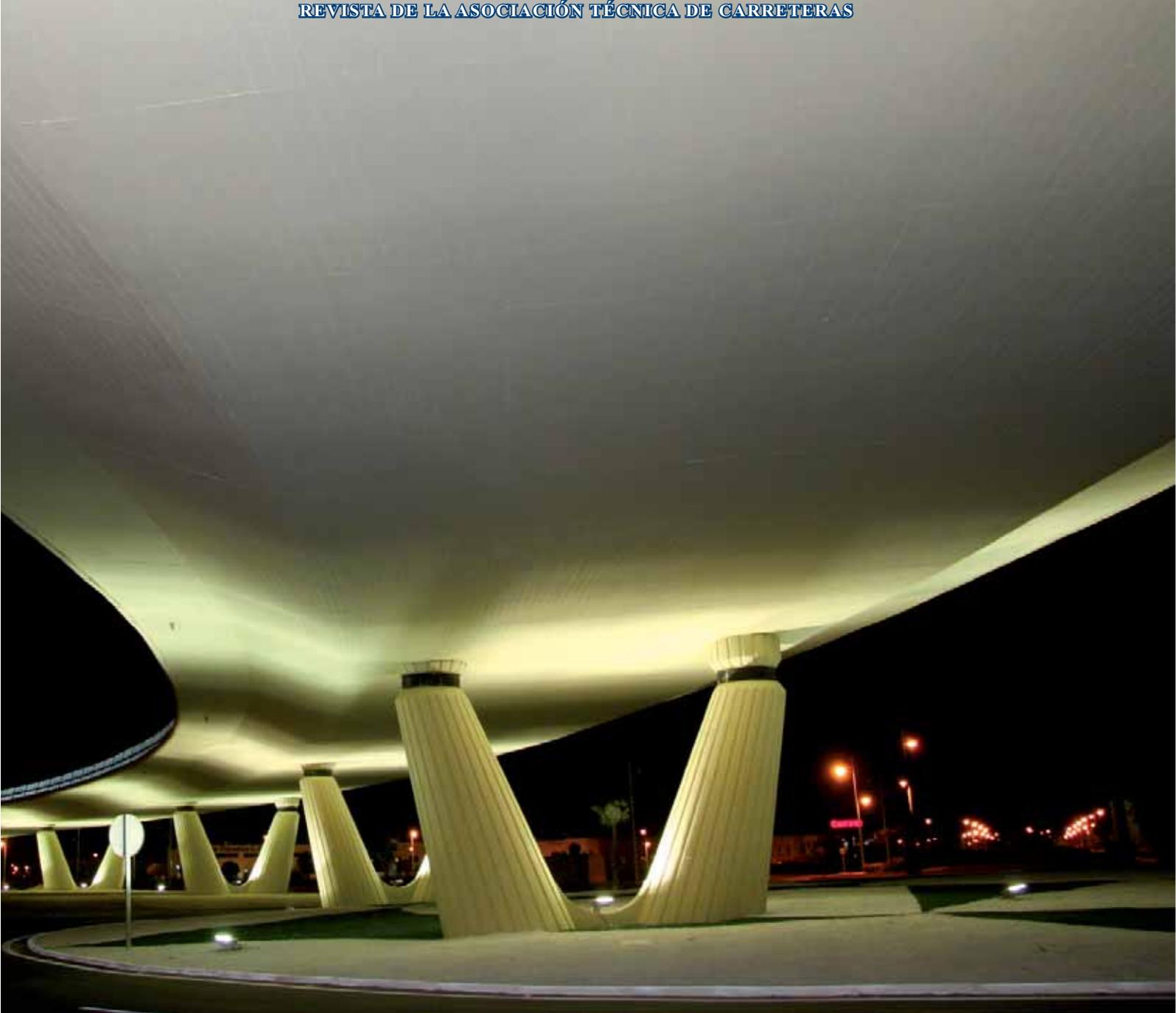


# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 145  
JULIO  
AGOSTO  
2011



## EN PORTADA

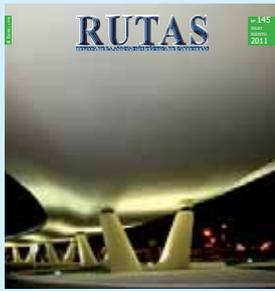
Entrevista a  
D<sup>a</sup> Josefina Cruz Villalón  
Consejera de Obras Públicas y  
Vivienda de la Junta de Andalucía

## RUTAS TÉCNICA

El rozamiento  
Una metodología para el estudio del  
acondicionamiento de carreteras en  
entornos difíciles: el caso de la N-621  
Caracterización de la señalización variable  
en los accesos e interior de los túneles

## SIMPOSIOS Y CONGRESOS

Jornada Técnica sobre  
El estado actual de los  
sistemas de información  
geográfica: aplicación a la  
ingeniería civil



Nº 145 JULIO-AGOSTO 2011

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Edita:  
**ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS**  
Monte Esquinza, 24 4ª Dcha. ♦ 28010 ♦ Madrid  
Tel.: 918 082 318 ♦ 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 Torrelodones  
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:  
Juan Carlos Abad  
Tel.: 685 690 541 ♦ rutas@sicrd.es

Administración:  
Carmen Ulled

Maquetación:  
Javier Viera

Producción:  
Gráficas Ruiz Polo SA

Distribución:  
Manchalán Gupost SA

Foto Portada:  
Visión nocturna de las pilas del viaducto en la  
ampliación de la A-491 y su conexión con la A-4.

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 Más allá de la crisis  
Sandro Rocci

### **En Portada**

- 04 Entrevista a Dña. Josefina Cruz Villalón  
Consejera de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía

### **Rutas Técnica**

- 12 El rozamiento, base de la conducción  
Sandro Rocci

- 26 Una metodología para el estudio del acondicionamiento de carreteras en entornos difíciles: El caso de la N-621 en el desfiladero de La Hermida  
José P. Alba García, Juan C. Mas Bahillo y José Murillo Díaz

- 39 Caracterización de la señalización variable en los accesos e interior de los túneles  
Ángel J. Muñoz Suárez

### **Infraestructuras Viarias**

- 48 Remodelación del enlace de la A-480 con la A-471 en Sanlúcar de Barrameda (Cádiz)  
Antonio Mora Fernández

- 53 Finalizado el último tramo de la ampliación de la A-491 y su conexión con la A-4 en El Puerto de Santa María  
Antonio Mora Fernández

### **Empresa y Tecnología**

- 58 Umetal

### **Simposios y Congresos organizados por la ATC**

- 62 Jornada técnica sobre el estado actual de los sistemas de información geográfica: aplicación a la ingeniería civil

### **Notas de lectura**

- 69 El economista camuflado (*The undercover economist*), de Tim Hartford  
Daniela Cardoso, Manuel G. Romana

### **Fomento informa**

- 71 Fomento informa

### **Noticias**

- 72 Noticias



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

*¡Anúnciese en esta revista y  
aprovéchese de la oferta especial  
de Campaña 2011 / 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 [abad@sicrd.es](mailto:abad@sicrd.es)

[sic@sicrd.es](mailto:sic@sicrd.es) - [www.sicrd.es](http://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



# Más allá de la crisis

Sandro Rocci  
Profesor Emérito  
Universidad Politécnica de Madrid

No, no voy a hablar de la crisis que nos atenaza, ni de la manera de salir de ella... Creo que nuestro país terminará por reponerse y volver a la senda del crecimiento del empleo, aunque se tardará más tiempo del que nos gustaría. Es en ese momento final de la perturbación donde deseo situar las reflexiones que expongo a continuación.

La crisis y la salida de ella no harán desaparecer el hecho de que España compite en un ámbito mundial para atraer, retener y aumentar empleos que proporcionan empresas comprometidas a un nivel también mundial; aun antes de la crisis, docenas de países habían emprendido sustanciales mejoras en sus políticas y en su entorno económico para atraer a esas empresas. No se trata solamente de rebajas fiscales o de subsidios; se abarcan muchos otros campos, y en definitiva se trata de dónde se pueden crear empleos bien pagados, basados en la innovación, la inversión de capital y una actividad exportadora.

El desafío al que nos enfrentaremos no sólo será el de reconstruir nuestra economía; es sobre todo hacerlo de manera que también mejore nuestra competitividad mundial. Básicamente esto provendrá del éxito que tengan los trabajadores españoles en crear empleos competitivos, de elevada productividad y bien remunerados, en todas las empresas que operen en España. Nuestros trabajadores, y sus familias, necesitan empleos dinámicos, con ingresos crecientes y el consiguiente aumento de su nivel de vida. En el pasado, esto ha significado que las empresas que han tenido éxito han logrado aumentar su productividad, su producción por trabajador, creando nuevos productos y nuevos procesos. El premio Nóbel de Economía Paul Krugman<sup>1</sup> lo refleja así:

*La productividad no lo es todo; pero a la larga sí representa casi todo. La capacidad de un país para mejorar su nivel de vida depende casi exclusivamente de su capacidad de aumentar su producción por trabajador... Comparadas con el problema de un crecimiento insuficiente de la productividad, las demás inquietudes económicas a largo plazo... resultan despreciables. O más exactamente, su importancia reside en si afectan al crecimiento de la productividad...*

A lo largo de la Historia, uno de los cimientos del éxito de un país ha sido su infraestructura. Nuestros aeropuertos, viaductos, redes eléctricas, puertos, ferrocarriles, carreteras y abastecimientos de agua han facilitado durante mucho tiempo el movimiento de personas, mercancías e ideas que han propiciado nuestros empleos y la mejora de nuestro nivel de vida. Numerosos estudios<sup>2</sup> han subrayado los beneficios económicos que un país obtiene por la construcción y el mantenimiento de su infraestructura:

- El sector privado experimenta un notable aumento de su productividad derivado de las inversiones públicas en infraestructura: y a menudo, con una rentabilidad mayor que la de la inversión de capital.
- Unas inversiones en infraestructura bien diseñadas pueden estimular el crecimiento económico y la productividad, al tiempo que su efecto beneficioso se desborda hacia otras áreas como el desarrollo económico, la eficiencia energética, la salud y los procesos de fabricación.
- Un estudio<sup>3</sup> de 21 países de la OCDE a lo largo de 20 años ha mostrado que un aumento medio del 10 % en la inversión en telecomunicaciones aumenta el PIB en una media del 1,5 %, especialmente si se ha alcanzado la masa crítica de un acceso casi universal.
- Otro estudio<sup>4</sup> ha analizado cómo la construcción del sistema norteamericano de autopistas interestatales durante los años 50 y 60 del siglo pasado, que supuso un 25 % de toda la inversión (excepto en vivienda) que hizo esa generación, aceleró el crecimiento de la productividad en industrias relacionadas con el automóvil, como la construcción, los servicios y el comercio mayorista y minorista.

Cuando España salga de la crisis ¿podrá crear un entorno dinámico que atraiga millones de empleos de elevada productividad y remuneración? Creo que sí, siempre que haya un enfoque expansivo, tanto en lo relativo a las empresas como a las políticas.

- Las **empresas** españolas abarcan desde millones de empresarios autónomos hasta grandes multinacionales. Y la competitividad necesitará que se cree empleo no sólo por una clase de empresa, sino por todas ellas: grandes y chicas, nuevas y antiguas, españolas y extranjeras. De hecho, algunas de las más dinámicas y que tienen un evidente interés en la competitividad española son las filiales españolas de empresas multinacionales.
- En cuanto a las **políticas**, la competición mundial por el empleo tiene su reflejo en la amplitud de las mejoras en ese campo que siguen llevando a cabo docenas de países. Para estar a la altura del desafío, debemos solucionar muchos problemas: mejorar las tasas de éxito escolar y universitario, estancadas durante decenios; revisar la paño- plia de impuestos que gravan a las empresas de forma compleja y onerosa; enfrentarse a los desafíos presupuestarios que amenazan al futuro crecimiento... Pero uno de los más urgentes es la reparación y modernización de nuestras infraestructuras.

Años de conservación demorada y una falta de modernización dejan a un país con unas infraestructuras obsoletas y poco fiables, que no pueden atender a sus necesidades. Unas infraestructuras sobrecargadas lentifican las entregas de mercancías, crean incertidumbres en las cadenas de suministro, disminuirán la competitividad de las empresas, y aumentarán los costes de los bienes de consumo. Por la seguridad y tranquilidad de nuestras familias, ya no podemos permitirnos carreteras congestionadas, presas anticuadas, abastecimientos de agua averiados, etc.

Hoy las empresas necesitan sistemas fiables de transporte para desplazar a su personal y a sus productos; redes eléctricas fiables para alimentar sus fábricas y oficinas; soportes fiables, celulares y de banda ancha, para manejar sus ordenadores y su creatividad. Unas carreteras congestionadas y unos aeropuertos con retrasos lentifican tanto a los viajeros como a las mercancías. Los apagones y cortes, así como la volatilidad de los precios, complican la producción. Y unas redes celulares incompletas, y una escasa penetración de la banda ancha, inhiben la innovación.

El problema es que el deterioro de las infraestructuras avanza como los glaciares: es poco perceptible hasta que fallan<sup>5</sup>, lo cual parece ocurrir de pronto.

Nuestra crisis de infraestructuras amenaza a nuestra competitividad a nivel mundial, porque erosiona nuestra capacidad de atraer y retener empresas mundiales, que crean empleos de alta productividad y bien remunerados. Nuestro acierto en resolver las necesidades de infraestructura de esas dinámicas empresas mundiales se rezaga cada vez más respecto del de otros países, y contrasta nitidamente con las asombrosas mejoras que se llevan a cabo en muchos otros países. Sin llegar al crecimiento del 9 % que se registra en China, la OCDE ha pronosticado recientemente<sup>6</sup> que de aquí a 2030 la inversión mundial en infraestructuras experimentará un crecimiento anual medio del 3,5 %, por un total de unos 50 billones de euros. Si esto fuera así, España podría quedar por detrás de docenas de países durante al menos una generación. Esto contrasta con el final del siglo XX, cuando las infraestructuras españolas constituían un poderoso imán que las atraía. Ahora tienen muchas más oportunidades de instalarse en otras partes del mundo. ❖

<sup>1</sup> Krugman, Paul R. 1990. *The Age of Diminished Expectations*. Cambridge, Massachusetts (EE.UU.), MIT Press, pág. 9.

<sup>2</sup> *An Economic Analysis of Infrastructure Investment*, U.S. Department of the Treasury and Council of Economic Advisers, 11 de octubre de 2010

<sup>3</sup> Lars-Hendrik Röller y Leonard Waverman. 2001. "Telecommunications Infrastructure and Economic Development: A Simultaneous Approach" *American Economic Review*. Vol. 91, Nº. 4, págs. 909-923.

<sup>4</sup> Fernald, John G. 1999. "Roads to Prosperity? Assessing the Link between Public Capital and Productivity." *American Economic Review*. Vol. 89, Nº. 3, págs. 619-638.

<sup>5</sup> Nicholas Timmins 2010. "In the Global Rush for the New, Don't Neglect the Old", *The Financial Times*, 8 de junio 2010.

<sup>6</sup> Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. "Infrastructure to 2030". Enero 2008.



Entrevista a

## Dña. Josefina Cruz Villalón, Consejera de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía

**N**acida en Huelva en 1949, es Catedrática de Geografía Humana en la Universidad de Sevilla y ha ocupado durante esta misma legislatura la Secretaría de Estado de Infraestructuras del Ministerio de Fomento (2008-2009). Durante la anterior legislatura ocupó la Secretaría General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento (2005-2009) y, previamente, desempeñó la Dirección General de Planificación y Coordinación Territorial en la misma cartera (2004-2005).

También ha ocupado diversas responsabilidades en la propia Consejería de Obras Públicas y Transportes, donde fue Secretaria General de Ordenación del Territorio y Urbanismo (2003-2004), cargo al

que accedió desde la Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo (1995-2003). Durante esta etapa se fraguó la elaboración de la Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía (2002).

**Desde 1995 ha ejercido diversas y difíciles responsabilidades tanto a nivel autonómico como estatal, pero siempre relacionadas con las infraestructuras y la planificación territorial. ¿Qué le ha aportado esa experiencia? ¿Cómo calificaría la transformación**

**habida en el sector de las infraestructuras en esos mismos niveles?**

Sin duda, la experiencia en este tipo de puestos de responsabilidad siempre suma y accedes, en mi caso, a la responsabilidad de gestionar una Consejería como es la de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía con un amplio bagaje, pero, al mismo tiempo, tienes que responder con un mayor nivel de exigencia a la confianza en ti depositada.

En términos más específicos, de mi experiencia yo destacaría el aprendizaje relativo a la importancia de los “tiempos” en las políticas de planificación y ejecución de las

infraestructuras. Frente a los “tiempos políticos” cuyos resultados se han de medir en una legislatura, cuatro años, los “tiempos de las infraestructuras” son siempre más largos. Por tanto, son políticas de Estado que requieren de continuidad entre gobiernos de distinta orientación política.

En relación a la segunda parte de su pregunta, nadie cuestiona la profunda transformación que se ha producido en nuestro país, y particularmente en Andalucía, en la red de infraestructuras de transporte. Hoy en España, y también en Andalucía, estamos a la cabeza de la Unión Europea en kilómetros de autovía por habitante, kilómetros de alta velocidad... Siempre se considerarán necesarias nuevas inversiones, pero nadie puede dudar que la red básica que da soporte a la movilidad de la población y a las actividades económicas está construida.

### **¿De qué forma cree que esa experiencia le sirve para su actual responsabilidad?**

Evidentemente la experiencia adquirida a lo largo de cinco años en los distintos puestos que ocupé en el Ministerio de Fomento es directamente trasladable a la gestión de las infraestructuras de la Comunidad Autónoma de Andalucía, salvando siempre la escala del volumen de inversiones propias de una Comunidad Autónoma en relación a las que gestionamos en el Ministerio de Fomento, o evidentemente el territorio sobre el que se ejerce la acción.

En cualquier caso, como es bien sabido, Andalucía es una de las regiones más extensas del país (la segunda) y la más poblada, y por tanto las infraestructuras gestionadas por la Consejería son igualmente importantes. Así, la red viaria a cargo de la Comunidad Autónoma se eleva a más de 10 400 kilómetros de los cuales 928 km son autovías y carreteras de doble calzada; de tal forma que de los 2 650 km de autopistas, autovías y carreteras de doble calzada que hay en Andalucía, el 35% ha sido construida por la Junta de Andalucía (cuando la media en las restantes Comunidades Autónomas está en el 22%).

Por otra parte hemos emprendido, dentro del desarrollo de nuestro propio plan de infraestructuras (el PISTA, Plan de

Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía, 2007-2013) un amplio y ambicioso programa de dotación de metros y tranvías a las principales áreas metropolitanas andaluzas, de los cuales, está en explotación el metro de Sevilla, finalizada la obra del tranvía de Jaén y muy avanzadas las obras de metros o tranvías en otras áreas metropolitanas. No querría terminar esta breve panorámica de las grandes actuaciones en materia de infraestructuras del transporte en Andalucía, sin hacer referencia a las actuaciones en materia portuaria, ya que la Junta de Andalucía gestiona a través de la APPA (Agencia Pública de Puertos de Andalucía) una red de 37 puertos deportivos, pesqueros y comerciales de titularidad autonómica y está desarrollando, de acuerdo con las directrices marcadas en el PISTA, la construcción de una red de áreas logísticas en el conjunto del territorio.

### **¿Cómo se estructura su Consejería y con qué presupuesto cuenta para este año? ¿Cómo se desglosa?**

La Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía se estructura en tres grandes áreas: el área de Infraestructuras, constituidas por dos direcciones generales (Carreteras y Transporte) y dos empresas públicas (la Agencia de Obra Pública de Andalucía y la mencionada APPA); el área de Vivienda, coordinada a través de la Secretaria General de Vivienda y de la que dependen otras dos direcciones generales (la de Vivienda y la de Rehabilitación y Arquitectura) y la Empresa Pública de Suelo de Andalucía (EPSA). Finalmente se encuentra el área de Ordenación del Territorio y Urbanismo, coordinada también por una Secretaria General y de la que dependen dos direcciones generales (Urbanismo e Inspección).

Asimismo, en la estructura administrativa de la Junta de Andalucía cobra gran importancia en su organización territorial las Delegaciones Provinciales. Ésta, como todas las Consejerías, cuenta con un Delegado Provincial en cada una de las ocho provincias andaluzas, sobre las que recae el peso de la gestión diaria en la ejecución

de los distintos programas y las relaciones institucionales, particularmente con los Ayuntamientos.

Finalmente, en la cúspide de la estructura se encuentra la figura del Viceconsejero, que asume las funciones de coordinación de todos los centros directivos, y una Secretaria General Técnica, con las funciones que la misma tiene en todas las Administraciones,

Los recursos se distribuyen en las dos grandes políticas de la Consejería: la política de vivienda, urbanismo y ordenación del territorio, que dispone para el año en curso un presupuesto global en torno a los 653 millones de euros, y la política de infraestructura y servicios de transporte, que se sitúa en los 1 050 millones de euros.

### **¿De qué forma la actual crisis económica ha afectado a esos presupuestos y a qué obras que estuvieran programadas?**

La Junta tiene un elevado volumen de obras contratadas como consecuencia de la alta licitación en los años 2007, 2008 y 2009, por lo que las actuaciones en curso se han visto afectadas por reajustes presupuestarios. Para resolver esta situación, se está apostando por utilizar los recursos disponibles de la forma más eficaz destinándolos a aquellas actuaciones que han de tener mayor rentabilidad social y económica con su puesta en servicio.

Se trata de concentrar los recursos disponibles en las obras que se encuentran en un grado de ejecución más avanzado o en las que otras circunstancias lo hagan aconsejable. En cuanto al resto, se está apostando por laminar temporalmente su ejecución, siempre desde el acuerdo y consenso con las empresas.

Por otra parte, hemos optado por el procedimiento de financiación conocido como Colaboración Público-Privada (CPP) para la contratación de obra nueva, cuyo instrumento básico es el pago por disponibilidad, una vez que la obra se encuentra en servicio, estableciéndose un periodo (30 años) de recuperación de la inversión mediante este procedimiento, periodo en el que la empresa adjudicataria-concesionaria



La Consejería destina 1 050 millones de euros para la política de infraestructuras y servicios de transporte. En la foto, vista parcial del tramo Albox-El Cucador (Almería) de la autovía del Almanzora (A-334).

se hace cargo asimismo de la explotación y conservación de la infraestructura. En conjunto, a través de CPP, la Consejería va a licitar en el plazo de un año 775 millones de euros en infraestructuras viarias y portuarias, de las que sólo queda por licitar en estos momentos la ampliación del Puerto de Carboneras en Almería, por un importe que está estimado en 40 millones de euros.

### **La Junta de Andalucía, entre otros, tiene dos planes de gran importancia: Plan MÁS CERCA y PISTA. ¿Cómo calificaría los resultados del Plan de Mejora de la Accesibilidad, Seguridad Vial y Conservación en la Red de Carreteras de Andalucía?**

El Plan MÁS CERCA (Plan de Mejora de la Accesibilidad, Seguridad vial y Conservación en la Red de Carreteras de Andalucía) tiene como principal objetivo mejorar las características de la red convencional, la más extensa que gestiona la Comunidad Autónoma, que es además la que garantiza el acceso capilar a todo el territorio y, por tanto, su cohesión territorial, social y económica.

Las actuaciones contempladas en el

Plan MÁS CERCA abarcan un conjunto de medidas, entre las que deben ser destacadas la construcción de nuevas conexiones, el acondicionamiento y mejora de la red viaria, la construcción de variantes de población y mejoras de travesías urbanas, así como todas las relativas en general a la mejora de la seguridad vial y la correcta conservación de las infraestructuras. En fin, un conjunto de actuaciones menos “visibles” que las grandes infraestructuras, pero con un objetivo claro de mejorar las condiciones de accesibilidad y seguridad en toda la red de carreteras.

### **¿Qué actuaciones de las ya finalizadas destacaría por su importancia?**

Ciertamente cada actuación tiene una finalidad y objetivo y todas ellas son importantes. A mi me gusta destacar la construcción de variantes de población, por lo que significan de separación de los tráficos de largo recorrido, particularmente los pesados, de los tráficos urbanos, y su repercusión en la fluidez y seguridad en la circulación tanto en las nuevas variantes, que evitan en paso por los núcleos habitados, como en las antiguas travesías, cuyo tráfico queda circunscrito al propio de esa localidad. En los últimos cuatro años (2007-

2010), en el conjunto de las carreteras convencionales de la Comunidad Autónoma, se han construido o intervenido en 119 km, con una inversión total de 253 millones de euros. El Plan MÁS CERCA contempla la ejecución de un centenar de variantes de población, lo que supone el aumento de la seguridad vial en los municipios beneficiados y la recuperación de las travesías o antiguas carreteras para el disfrute de los ciudadanos. De las variantes contempladas, un total de 32 están ya finalizadas y puestas en servicio (el dato no es muy bueno).

Desde una valoración de conjunto, siguiendo un estudio sobre el incremento de la accesibilidad territorial en Andalucía entre 1994 y 2008, elaborado por la Dirección General de Carreteras, destacaría la mejora de los tiempos de viajes que en el conjunto de la red de carreteras en Andalucía se ha reducido en un 10,5%, y que se eleva a una reducción del 16,7% (una sexta parte) en el caso de la red básica autonómica. Los indicadores de accesibilidad, medidos mediante el denominado índice de trazado-accesibilidad, se han reducido, de media en casi un 10% (9,7%), y ha sido precisamente en las áreas más periféricas, las áreas rurales y de montaña, donde se ha experimentado reducciones entre el 10 y el 15% de media.

### **¿Qué obras importantes quedan pendientes por finalizar?**

Pues yo diría que hay algunas actuaciones cuyos proyectos están finalizados y aprobados y que quedan por licitar las obras de ejecución. Algunas comarcas se han beneficiado mucho con el Plan MÁS CERCA, como por ejemplo la Costa Noroeste de Cádiz, pero hay otras cuyo nivel de ejecución, sinceramente, está por debajo del que se preveía. Nuestros objetivos siempre tienen la intención también de redundar en mejora en el tráfico de medio y largo recorrido, reduciéndose los tiempos de viaje, redistribuyéndose el tráfico existente en el resto de la red y potenciándose la accesibilidad interior regional.

### **El otro gran proyecto que le he mencionado es el Plan de Infraestructuras**

## para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía (Plan PISTA). Lógicamente, le hacemos las mismas preguntas que le planteamos para el Plan MÁS CERCA....

Siguiendo las directrices del PISTA se están llevando a cabo una serie de actuaciones para completar la red de infraestructuras del transporte en Andalucía, incrementar la cohesión territorial y contribuir a la mejora de la competitividad de los sectores productivos regionales.

En los cuatros años completos que han transcurrido de la vigencia del Plan (2007-2010) la inversión de la Junta de Andalucía ha superado los 4 000 millones de euros (4 158 millones de euros), de los cuales casi el 60% (59,2%) han ido destinados a inversiones en carreteras, que es, por otra parte, la infraestructura en la que la Comunidad Autónoma tiene un mayor ámbito de actuación, dadas sus competencias limitadas en otras infraestructuras del transporte.

Con ser importantes las actuaciones en infraestructuras que se han ejecutado o se encuentra previsto ejecutar, este Plan de Infraestructuras ha puesto el acento en la Sostenibilidad, una apuesta clara por mejorar la sostenibilidad ambiental y energética de nuestro sistema de transporte y de ahí las previsiones de construcción de una red de metros o tranvías en las principales aglomeraciones urbanas de Andalucía. Otro pilar fundamental del Plan es la creación de una red logística para el transporte de mercancías, constituida tanto por los nodos portuarios, como por áreas logísticas estratégicamente situadas en el interior del territorio andaluz, que contribuyan a incrementar el valor añadido de las mercancías, a generar sinergias y a mejorar, en suma, la competitividad de nuestros sectores productivos.

### ¿Qué importancia le da esta Consejería y cómo ejecuta la conservación de infraestructuras?

Las actuaciones de conservación también forman parte del Plan MÁS CERCA,



En la foto, vista de la carretera A-369 Ronda-Gaucín.

que tiene entre sus objetivos la modernización del sistema de gestión y organización de la conservación de carreteras, potenciando la conservación preventiva. Las actuaciones de conservación del Plan MÁS CERCA contemplan la renovación del firme de los más de 10 000 kilómetros de carreteras de la red autonómica y la realización de actuaciones de seguridad vial (ensanche de arcenes, mejora de intersecciones, eliminación de curvas peligrosas, construcción de carriles para el tráfico lento, etc.).

Recientemente se han adjudicado los contratos para llevar a cabo las diversas operaciones de conservación en las carreteras de la red autonómica, por un importe de 121,4 millones de euros, con una duración de dos años. Para ello se ha dividido toda la red autonómica en 34 zonas que corresponden a sendos contratos de conservación.

En este sentido debe ser destacado el esfuerzo de incremento de las partidas presupuestarias dedicadas a conservación y seguridad vial. Así, aún en los años donde las disponibilidades presupuestarias permitieron incrementar las inversiones en nuevas infraestructuras, crecieron proporcionalmente más los recursos destinados a esta partida. En 2005 la proporción de recursos destinados a conservación y seguridad vial se situó en el 17,7% del total

de inversiones en carreteras; en 2009 se alcanzó el 29,2%, el 2% del valor patrimonial de nuestra red viaria.

### Cambiando de tema, ¿qué importancia cree que tiene y que tendrá el Decreto 67/2011 por el que se regula el control de calidad de la construcción?

El Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía aprobó el pasado 5 de abril de 2011 el Decreto de Control de la Calidad con el principal objetivo de simplificar los trámites de acreditación de los laboratorios y entidades que ejercen funciones de control de calidad de la edificación y de las obras de construcción, públicas y privadas, dando, a la vez, cumplimiento a la normativa europea que exige la agilización administrativa.

Además del consiguiente ahorro de trámites burocráticos que conlleva la supresión de los requisitos iniciales para el ejercicio de la actividad, esta medida facilita el seguimiento a posteriori basado en inspecciones para comprobar la veracidad de las declaraciones.

En definitiva, se trata de una norma que simplifica la tramitación administrativa previa para la autorización del de la acre-



Tramo en obras de la Autovía del Olivar (A-318) en Jaén.

ditación de tales laboratorios y empresas, mediante la declaración de responsabilidad de las empresas responsables, y reforzando las funciones de control posteriores en el ejercicio de su actividad.

### ¿Qué papel desempeñan y cuáles son los principales objetivos de las empresas y agencias públicas de esta Consejería?

La Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía es una entidad pública creada a partir de la unión de Ferrocarriles de la Junta y Gestión de Infraestructuras de Andalucía tras la reordenación del sector público andaluz. Es el instrumento para el desarrollo de nuestras políticas en materia de infraestructuras de transporte, incluyendo la construcción y explotación de carreteras, ferrocarriles y servicios de transporte mediante ferrocarril, y en general las infraestructuras de obra pública y equipamientos públicos.

Por su parte, la Agencia Pública de Puertos de Andalucía es la entidad competente para el desarrollo y aplicación de la política portuaria y la relativa a las áreas de transporte de mercancías, cuyas funciones se podrían resumir en la organización y gestión de los puertos, instalaciones y servicios

portuarios, incluyendo el dominio público, y el desarrollo, ejecución y planificación de la política portuaria de la Junta en lo relativo a proyectos, construcción y explotación de las obras y servicios de los puertos. En relación con las competencias en transporte de mercancías, su misión es realizar las tareas técnicas, económicas y administrativas que se le atribuyen en orden a la planificación, fomento, desarrollo y control de la red regional de Áreas de Transporte de Mercancías y, especialmente, la gestión de los Centros de Transporte de Mercancías de interés autonómico.

La Empresa Pública de Suelo de Andalucía (EPSA) tiende dos grandes áreas de su actividad, asociadas a sendas políticas públicas. Por una parte, una actuación en materia urbanística y de política de suelo, que configura a EPSA como el instrumento operativo de la Junta de Andalucía a nivel regional para la intervención en el mercado, la ejecución del planeamiento territorial y urbanístico y la realización de actuaciones asociadas a las políticas sectoriales de la comunidad. Por otra, una intervención en materia de vivienda, en su consideración de promotor público de actuaciones protegibles y como gestor y administrador del parque de viviendas públicas, en desarrollo y ejecución de los planes y programas de vivienda que formule la comunidad. En esta

línea de actividad y con el objetivo de la mejora y conservación de la ciudad construida se desarrollan los programas específicos de las áreas de rehabilitación concertada y los de rehabilitación integral de barriadas.

**Recientemente usted ha firmado un convenio de colaboración público-privada para la Autovía A-308, Iznalloz-Darro. ¿Cree que esta firma abre un camino esperanzador para seguir progresando en infraestructuras? ¿Tenemos otras alternativas?**

La firma del contrato con el Grupo Sierra Arana para la construcción y explotación de la Autovía A-308 Iznalloz – Darro es un hito histórico, al tratarse de la primera obra de carreteras que se adjudica mediante este sistema de financiación y que también hemos valorado positivamente por el grado de aceptación y número de licitadores que se presentaron al concurso.

En anteriores ocasiones he tenido la oportunidad de manifestar que es un sistema de financiación que permite mantener, en el corto plazo, la actividad y el empleo, así como el cumplimiento de nuestro plan de infraestructuras en momentos de disminución de los recursos presupuestarios de las administraciones públicas, y desplazando el pago de la inversión al medio-largo plazo.

Como he comentado anteriormente, en estos momentos se encuentra en proceso de presentación de propuestas las licitaciones de otros dos tramos de autovía: la del Almanzora, entre Purchena y Huércal-Overa, y la Autovía del Olivar, entre Estepa y Lucena, por importe de 180 millones y 307 millones de euros respectivamente.

Sin embargo, las obras por este modelo contabilizan como deuda y, por tanto, no podemos licitar más de lo que nuestro presupuesto pueda soportar a medio-largo plazo; es decir, durante el periodo de vigencia de la concesión.

Mi criterio es que cuando dispongamos de un mayor volumen de recursos a través de los Presupuestos de la Comunidad Autónoma, deberíamos recuperar el sistema tradicional de autofinanciación: se licita una

obra, se adjudica y se pagan las certificaciones. Este sistema de CPP es un procedimiento bueno para mantener actividad y empleo en el corto plazo en momentos de restricciones presupuestarias, pero no debería implantarse como sistema habitual de financiación de la obra pública, por los costes financieros que conlleva y porque compromete recursos públicos durante un largo periodo de tiempo (el que dure la concesión administrativa)

**Si le parece, vamos a hacer un breve repaso de la actualidad y lo más destacable de las demás competencias de esta Consejería (Transporte, Urbanismo, Vivienda, Puertos, etc.)**

Son muchas y diversas las actuaciones de la Consejería en cada uno de los ámbitos por los que me cuestiona pero trataré de resumir, muy a grandes rasgos, algunos de nuestras actuaciones. Me gustaría destacar que hemos constituido, en colaboración con Ayuntamientos y Diputaciones Provinciales, la red de consorcios de transporte en las áreas metropolitanas de las ocho capitales de provincia y en el Campo de Gibraltar. Esta red de transporte metropolitano da servicio a 5,38 millones de habitantes en 194 municipios andaluces, se han contabilizado cerca de 49 millones de viajes en 2010 y la red ha emitido más de 660 000 tarjetas.

En el área de Urbanismo quisiera resaltar que ya son 415 municipios andaluces, que suman más del 81% de la población andaluza (6,7 millones de habitantes), los que tienen su planeamiento urbanístico adaptado a las directrices marcadas por la Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía, que recogen en sus documentos de planificación una reserva de suelo para la construcción de un parque residencial de más de 275 000 viviendas protegidas. Esta cifra posibilitará cubrir a medio plazo la demanda de vivienda adecuada a las necesidades ciudadanas en cada municipio de la comunidad. En la actualidad, todas las capitales andaluzas están adaptadas a la LOUA o en proceso.

Estos futuros desarrollos de VPO que se recogen en cada uno de los planes



Distribuidor Norte de Jaén-El Lagarto de Jaén.

generales de los municipios adaptados se verán incrementados con las reservas realizadas en los Planes de Ordenación del Territorio ya aprobados o en tramitación en las denominadas áreas de oportunidad residenciales, que en su mayoría recogen un porcentaje de vivienda protegida superior al 30% recogido en la LOUA. Estas directrices supramunicipales aún no han sido incorporadas en la mayoría de los casos a los planeamientos de las localidades incluidas en estos Planes Subregionales. En los casos de los POT de las aglomeraciones urbanas de Málaga y Sevilla esos ámbitos estratégicos de carácter residencial contemplan un parque protegido de casi 48 000 viviendas.

Como ven, la vivienda es una de las materias más sensibles y de calado más social en nuestra Consejería. Quisiera comentarles que la ausencia de ascensor en edificios residenciales constituye uno de los principales obstáculos que dificultan la vida diaria de personas de edad avanzada o con algún grado de discapacidad. Su instalación conlleva una mejora considerable de la calidad de vida de los residentes y por eso desde la Junta de Andalucía se destina cada año una importante inversión a través de subvenciones para desarrollar las obras necesarias. Desde 2005 casi 80 000 personas se han beneficiado del montaje o mejora de 1 669 ascensores en toda la

comunidad andaluza, con una aportación autonómica de 270 millones de euros.

Siguiendo con cuestiones de vivienda les recordaré que la Junta, la Confederación de Empresarios de Andalucía y 22 entidades financieras hemos firmado antes del verano un convenio que permite la entrada en vigor de la línea de préstamos reintegrables para incentivar la venta del 'stock' de viviendas libres en la Comunidad, prorrogando indefinidamente, hasta agotar los fondos disponibles, esta medida financiera que cuenta con una dotación económica de 978 millones de euros. Hemos renovado la vigencia de este instrumento financiero, demandada por los promotores, con el doble objetivo de reactivar tanto el sector inmobiliario como el conjunto de la actividad económica; y facilitar a las familias andaluzas el acceso a una vivienda en condiciones ventajosas. La iniciativa permite a los ciudadanos adquirir los pisos directamente de los promotores o entidades financieras que se adhieran al convenio.

En materia de puertos, actualmente existen 37 puertos de titularidad autonómica que desarrollan, básicamente, actividades pesqueras (30 puertos), náutico-recreativas (31), o transporte de viajeros (15). En total, estos puertos cuentan con 15 305 atraques para la flota de recreo, de los cuales 4 512 son gestionados directamente

## En portada

por la Junta de Andalucía y los 10 793 restantes son gestionados indirectamente, a través de concesionarios u otras entidades presentes en los puertos. El PISTA prevé aumentar los atraques hasta 25 000 unidades en el horizonte de 2015.

### **Para ir finalizando, ¿cómo calificaría las relaciones con el Gobierno Central en relación con la infraestructura viaria? ¿Hay algún tema pendiente que quiera destacar?**

Nuestras relaciones siempre han sido buenas y de hecho, el plan de infraestructuras de la Junta de Andalucía, el PISTA, contempla las actuaciones del Ministerio de Fomento en nuestra Comunidad Autónoma recogidas en el Plan Estratégico de Infraestructura y Transportes de Fomento (PEIT, 2005-2020) y lo complementa con las actuaciones propias de la Comunidad Autónoma. Un ejercicio de coordinación y suma de esfuerzos en el ámbito de la planificación.

Desde el punto de vista personal, yo he desarrollado distintos puestos de responsabilidad política en el Ministerio de Fomento durante cinco años (2004-2009) y de alguna manera me considero "de la casa", de la que guardo un magnífico recuerdo y buenas relaciones a nivel institucional y personal.

Al mismo tiempo, tengo muy claro cuál es el ámbito competencial de una y otra Administración y que las relaciones de una y otra deben sustentarse en la cooperación y colaboración institucional. Mantenemos reuniones de coordinación a todos los niveles con los responsables políticos y técnicos del Ministerio y seguimos el desarrollo de las principales actuaciones que el Ministerio ejecuta en Andalucía.

Sin duda, para nosotros hoy constituye una prioridad la continuación de las grandes infraestructuras viarias de competencia estatal recogida en el PEIT, tales como la SE-40 en el área metropolitana de Sevilla, el cierre de la A-7 en el litoral de Granada, la Hiperroonda de Málaga, el nuevo puente de Cádiz, Despeñaperros o la A-32 en Jaén (y alguna otra). Conocemos bien el compromiso del Ministerio con la culminación de estas grandes infraestructuras, dentro del marco presupuestario en el que se están desarrollando.



### **¿Qué opinión le merece la labor que lleva a cabo la Asociación Técnica de Carreteras?**

Sin duda es importante su existencia puesto que supone un espacio abierto para poder abordar todas las cuestiones técnicas, económicas y sociales relacionadas con las carreteras y la circulación viaria, y lo que es más destacable, en el que puedan participar las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos (el Estado, las Comunidades Autónomas, las Provincias y los Municipios), así como organismos, entidades, empresas o técnicos interesados en las carreteras. La clave es la suma y el hecho de intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, o proponer normativas, es vital para seguir creciendo.

Por mi experiencia en Madrid, sé que la ATC ha tenido y tiene mucha relación con el Ministerio de Fomento, particularmente con la Dirección General de Carreteras. Su actividad es fundamental para la promoción

y estudio de iniciativas dirigidas a la mejora de las carreteras, de la circulación, y para hacer extensivas técnicas relacionadas con asuntos comunes en todas las vías como su construcción, explotación o conservación.

### **¿Desea añadir algo más?**

Sólo agradecerles la oportunidad que me han brindado de exponer a través de su prestigiosa revista Rutas de amplia difusión en todo el territorio nacional la oportunidad de exponer, con la brevedad que requiere una entrevista de estas características, las principales líneas de actuación de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía.

**Tras esta última contestación, agradecemos a Dña. Josefina Cruz sus palabras y la atención dispensada a la revista Rutas. ❖**

ORGANIZA



IFEMA  
Feria de  
Madrid

TU ENCUENTRO

27-30  
SEPTIEMBRE  
2011



SALÓN INTERNACIONAL  
DE LA SEGURIDAD VIAL  
Y EL EQUIPAMIENTO  
PARA CARRETERAS

# TRAFIC2011

TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN AL SERVICIO DE LA SEGURIDAD VIAL.



SOSTENIBILIDAD

APARCAMIENTO

P



SEGURIDAD

SISTEMAS INTELIGENTES  
DE TRANSPORTE



INFRAESTRUCTURAS

PROMUEVEN



MINISTERIO  
DE FOMENTO



MINISTERIO  
DE INTERIOR

[www.traffic.ifema.es](http://www.traffic.ifema.es)

#### LÍNEA IFEMA

LLAMADAS DESDE ESPAÑA  
INFOIFEMA 902 22 15 15  
EXPOSITORES 902 22 16 16

LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00  
FAX (34) 91 722 57 90

IFEMA Feria de Madrid  
28042 Madrid  
España

[traffic@ifema.es](mailto:traffic@ifema.es)



# El rozamiento, base de la conducción

Sandro Rocci  
Profesor Emérito  
Universidad Politécnica de Madrid

## Resumen

Se exponen en este artículo los fundamentos de la conducción de un automóvil, la cual se basa en la movilización de un rozamiento horizontal entre sus ruedas y el pavimento sobre el que circula. Se analizan los valores admisibles, que dependen de la velocidad operativa. La aplicación de estos conceptos a la distancia de parada (rozamiento longitudinal) y a la circulación en una curva peraltada (rozamiento transversal) permiten una mejor comprensión de las normas de diseño. Se realiza un comparación internacional.

**PALABRAS CLAVE:** Velocidad. Rozamiento. Deslizamiento. Distancia de parada. Curvas en planta.

## 1. Enfoque

Conducir un vehículo se resume en cambiar su velocidad (acelerando o de-

celerando) o su dirección (girando): en ambos casos se necesita movilizar un rozamiento entre las ruedas y el pavimento, longitudinal en el primer caso y transversal en el segundo.

Pero el rozamiento movilizado, el cual se suele designar con la letra **f** seguida de un subíndice **l** ó **t** según sea longitudinal o transversal, tiene un límite que depende de:

- El neumático (materiales, rigidez, etc.).
- El pavimento (micro-textura, etc.).
- La interposición de un fluido lubricante (el agua de lluvia) en la interfaz entre neumático y pavimento, y las condiciones de su evacuación (dibujo del neumático, macrotextura y drenabilidad del pavimento, velocidad del vehículo, etc.).

Más allá de ese límite tienen lugar fenómenos que dificultan o aun impiden la conducción, con el consiguiente peligro. El más frecuente (aunque no el único) es un deslizamiento del neumático sobre el pavimento. El valor del límite o **resistencia al deslizamiento**, que se suele designar con la letra  $\mu$  seguida de un subíndice **l** ó

**t** según sea longitudinal o transversal, es muy variable y depende de los siguientes factores:

### a) Tipo de pavimento:

- A igualdad de los demás factores, los tipos de pavimento normalmente empleados en carreteras presentan valores de  $\mu$  muy similares.
- En otros tipos de pavimento, como los de hormigón sin textura o los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla,  $\mu$  suele resultar inferior.
- Aplicando tratamientos superficiales especiales (lechadas bituminosas, micro-aglomerados, etc.) se consiguen valores de  $\mu$  no inferiores a los de los pavimentos convencionales.

**b) Estado del pavimento:** con el paso del tiempo y bajo la acción del tráfico, los pavimentos van perdiendo sus características superficiales iniciales:

- Los áridos se pulen, perdiendo su microtextura, más o menos aprisa según su naturaleza.

- Disminuye la macrotextura, perjudicando la evacuación de la escorrentía.
- Si se producen ondulaciones longitudinales en el pavimento, el contacto entre éste y el neumático se vuelve irregular.
- Si se producen roderas, en ellas se puede acumular el agua.

**c) Humedad del pavimento:** cuando llueve, la presencia de una película de agua sobre el pavimento disminuye notablemente el valor de  $\mu$ . Descartando *a priori* la presencia de nieve o hielo, circunstancias meteorológicas extraordinarias en las que las velocidades se reducen apreciablemente, se pueden distinguir las situaciones siguientes:

- Pavimento seco.
- Pavimento ligeramente mojado, con un espesor de película de agua del orden de 0,2 mm.
- Pavimento mojado después de una sequía prolongada, pero con una acumulación de finos que pueden actuar de lubricante. A efectos prácticos, se puede asimilar a la siguiente.
- Pavimento muy mojado, con un espesor de película de agua del orden de 2 mm. Este caso es excepcional, pues corresponde a lluvias muy intensas durante las cuales la inclinación y la macrotextura del pavimento ya no contribuyen eficazmente a la evacuación de la escorrentía superficial: en estas circunstancias, tampoco los conductores circulan a la velocidad que circularían en las otras dos situaciones.

**d) Estado de los neumáticos:** aunque cuando el pavimento está seco no reviste especial importancia, sí resulta decisivo para la seguridad cuando está mojado:

- La estudiada textura que lleva la superficie de rodadura del neumático contribuye a la evacuación de la película de agua, facilitando el contacto con el pavimento para movilizar el rozamiento.
- Si el neumático está desgastado y su textura ha disminuido o se ha perdido, la evacuación de la película de agua es más dificultosa,

y disminuye la zona de contacto efectivo, llegándose incluso al fenómeno del *hidroplaneo* o apoyo del neumático sólo sobre dicha película, con anulación del rozamiento movilizado.

**e) Velocidad:** al igual que el estado de los neumáticos, se trata de un factor de escasa relevancia con pavimento seco, pero muy importante con pavimento mojado. Al aumentar la velocidad, se exige a las texturas del neumático y del pavimento que evacuen la viscosa película de agua más deprisa: con lo que la zona de contacto va disminuyendo hasta anularse, en cuyo momento se produce el hidroplaneo.

Aunque el fenómeno no es del todo simétrico<sup>1</sup>, en carreteras se suelen considerar sólo las maniobras de frenado (rozamiento longitudinal) y de giro (rozamiento transversal). Para hallar el máximo rozamiento movilizado admisible para una combinación de ambas maniobras, se pueden hacer las siguientes consideraciones, basadas en la denominada fórmula elíptica:

$$\left(\frac{f_l}{\mu_l}\right)^2 + \left(\frac{f_t}{\mu_t}\right)^2 \leq 1$$

- Si todo el rozamiento movilizado se consume en mantener al vehículo en la trayectoria curva,  $f_t = \mu_t$  (resistencia al deslizamiento transversal); no se podrá movilizar ningún deslizamiento longitudinal si hay que frenar o acelerar. Se trata, evidentemente, de un caso extremo.
- Si se limita el rozamiento transversal movilizado al 60% de la resistencia al deslizamiento transversal  $\mu_t$ , todavía quedará para frenar o acelerar un 80% de la resistencia al deslizamiento longitudinal.
- Si se limita el rozamiento transversal movilizado al 40% de la resistencia al deslizamiento transversal  $\mu_t$ , todavía quedará para frenar o acelerar un 92% de la resistencia al deslizamiento longitudinal. Es éste el compromiso que recogen la mayoría de las normas de trazado.
- Análogamente, al movilizar un rozamiento longitudinal se trata, en el lí-

mite, de una maniobra de emergencia en la que se puede alcanzar una deceleración igual a la proporcionada por la acción conjunta de la inclinación de la rasante y de la resistencia al rozamiento longitudinal del conjunto pavimento + neumático. En estas condiciones, no se podrá movilizar rozamiento transversal alguno para mantener al vehículo en una trayectoria curva.

Como en muchos otros campos de la Ingeniería, respecto de la resistencia al deslizamiento se emplean en la práctica unos márgenes de seguridad: definiéndose así unos **rozamientos movilizados admisibles**.

## 2. La práctica en diferentes países

### 2.1. Alemania

Para conocer la distribución de las resistencias al deslizamiento de los pavimentos mojados, y su variación con la velocidad  $V$  (km/h) a la que se obtuvo la medida, en Alemania se llevaron a cabo (1) unas mediciones a nivel de red, que lograron encajar unos modelos del tipo

$$\mu = a + b \cdot \frac{V}{100} + c \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2$$

siendo **a**, **b** y **c** unos coeficientes dados por la *tabla 2.1-A*. Las mediciones se llevaron a cabo con distintos aparatos, pero parece que representan básicamente la resistencia al deslizamiento longitudinal.

Tabla 2.1-A. Valores medidos de los coeficientes de los modelos de la resistencia al deslizamiento

Coeficientes	Fractil x garantizado		
	30	85	95
<b>a</b>	0,867	0,741	0,708
<b>b</b>	-0,622	-0,640	-0,721
<b>c</b>	0,137	0,150	0,241

La resistencia al deslizamiento dada por este modelo se reduce, a la hora de su aplicación práctica, en un 7,5% para tener en cuenta ciertas influencias del tipo de neumático con las que se han obtenido

<sup>1</sup> Es más fácil hacer deslizar un neumático acelerando que frenando.

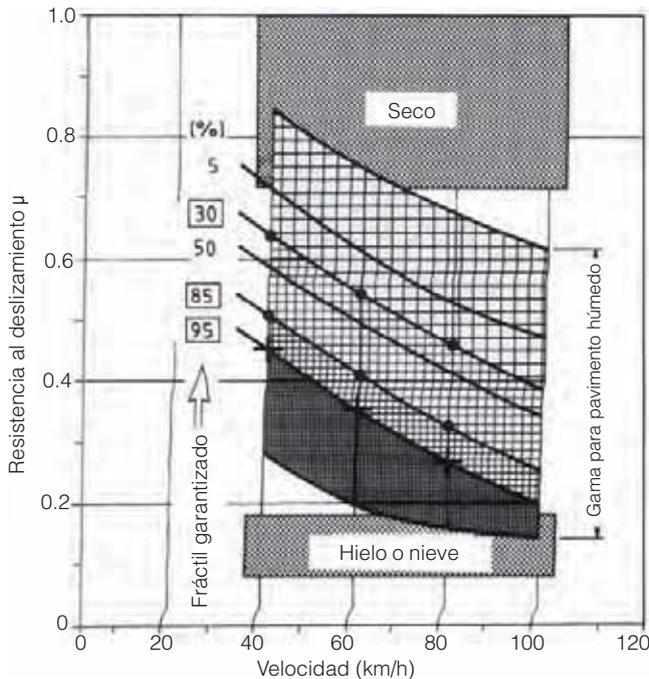


Figura 2.1-A

las medidas. El resultado se expone en la figura 2.1-A.

Parece prudente utilizar para el diseño unos valores de  $\mu$  que estén garantizados al  $x\%$ , es decir: que sólo haya un  $(100 - x)\%$  de probabilidad de que el valor real de  $\mu$  sea inferior al adoptado:

- El mínimo valor que se podría admitir en un pavimento nuevo es del orden de  $x = 30$ . Eso quiere decir que la resistencia al deslizamiento que proporciona un pavimento nuevo debería estar por encima de la que proporciona un 70% de los pavimentos de la red.
- Por encima de  $x = 85$ , la resistencia al deslizamiento que proporciona un pavimento sería inferior a la de un 85% de los pavimentos de la red. Habría que emprender alguna rehabilitación de las características superficiales del pavimento.
- Las condiciones más conservadoras para el diseño corresponderían a  $x = 95$ . Sólo un 5% de los pavimentos de la red presentarían una resistencia al deslizamiento inferior a la supuesta. A nivel de red, es prudente fijarse este conservador objetivo.

## 2.2. España

Estudios realizados en autopistas españolas han demostrado que:

- Un 15% de los vehículos requeriría un

cambio inmediato de neumáticos.

- Un 35% de los neumáticos mostraba un desgaste superior al 50%.
- Un 62% de los neumáticos presentaba una baja presión de inflado.

Por lo tanto, y en cuanto al estado de los neumáticos, parece que la situación podría mejorar todavía mucho en España.

En otro estudio <sup>(2)</sup> se obtuvieron unos valores típicos de la resistencia al deslizamiento para un pavimento convencional en buen estado y distintas combinaciones de los demás factores (tabla 2.2-A).

Para un pavimento convencional en buen estado, la tabla 2.2-B muestra unos valores típicos de la resistencia al deslizamiento longitudinal, para distintas combinaciones de los demás factores; y la tabla 2.2-C, de la resistencia al deslizamiento transversal.

Se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Con pavimento seco, la resistencia al deslizamiento es muy elevada (del orden de 0,9), y depende poco de la velocidad o del estado de los neumáticos.
- Para velocidades superiores a 70 km/h, la resistencia al deslizamiento con neu-

Tabla 2.2-A. Valores típicos de la resistencia  $\mu$  al deslizamiento

Humedad del pavimento	Estado de los neumáticos	Velocidad (km/h)		
		30	60	90
Seco	Bueno	aproximadamente 1		
	Desgastado	0,95		
Ligeramente mojado	Bueno	0,60	0,40	0,30
	Desgastado	0,35	0,20	0,10
Muy mojado	Bueno	0,55	0,25	0,12
	Desgastado	0,30	0,12	0,05

Tabla 2.2-B. Valores típicos de la resistencia  $\mu$  al deslizamiento longitudinal

Humedad del pavimento	Estado de los neumáticos	Velocidad (km/h)		
		30	60	90
Seco	Bueno	aproximadamente 1		
	Desgastado	0,90		
Ligeramente mojado	Bueno	0,80	0,75	0,68
	Desgastado	0,80	0,50	0,38
Muy mojado	Bueno	0,80	0,70	0,40
	Desgastado	0,75	0,40	0,20

Tabla 2.2-C. Valores típicos de la resistencia  $\mu_t$  al deslizamiento transversal

Humedad del pavimento	Estado de los neumáticos	Velocidad (km/h)		
		30	60	90
Seco	Bueno	aproximadamente 1		
	Desgastado	0,90		
Ligeramente mojado	Bueno	0,60	0,40	0,30
	Desgastado	0,35	0,20	0,10
Muy mojado	Bueno	0,55	0,5	0,12
	Desgastado	0,30	0,12	0,05

máticos buenos y pavimento muy mojado es del mismo orden de magnitud que la correspondiente a neumáticos desgastados y pavimento ligeramente mojado.

- Para esas mismas velocidades, los valores de  $f$  considerados admisibles por la Norma 3.1-IC "Trazado" de 1999 se ajustan mejor a un pavimento ligeramente mojado y neumáticos desgastados.

La resistencia al deslizamiento con neumáticos desgastados y pavimento muy mojado es bastante inferior. Se preconizaron en este estudio los siguientes modelos para un pavimento ligeramente mojado en buen estado, y neumáticos en buen estado:

- Para la resistencia al deslizamiento longitudinal:

$$\mu_l = 0,86 - \frac{V}{500}$$

- Para la resistencia al deslizamiento transversal:

$$\log \mu_t = -\frac{V}{200} - 0,07$$

### 3. Visibilidad de parada: rozamiento longitudinal admisible

#### 3.1. Enfoque

Las normas de trazado suelen recoger que, en cualquier punto de cualquier carril de una carretera, la **visibilidad disponible** (oferta) no debe ser inferior a la **distancia necesaria** (demanda) para detenerse ante la percepción de la presencia de un obstáculo en la calzada, antes de llegar a chocar con él. Esto equivale a afirmar que las limitaciones de la visibilidad son una importante fuente de accidentes.

Lo anterior parece perfectamente razonable; pero para edificar esta construcción lógica no ha sido necesario saber cómo dependen de las características geométricas del trazado la frecuencia y la gravedad de los accidentes: lo único que se ha necesitado es imaginar la situación que puede conducir a una colisión con dicho obstáculo. Puede parecer sorprendente que, para perfeccionar un diseño impulsado por la preocupación por la seguridad, no se haya necesitado saber si la frecuencia de los choques con obstáculos en la calzada depende de la visibilidad disponible, ni saber cómo es esa dependencia: el procedimiento se basa en una conjetura creíble.

El infierno de la seguridad de la circulación está empedrado con las conjeturas creíbles que no resultaron acertadas. Las conjeturas, por muy creíbles que sean, normalmente no son aceptables cuando se trata de asuntos que afectan a la salud. Así, por ejemplo, un medicamento no es aprobado mientras no hayan sido cuidadosamente comprobados sus efectos y sus virtudes curativas, así como sus eventuales efectos secundarios dañinos. Sin embargo, algunos aspectos del trazado de las carreteras no se basan en datos experimentales, sino en conjeturas creíbles: por lo que se corta el vínculo entre la realidad y la seguridad de la circulación (medida por la frecuencia y la gravedad de los accidentes). El trazado se convierte en un rito, basado en una idea preconcebida de lo que causa los "fallos" (o sea, los siniestros) que puede haber.

Sobre esto se puede contar una anécdota<sup>(3)</sup>. Uno de los parámetros que influyen en la visibilidad disponible es la altura



Algunos equipos de medición del deslizamiento

del obstáculo que el conductor debe ver a tiempo. Ya en 1940 las normas norteamericanas fijaron dicha altura en 10 cm. Quienes redactaron esas normas no pensaban en ningún obstáculo concreto<sup>2</sup>: dijeron que "... al aumentar la altura del objeto de 0 a 10 cm, la longitud del acuerdo vertical necesario disminuye en un 40%... (y) el empleo de un obstáculo más alto... (sólo) produciría un pequeño ahorro..."<sup>3</sup>. El ahorro al que se referían era en el volumen de las explanaciones, al no tener que profundizar más en el terreno por donde pasa la carretera. De esta manera, se seleccionó un obstáculo de 10 cm no porque un obstáculo más bajo no amenazase a la seguridad, sino porque elegir uno más alto no habría ahorrado mucho en el coste de la construcción. Dado que en aquella época nadie sabía cuántos choques se debían a la presencia de obstáculos en la carretera, ni de qué tipo de obstáculos se trataba, ni cuántos de los choques no habrían tenido lugar si el acuerdo hubiera sido más largo, la Comisión de normas hizo lo que era razonable: se basó en lo que se sabía, es decir, en el coste de la construcción.

Durante veinte años todo el mundo diseñó las carreteras con arduos cálculos para asegurar que se viera un obstáculo de 10 cm con tiempo para detenerse. Alrededor de 1961 se observó que en los coches más nuevos la altura media de los ojos del conductor era mucho menor que 10 ó 20 años antes: no podrían ver, en realidad, un obstáculo de 10 cm a la distancia prescrita.

No es que hubiera un aumento apreciable de los choques con obstáculos en la carretera: no hay rastro alguno de que este asunto fuera investigado. Lo que debió parecer desconcertante fue que los acuerdos verticales convexos, que antes se atenían a las normas (y por lo tanto se suponían seguros), ahora parecían estar fuera de ellas.

La solución de esta situación no fue difícil. Dado que el obstáculo de 10 cm ni correspondía a un objeto concreto, ni había sido seleccionado basándose en una relación objetiva con la seguridad, la Comisión de normas no tuvo escrúpulos en afirmar que "... la pérdida de visibilidad derivada de una menor altura de los ojos (del conductor) se puede compensar... suponiendo un obstáculo mayor de 10 cm...". De hecho, en el libro verde de la **AASHO** de 1965 se fijaron como norma unos obstáculos de 15 cm.

Los miembros de la Comisión tuvieron que afrontar el problema surrealista de fijar la altura de un obstáculo imaginario, de naturaleza no concretada, con el que los conductores chocarían con una frecuencia desconocida. Sin embargo, había que fijar un valor, porque se necesitaba para llevar a cabo una comprobación que formaba parte del rito del trazado. Bajo la simpática cubierta de una anécdota, asoman los rasgos de un problema grave y omnipresente: hay mucha preocupación por el rigor formal,

<sup>2</sup> Aunque se rumorea que algunos se refieren a este criterio como el del *perro muerto*...

<sup>3</sup> **AASHO** 1954.

Tabla 3.1-A. Altura del obstáculo percibido (cm)

País	Altura del objeto			Altura del observador
	Parada	Adelantamiento	Encuentro	
Alemania	30 – 45	100		100
Australia	20			
Austria	0 – 19	100	100	100
Dinamarca	15	100		100
EE.UU.	60 <sup>1</sup>			
ESPAÑA	20	110		110
Finlandia	0 – 20	100		110
Francia	35 <sup>2</sup>	100		100
Islandia	20	135		110
Irlanda	15	115		105
Italia	10	110		110
Países Bajos	20			110
Portugal	10	120		120
Reino Unido	26 - 200	105		105
Suecia	20		135	110
Suiza	15	100		100

<sup>1</sup> Se considera que es representativo de un objeto que significa peligro para los conductores, y que puede ser reconocido a tiempo.

<sup>2</sup> Pilotos traseros de un vehículo. Donde sean frecuentes las caídas de piedras se puede pensar en reducir la altura a 15 cm.

pero hay menos pruebas de inquietud por el fondo de la cuestión.

Hoy sabemos que sólo el 0,07% de los choques registrados se relacionan con objetos de menos de 15 cm de altura (<sup>4</sup>). También sabemos que no se ha hallado ninguna correlación entre el riesgo de chocar con un objeto fijo pequeño en la calzada, y la visibilidad disponible. Al contrario (<sup>5</sup>), se sabe que "... la siniestralidad en las carreteras de dos carriles con visibilidad limitada... es semejante a la siniestralidad en las demás carreteras rústicas...". Así que la hipótesis invocada en los albores de la historia del trazado de las carreteras, que permitía el planteamiento de un diseño basado en evitar el choque con perros muertos en el pavimento, parece que tiene poco que ver con la verdadera seguridad de la circulación. Sin embargo, hasta hoy se mantiene el mismo paradigma, y se emplean para diseñar los acuerdos verticales convexos las mismas arduas pero ilusorias construcciones. Sólo cambian el tamaño del perro y el de los demás parámetros...

En la *tabla 3.1-A* se indica la altura de los obstáculos que se deben percibir y la del ojo del observador según las distintas normas, tomadas de un estudio de O'Cinnéide y otros (<sup>6</sup>), actualizado por este Análisis.

La percepción de objetos de pequeña altura puede dar lugar a acuerdos verticales convexos más largos, sin beneficios documentados de seguridad (<sup>7</sup>), incrementando sustancialmente los costes de construcción debidos a la excavación adicional. También es dudoso que puedan incrementar la capacidad del conductor para percibir situaciones que comprendan riesgo de colisiones, por recomendar visibilidades de parada más allá de sus capacidades para detectar objetos pequeños.

En efecto, algunas normas como las australianas y las suecas introducen un requerimiento adicional relacionado con la capacidad visual de los conductores. Éstos no pueden percibir un objeto cuya imagen subtienda un arco menor de 1' en el ojo del observador<sup>4</sup>. Si se desea que en estas condiciones resulten visibles los 10 cm superiores de un objeto a una distancia de 65 m, o su totalidad a una distancia<sup>5</sup> de 130 m, la aplicación de las fórmulas de la distancia de parada conduce a la conclusión de que una velocidad superior a 90 km/h de día, o a 70 km/h de noche, rebasa la capacidad visual de los conductores. Las normas suecas piden que resulten visibles el centímetro superior de un objeto de 20 cm a una distancia de 50 m, o los 9 cm superiores a una distancia<sup>5</sup> de 300 m.

## 3.2. Distancia de parada

La definición de la distancia de parada se apoya, en todas las normas de trazado, sobre el siguiente modelo físico-matemático de la maniobra:

- El vehículo circula a una velocidad  $V$  (km/h). Esta velocidad debiera ser el fractil 85 de la distribución de las velocidades operativas; pero se suele representar por la velocidad específica del elemento del trazado por el que se esté circulando<sup>6</sup>.
- Percibida la necesidad de detenerse, durante un tiempo de percepción y reacción  $t_p$  (s) el vehículo sigue avanzando a la misma velocidad, y recorre una distancia (en m)

$$\frac{V}{3,6} \cdot t_p$$

- Transcurrido ese tiempo, el conductor deja de acelerar (ya no se compensa la acción de una inclinación longitudinal<sup>7</sup>  $i$  [%] de la rasante), y aplica los frenos; se moviliza un rozamiento longitudinal  $f_r$  entre los neumáticos y el pavimento. El vehículo disminuye su velocidad hasta que se detiene.

La ecuación diferencial general que gobierna este movimiento decelerado en una rasante inclinada es

$$\frac{d\left(\frac{V}{3,6}\right)}{dt} = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{d\left(\frac{V}{3,6}\right)}{ds} = \frac{1}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{d(V^2)}{ds} = -g \cdot \left( f_r + \frac{i}{100} + \frac{r}{M} + \frac{\gamma}{2} \cdot C_x \cdot S_x \cdot \left(\frac{V}{3,6}\right)^2 \right)$$

- siendo  $s$  (m) la distancia recorrida.  
 $g$  (9,81 m/s<sup>2</sup>) la aceleración de la gravedad.  
 $r$  (N) la resistencia del vehículo a la rodadura.  
 $M$  (N) la masa del vehículo.  
 $\gamma$  (1,15) la densidad del aire.

<sup>4</sup> Un arco de 5' es más típico de las condiciones de contraste e iluminación presentes en la mayoría de las carreteras.

<sup>5</sup> Un objeto de esas dimensiones no será percibido a distancias superiores a 130 m ni siquiera si la visibilidad es suficiente.

<sup>6</sup> Parece fruto de un error la referencia a la *velocidad de proyecto* (que puede haber sido provocada por un elemento bastante lejano dentro del mismo tramo) que hace el apartado 3.2.1 de la Norma 3.1-IC de 1999.

<sup>7</sup> Positiva subiendo (rampa).

Tabla 3.2-A. Rozamientos medios para distancia de parada

País	Velocidad inicial (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Alemania <sup>1</sup>	0,458	0,408	0,362	0,321	0,285	0,254	0,228	0,207	0,190	0,178	0,171
Australia		0,520							0,350		
Austria <sup>1</sup>	0,393	0,349	0,308	0,272	0,240	0,212	0,189	0,170	0,155	0,145	0,138
EE.UU.						0,35 <sup>2</sup>					
ESPAÑA	0,432	0,411	0,390	0,369	0,348	0,334	0,320	0,306	0,291	0,277	0,263
Francia (autopistas)		0,46		0,44		0,40		0,36		0,32	
Francia (resto)	0,34	0,33	0,32	0,30							
Grecia <sup>1</sup>	0,420	0,385	0,353	0,325	0,299	0,276	0,256	0,239	0,225	0,215	0,207
Irlanda	0,36		3,34		0,32		0,30		0,28		
Italia (autopistas)					0,44		0,40		0,36		0,34
Italia (resto)	0,43		0,35		0,30		0,25		0,21		
Países Bajos (autopistas)		0,482		0,435		0,380		0,320			
Países Bajos (resto)			0,40		0,34		0,28				
Portugal											
Reino Unido						0,250 <sup>3</sup>					
Suecia	0,48		0,44		0,41		0,37		0,34		

<sup>1</sup> Los valores no son medidos en función de la velocidad inicial, sino que corresponden a cada velocidad durante la frenada.

<sup>2</sup> Corresponde a una deceleración media de 3,4 m/s<sup>2</sup>.

<sup>3</sup> Por razones de comodidad, aunque se admite hasta 0,375 sin pérdida de control sobre pavimento mojado.

**C<sub>x</sub>** el coeficiente de penetración aerodinámica del vehículo.

**S<sub>x</sub>** (m<sup>2</sup>) la superficie frontal del vehículo.

Obsérvese que, en su forma más general, **f<sub>i</sub>** puede ser función de **V**, e **i** función de **s**.

En la *tabla 3.2-A* se indican los rozamientos medios admitidos por las distintas normas para diversas velocidades iniciales, tomadas del estudio de O’Cinnéide y otros <sup>(6)</sup>, actualizado. Las diferencias resultan evidentes:

- Dos países, EE.UU. y Reino Unido, preconizan sólo un valor del rozamiento, independiente de la velocidad.
- Tres países, Alemania, Austria y Grecia, no se basan en la velocidad inicial y luego aplican un rozamiento medio, sino que asignan un rozamiento a cada velocidad mediante una ecuación de segundo grado, y luego integran una ecuación diferencial más complicada.
- Entre los demás países, para una misma velocidad inicial hay rozamientos muy diversos.

En la *tabla 3.2-B de la página siguiente* se indican las distancias de parada en una rasante horizontal resultantes de las distintas normas para diversas velocidades ini-

ciales, tomadas del estudio de O’Cinnéide y otros <sup>(6)</sup>, actualizado.

### 3.3. Normativa comparada

#### 3.3.1. Alemania

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** el percentil 85 de la velocidad operativa estimada.
- **Tiempo de reacción:** 2,0 s para carreteras interurbanas; 1,5 s para urbanas.
- **Rozamiento longitudinal admisible:** variable en cada punto de la frenada según la velocidad en él (percentil 95 de la distribución medida en los pavimentos):

$$f = 0,708 - 0,721 \cdot \frac{V}{100} + 0,241 \cdot \left( \frac{V}{100} \right)^2$$

- **Resistencia aerodinámica:** coeficiente de penetración aerodinámica 0,35; superficie frontal 2,08 m<sup>2</sup>; masa del vehículo 1 304 kg.

Este planteamiento requiere una complicada integración de la ecuación diferencial del modelo de la distancia de parada.

#### 3.3.2. Australia

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** la velocidad operativa estimada. Como ésta suele

ser mayor que la empleada en el diseño, especialmente en carreteras en la que ésta es inferior a 100 km/h, la normativa introduce así un margen de seguridad para tener en cuenta la presencia de conductores más rápidos.

- **Tiempo de reacción:** varía entre 2,5 s para velocidades superiores a 100 km/h, 2,0 s para carreteras con velocidades inferiores, y a un 1,5 s para carreteras situadas en terrenos de relieve difícil y situaciones restringidas.
- **Resistencias a la rodadura y aerodinámica:** no se consideran.

#### 3.3.3. Austria

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** la velocidad operativa estimada: 100 a 140 km/h para carreteras con calzadas separadas, y 100 km/h para carreteras convencionales interurbanas de calzada única.
- **Tiempo de reacción:** 2,0 s.
- **Rozamiento longitudinal admisible:** variable en cada punto de la frenada según la velocidad en él:

$$f = 0,615 - 0,640 \cdot \frac{V}{100} + 0,214 \cdot \left( \frac{V}{100} \right)^2$$

Tabla 3.2-B. Distancias de parada (m) en una rasante horizontal

Velocidad Inicial (km/h)	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	130	140
Alemania				118	150	180		230	230		330		
Austria		35	50	70	90	120			185		275		380
Dinamarca				75		120			180		255		
ESPAÑA		37	52	70	91	117		145	179	217	261	312	371
Finlandia			60	75		120			180		250		
Francia		40		65		105			160				
Grecia	17	31	48	69	94	125		155	190	280	280		
Irlanda		40		80		130			190		270		
Islandia			50	70		115		140	170				
Italia		28		58		103			160		229		313
Noruega				64	87	119		147	175				
Países Bajos	30 <sup>1</sup>	35 <sup>1</sup>	40	65 <sup>1</sup>	80	105 <sup>1</sup>		135	160 <sup>1</sup>		260		
Portugal		40	60	80	100	120			180		250		
Reino Unido			50	70	95		125		165		225		
Suecia	35		70				120		165	195			
Suiza				75		125			195		280	340	
TEM						100			150		225		325

<sup>1</sup> No en autopista

- **Resistencia aerodinámica:** coeficiente de penetración aerodinámica 0,46; superficie frontal 2,21 m<sup>2</sup>; masa del vehículo 1 175 kg.

Este planteamiento requiere una integración más complicada de la ecuación diferencial del modelo.

### 3.3.4. España

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** la velocidad de proyecto, lo cual parece fruto de un error, pues no está tan relacionada con la velocidad operativa estimada como la velocidad específica del elemento del trazado que se considera.
- **Tiempo de reacción:** 2 s.

### 3.3.5. EE.UU.

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** una velocidad de diseño, no tan relacionada con la velocidad operativa estimada como en otros países.
- **Tiempo de reacción:** 2,5 s.

La integración de la ecuación diferencial, en una rasante de inclinación constante, resulta en la misma fórmula empleada en la Norma 3.1-IC.

### 3.3.6. Francia

Aunque no esté documentado directamente <sup>(8)</sup>, en Francia no se cree que la visibilidad de parada sea muy importante

para el diseño de carreteras, pues estudios realizados sugieren que los choques con objetos fijos inertes no son corrientes: los más comunes son los choques con vehículos detenidos y, con mayor frecuencia, los atropellos de peatones<sup>9</sup> que tienen lugar típicamente de noche cuando la visibilidad de parada no es el factor determinante.

### 3.3.7. Grecia

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** el percentil 85 de la velocidad operativa estimada.
- **Tiempo de reacción:** 2,0 s para carreteras interurbanas; 1,5 s para urbanas.
- **Rozamiento longitudinal:** variable en cada punto de la frenada según la velocidad en él (percentil 95 de la distribución medida en los pavimentos):

$$f = 0,590 - 0,485 \cdot \frac{V}{100} + 0,151 \cdot \left( \frac{V}{100} \right)^2$$

- **Resistencia aerodinámica:** coeficiente de penetración aerodinámica 0,35; superficie frontal 2,08 m<sup>2</sup>; masa del vehículo 1 304 kg.

Este planteamiento requiere una integración más complicada de la ecuación diferencial del modelo.

### 3.3.8. Italia

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** el percentil 85 de la velocidad operativa estimada.
- **Tiempo de reacción:** dado por la expresión

$$t = 2,8 - \frac{V}{100}$$

- **Rozamiento longitudinal admisible:** mayor para las autopistas que para el resto, alegando que en las primeras los usuarios movilizan un mayor rozamiento debido a la calidad del trazado y del pavimento.
- **Resistencia aerodinámica:** coeficiente de penetración aerodinámica 0,35; superficie frontal 2,1 m<sup>2</sup>; masa del vehículo 1 250 kg.

### 3.3.9. Reino Unido

Se emplean los siguientes parámetros:

- **Velocidad inicial:** la velocidad de diseño, relacionada con las velocidades operativas esperadas; intervienen ciertas restricciones.
- **Tiempo de reacción:** 2,0 s.
- **Resistencias a la rodadura y aerodinámica:** no se consideran.

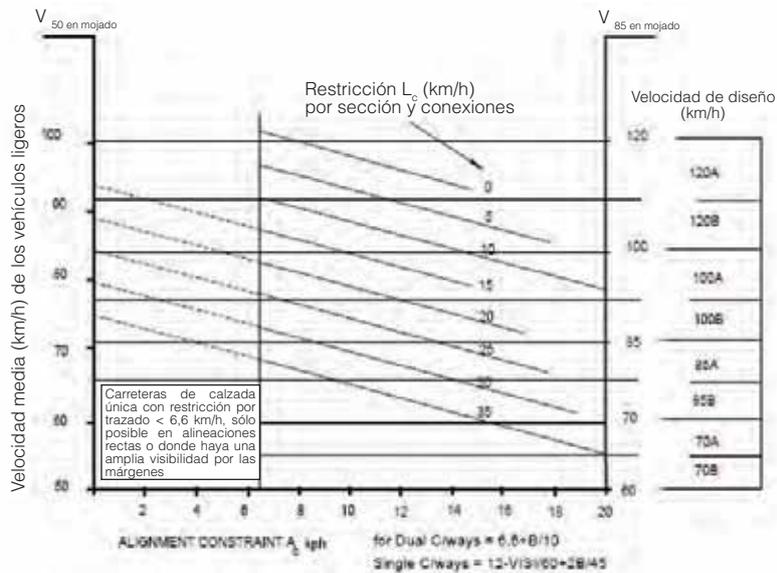
Hay un detallado sistema de mitigaciones (*relaxations*) de las características estándar, el cual presenta ciertas particularidades adicionales para el caso de la visibilidad de parada:

<sup>8</sup> Los cuales representan un 5% de los accidentes interurbanos, y un 8% de los mortales.

- En autopistas, se puede descender hasta 1 escalón en la secuencia de gamas de velocidades de diseño, si ésta está en la franja **A** (alta), y hasta 2 si está en la franja **B** (baja).
- En carreteras convencionales, se pueden descender hasta 2 escalones en la secuencia de gamas de velocidades de diseño, si ésta está en la franja **A** (alta), y hasta 3 si está en la franja **B** (baja).
- En las autopistas y carreteras convencionales a las que corresponda la franja **A** (alta) de velocidades de diseño:
  - Donde la visibilidad disponible sólo esté obstruida en planta por obstáculos puntuales como pilas o estribos de pasos superiores, báculos de alumbrado, pórticos de señalización y carteles de orientación<sup>9</sup>, la máxima mitigación admisible se alarga 1 escalón.
  - Las barreras de seguridad o pretiles largos situados en curva pueden obstruir la visibilidad de parada en planta referida a un obstáculo de poca altura, aun manteniéndola para una altura<sup>10</sup> de algo más de 1 m. En estos casos, la máxima mitigación admisible también se alarga 1 escalón.
- Con calzadas separadas, al final de pendientes de longitud superior a 1,5 km e inclinación superior al 3%, la máxima mitigación admisible se acorta 1 escalón.
- Con calzada única, al final de rampas de longitud superior a 1,5 km e inclinación superior al 4%, la máxima mitigación admisible se alarga 1 escalón.
- En carreteras de calzada única con dos carriles, inmediatamente después de un tramo de adelantamiento permitido<sup>11</sup> la máxima mitigación admisible se acorta 1 escalón.
- Con velocidades de diseño de 70 km/h o menos, si la carretera tiene alumbrado la máxima mitigación admisible se alarga 1 escalón.

### 3.3.10. Suecia

Tampoco en Suecia (<sup>9</sup>) se cree que la visibilidad de parada sea muy importante para el diseño de carreteras, pues los resulta difícil cuantificar los beneficios derivados de ella en su esquema de costes y beneficios. Sí se ha comprobado un aumento de



Ábaco de las normas británicas para el diseño de carreteras interurbanas de nuevo trazado

la siniestralidad donde es mayor la proporción de su longitud con una visibilidad disponible inferior a 300 m.

## 4. Curvas en planta: rozamiento transversal

### 4.1. Enfoque

#### 4.1.1. Paradigma básico

El paradigma que habitualmente guía las normas de trazado, en relación con la seguridad, es el siguiente:

1. Suponer cómo tiene lugar el “fallo” que da origen a un siniestro.
2. Utilizar las ciencias físicas y matemáticas para representar la situación de fallo.
3. Elegir unas “cargas de proyecto” y unos valores “prudentes” para los parámetros.
4. Calcular los valores del diseño.

A primera vista, el modo supuesto de “fallo” en el que se basa el diseño de una curva en planta es evidentemente lógico. Para moverse en una curva, cualquier objeto (en este caso, un vehículo) debe ser sometido a una suficiente fuerza exterior centrípeta. Si la fuerza disponible no es suficiente, el vehículo será arrastrado hacia el exterior de la curva y se saldrá de la plataforma. Cuanto más velozmente se desplace el vehículo, mayor será la fuerza necesaria. Al contrario, cuanto mayor sea el radio de curvatura, menor será esa fuerza que es proporcionada en parte por el rozamiento entre los neumáticos y el

pavimento, y en parte por el peralte de la plataforma. Para este modo supuesto del fallo (deslizamiento hacia el exterior de la curva debido a una insuficiente fuerza centrípeta), las leyes de la Física especifican la relación entre la velocidad  $V$  (km/h), el radio  $R$  (m), el peralte  $p$  (%) y el rozamiento transversal movilizado  $f_t$ , para un vehículo que se mueve como un punto que tiene masa.

$$\frac{V^2}{127 \cdot R} = \frac{p}{100} + f_t$$

La velocidad es la “carga de proyecto” del paradigma (demanda); el radio y el peralte caracterizan la curva (oferta).

Dado que el razonamiento anterior parece impecable y se utilizan unos valores prudentes para los parámetros, los “fallos” deberían ser escasos. Si esto fuera así, se podría esperar con fundamento que la normativa ha tenido en cuenta la curvatura de una manera adecuada y que, por lo tanto, su presencia no debería aumentar significativamente la probabilidad de un siniestro. De ello se sigue que la siniestralidad de las curvas no debería ser muy distinta de la de las alineaciones rectas. Pero esto es, en realidad, falso (<sup>10</sup>). Una gran cantidad de datos muestran que en las curvas los accidentes son mucho más frecuentes que en las rectas, quizás del orden del triple como media. Además, numerosos estudios

<sup>9</sup> Estos últimos, situados en las márgenes o en la mediana.

<sup>10</sup> Correspondiente al techo de un coche.

<sup>11</sup> Bien porque se disponga de visibilidad suficiente, bien porque se hayan establecido carriles adicionales para facilitar el adelantamiento.

Tabla 4.1-A. Peraltes máximos (%)

País	Velocidad de diseño (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Alemania	7 - 8										
Austria	7,0	6,75	6,6	6,5	6,4		6,2		6,2		6,0
Dinamarca	6										
ESPAÑA (Grupo 1)							8,00			6,97	5,49
ESPAÑA (Grupo 2)	7,00						5,85	4,67			
Finlandia		7	6				5		4		
Francia	7										
Grecia	6 - 10										
Irlanda	7										
Islandia	7										
Italia	3,5	5	7								
Noruega	8										
Países Bajos	5										
Portugal	8							6			
Reino Unido	7										
Suecia	5,5										
Suiza	7										
TEM	7										

muestran que, cuanto menor es el radio, mayor es la siniestralidad. De hecho, el que se denomina “mínimo radio seguro” es el asociado a una mayor siniestralidad...

La causa inmediata de esta aparente contradicción es que para desarrollar el diseño de las curvas en planta no se ha utilizado información empírica sobre la siniestralidad. Tampoco parece que se haya tenido en cuenta en qué medida la frecuencia o la gravedad de los accidentes dependen del radio de la curva o de su peralte. El diseño para la seguridad sin utilizar el conocimiento empírico existente acerca de ésta ha sido facilitado por la aparente legitimidad del paradigma de diseño mencionado.

- Ante todo, se ha admitido que se produce el fallo cuando no se moviliza un rozamiento transversal suficiente para mantener al vehículo en una trayectoria curva a una cierta velocidad. En este esquema mecanicista no parece haber sitio para el conductor, que es quien tiene en la realidad que inscribir al vehículo en la trayectoria. De hecho, una gran proporción de los accidentes en las curvas se han producido porque los conductores no las han previsto debidamente y no ciñeron a ellas su trayectoria. Una reacción tardía a menudo termina en un exceso de acción correctora y en una pérdida del control.

En esas circunstancias, la disponibilidad de un rozamiento adecuado tiene poca influencia. Si fuera cierta la concepción mecanicista del modo principal de “fallo”, los vehículos se saldrían de la plataforma sólo por su lado exterior. Sin embargo, los datos muestran que entre el 11 y el 56% de los vehículos se salen por el otro lado <sup>(11)</sup>.

- En segundo lugar, el papel de la “carga de proyecto” en el paradigma general es desempeñado en este caso por una “velocidad de diseño”. Normalmente, las cargas de proyecto se eligen de manera que la probabilidad de que sean rebasadas sea suficientemente pequeña; sólo así puede ser el fallo adecuadamente escaso. Pero la velocidad empleada en muchas de las normas de trazado a menudo no es tan poco frecuente.
- Además, no sólo la velocidad influye en el comportamiento de un vehículo en curva: en ciertos entornos las correcciones efectuadas a la curvatura por los conductores provocan excesos localizados en las aceleraciones centrífugas <sup>(12)</sup>.

#### 4.1.2. El peralte

El peralte que se puede disponer en una curva en planta tiene límites superiores prácticos, que se relacionan con considera-

ciones sobre el clima, la constructibilidad, el uso del suelo adyacente, y la presencia de vehículos lentos:

- Donde pueda haber la nieve o hielo, el peralte no debe superar el valor para el cual los vehículos detenidos o lentos pudieran deslizarse hacia el centro de la curva.
- Cuando se circula lentamente por una curva con peralte elevado, se desarrollan fuerzas laterales negativas; y el vehículo es mantenido en la trayectoria curva sólo si el conductor fuerza el volante contra la dirección de la curva. Lo anterior parece antinatural, y puede explicar la dificultad de conducir por vías donde el peralte es superior al necesario para viajar a velocidades normales. Por lo tanto, los peraltes altos son indeseables en vías de tráfico intenso, como en zonas urbanas y periurbanas, donde hay numerosas ocasiones para que los vehículos reduzcan considerablemente las velocidades.
- Algunos vehículos tienen su centro de gravedad alto, y otros tienen suspensiones muy blandas. Cuando estos vehículos circulan lentamente por peraltes fuertes, una elevada proporción de su peso es soportada por los neumáticos interiores. Si esta condición se vuelve extrema, el vehículo puede volcar.

Tabla 4.1-B. Radios (m) a partir de los cuales se puede adoptar el mismo bombeo que en una alineación recta

País	Velocidad de diseño (km/h)											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Alemania						1 750	2 500			5 000		
Austria			2 000							3 000		4 000
Dinamarca			1 100			2 000				7 000		
ESPAÑA	5 000 para Grupo 1; 3 500 para Grupo 2											
Finlandia		1 500	2 000			3 500						
Francia (autopistas)								650		1 000		
Francia (resto)			600			900		1 300				
Irlanda	400		800			1 500		2 300		3 300		
Italia			204			708		2 187		3 334	4 820	
Países Bajos (mínimo)		130	190	300	420	600	780		1 500			
Países Bajos (deseable)		300	900	800	1 700	2 000	2 500		4 000			
Portugal	5 000											
Reino Unido		510	720	1 020	1 440		2 040		2 880			
Suiza									7 500			
TEM					1 300		2 000		3 000		4 500	

El valor más alto del peralte para vías es del 12%, aunque por encima del 8% sólo se usan en zonas sin nieve ni hielo. Naturalmente, estos valores máximos del peralte son los que corresponden a los radios más pequeños o estrictos.

En la *tabla 4.1-A* se indican los peraltes máximos establecidos por las distintas normas para diversas velocidades de diseño, tomados del estudio de O’Cinnéide y otros (3), actualizado por este Análisis.

Por otro lado, las curvas de radio muy grande no necesitan peralte:

- Los vehículos que entran en ellas hacia la derecha tienen algún peralte proporcionado por el bombeo normal.
- Los vehículos que entran en una curva hacia la izquierda tienen un peralte adverso o negativo, resultante del bombeo; pero el rozamiento transversal necesario para compensar la aceleración lateral y contrarrestar el peralte negativo es pequeña.

Así, es importante establecer un criterio para fijar el radio mínimo a partir del cual es admisible una sección transversal igual a la empleada en las alineaciones rectas.

En la *tabla 4.1-B* se indican los radios a partir de los cuales se puede adoptar el mismo bombeo que en una alineación recta, establecidos por las distintas normas para diversas velocidades de diseño, tomados del estudio de O’Cinnéide y otros (3), actualizado por este análisis.

Entre los radios estrictos y los muy

grandes ha de haber una relación entre el peralte máximo y el bombeo, que resulte satisfactoria para radios intermedios. La **AASHTO**<sup>12</sup> ha estudiado cinco tipos de ley radio – peralte (*figura 4.1-A*):

1. El peralte y, por lo tanto, el rozamiento transversal movilizado son directamente proporcionales a la curvatura 1/R. La ventaja de este tipo de ley es su simplicidad; pero se requiere que la velocidad del vehículo sea la misma velocidad tanto en las alineaciones rectas como en curvas de distinto radio. Muchos conductores circulan más rápido en rectas y curvas amplias que en curvas cerradas: lo cual requiere mayores valores del peralte para las curvas de radio intermedio.
2. El vehículo tiene toda la aceleración lateral compensada por el rozamiento transversal movilizado hasta la que requiere  $f_{t,máx}$ . Para curvas más cerradas,  $f_t$  permanece igual a  $f_{t,máx}$  y luego el peralte compensa la

aceleración lateral restante hasta que  $e$  alcanza  $p_{máx}$ . En este método, primero  $f_t$  y luego  $p$  aumentan linealmente con la curvatura 1/R. En este método, el peralte se introduce sólo después de agotar el rozamiento transversal. Dado que este método depende completamente de la disponibilidad de rozamiento transversal, generalmente su uso está limitado a vías de baja-velocidad.

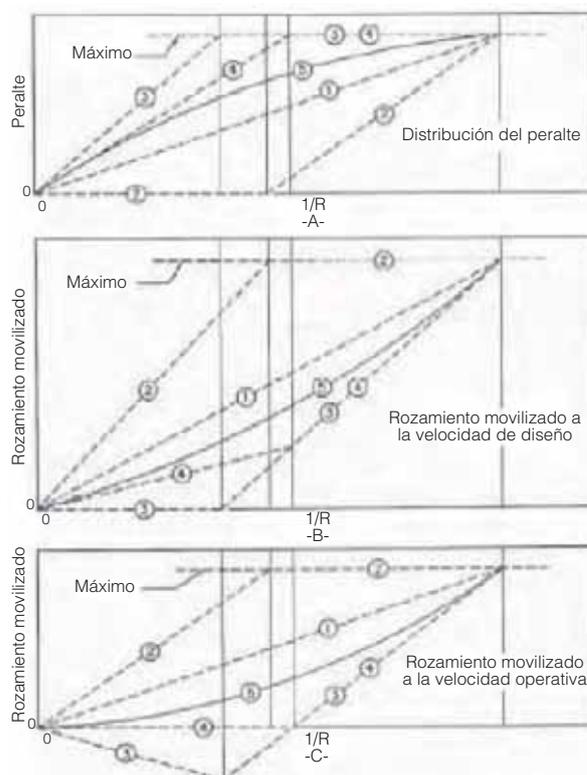
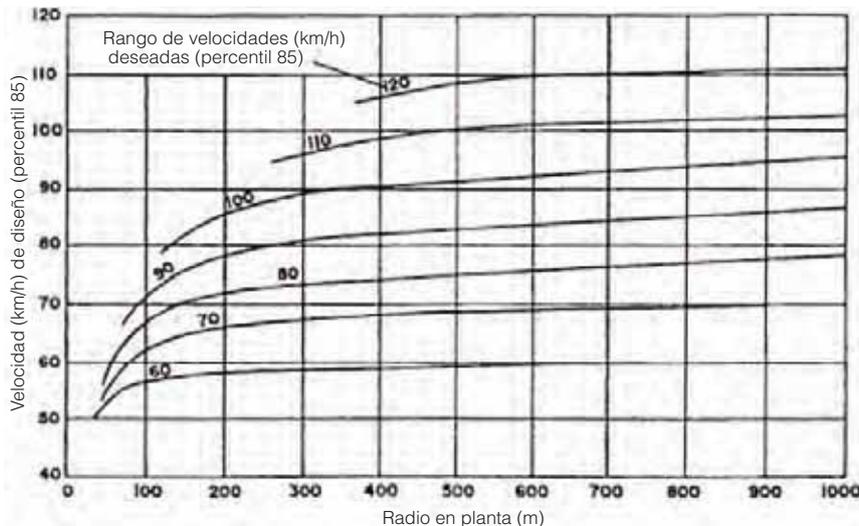


Figura 4.1-A

<sup>12</sup> Green Book, 2004.



La velocidad deseada como indicador del trazado en la Guía australiana de diseño

3. El vehículo tiene toda la aceleración lateral compensada por el peralte hasta la que requiera  $p_{m\acute{a}x}$ . Para curvas más cerradas,  $p$  permanece en  $p_{m\acute{a}x}$  y luego el rozamiento transversal movilizado compensa la aceleración lateral restante hasta que  $f_t$  alcanza  $f_{t,m\acute{a}x}$ . En este método, primero  $p$  y luego  $f_t$  aumentan linealmente con la curvatura  $1/R$ . En curvas amplias, el rozamiento transversal movilizado es muy pequeño o incluso negativo para la gama de radios mayores. Estas diferencias en el rozamiento movilizado no parecen lógicas.
4. Este método es igual al anterior, excepto que se basa en una velocidad algo menor; aunque presenta sus mismas desventajas. Sin embargo, para acomodar el sobreviraje<sup>13</sup> que es probable en curvas abiertas a intermedias, es deseable que el peralte se aproxime al obtenido por este método: hay muy poco riesgo de que el conductor pierda el control del vehículo, porque el peralte compensa casi toda la aceleración lateral a una velocidad media, y se dispone de una buena reserva de rozamiento transversal movilizable para velocidades mayores.
5. El peralte y el rozamiento transversal movilizado están en una relación no lineal con la curvatura  $1/R$ , con valores entre los de los métodos 1 y 3. Representa una distribución del peralte y, por

consecuente, del rozamiento transversal movilizado, que razonablemente retiene las ventajas de los métodos 1 y 4. La curva tiene una forma parabólica asimétrica.

#### 4.1.3. Rozamiento transversal admisible

Se ha demostrado experimentalmente<sup>(13)</sup> que la velocidad a la que se puede abordar una curva está condicionada por el conjunto conductor + vehículo con los siguientes niveles de rozamiento transversal movilizado<sup>(14)</sup>:

- Inferior a 0,2: todos los vehículos pueden soportarlo sin pérdida de estabilidad, y todos los conductores son capaces de abordar la curva.
- Entre 0,2 y 0,4: todos los vehículos ligeros y la mayoría de los conductores medios lo soportan.
- Entre 0,4 y 0,6: los vehículos modernos en buenas condiciones no pierden la estabilidad, pero los conductores tienen problemas para controlarlos.
- Entre 0,6 y 0,8: difícil de soportar para la mayoría de los vehículos y conductores.

El límite a partir del cual pueden aparecer problemas se fija en 0,3: lo cual resulta coherente con estudios<sup>(15)</sup> que establecían un intervalo de rozamientos transversales admisibles entre 0,2 y 0,4 g en buenas condiciones del pavimento y con independencia de la velocidad de circulación. En la misma línea, la Norma 8.1-IC "Señalización vertical" indica que el rozamiento transversal movilizado no debe exceder de 0,25 si se quiere evitar el quiebro de los vehículos articulados.

Un trabajo canadiense<sup>(16)</sup> apunta al hecho experimental de que los conductores, en curvas cerradas, eligen la velocidad para alcanzar un cierto valor confortable del rozamiento transversal movilizado, valor que cifran en 0,35 – 0,4. En curvas de amplio radio ya no se considera esta variable, sino que se siguen los mismos criterios de conducción cómoda que en las alineaciones rectas.

Hay otros factores que limitan la elección de un elevado rozamiento transversal movilizado por parte de un conductor:

- Los giros resultan más perceptibles: el ángulo de giro del volante crece.
- Es necesario un mayor esfuerzo en el volante para evitar apartamientos involuntarios de la trayectoria prevista.
- El cono de visión se estrecha, junto con un creciente sentido de concentración e intensidad.

Los valores admisibles del rozamiento transversal movilizado usados en el diseño deben ser conservadores para pavimentos secos, y proporcionar un amplio margen de seguridad frente al deslizamiento en pavimentos mojados o cubiertos de nieve o hielo, causado por demandas adicionales de rozamiento resultantes de las maniobras de conducción de corta duración: pequeños cambios en la trayectoria dentro del carril propio, cambios repentinos de carril, incluso un ligero frenado. En estas maniobras la incomodidad puede no ser percibida a tiempo.

Es interesante destacar que el valor admisible para el rozamiento transversal movilizado en una curva no es el que se puede encontrar en "... pavimentos que están pulidos o presentan exudaciones... porque esas situaciones se pueden evitar, y el trazado se debe basar en unas condiciones superficiales aceptables..."<sup>14</sup>. Más bien se basa en el comportamiento observado en los conductores, y se deduce de la cantidad de rozamiento transversal que los conductores aceptan movilizar sin disminuir su velocidad al circular por curvas a lo que ellos piensan que es una velocidad segura. Esos rozamientos son admisibles porque todavía se cree que "... proporcionan un amplio margen de seguridad frente al deslizamiento..."<sup>14</sup>.

Los valores admisibles del rozamiento transversal, o (lo que es lo mismo) de la

<sup>13</sup> Se dice que un vehículo es *sobrevirador* si, al tomar una curva, tiende a girar más que el trazado: su trasera se dirige hacia afuera.

<sup>14</sup> Green Book, 2004.

Tabla 4.1-C. Radios mínimos (m) peraltados

Velocidad específica (km/h)	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	130	140
<b>AGR<sup>1</sup></b>				120		240			450		650		1 000
Austria		45	80	125	180	250			450		700		1 000
Bélgica			130					350			750		
Dinamarca		50		130		265			492		872		
España (Grupo 1)						250	300	400	450	550	700	900	1 250
España (Grupo 2)		80	85	130	190	265		350	485	670			
Finlandia			110	170		350			650		1 100		
Francia				120		240			425	400 <sup>2</sup>		600 <sup>1</sup>	
Grecia	30	50	75		140	200			350		500		
Islandia			80	125		250		350	450				
Irlanda		50		130		240			400		600		
Italia		51	77	118	178	252		339	437		667		964
Noruega				110	160	230		320	430				
Países Bajos			85	130 <sup>3</sup>	185	260 <sup>2</sup>		350	450 <sup>2</sup>		750		
Portugal		40	80	120	170	230			450		700		
Reino Unido			127	180	255		360		510		720		
Suecia			160				350		500	625			
Suiza				120		240			420		650	780	
<b>TEM</b>						240			450		650		1 000

<sup>1</sup> Acuerdo europeo del 15 de noviembre 1975 sobre grandes vías de tráfico internacional.

<sup>2</sup> Autopistas

<sup>3</sup> No autopistas.

aceleración transversal no compensada por el peralte, se empezaron a determinar en los años 40 en unos experimentos en los que se condujo a estudiantes con los ojos vendados<sup>15</sup> por un conjunto de curvas, preguntándoles luego sobre si se habían sentido incómodos. Se pudo comprobar una tendencia descendente a medida que aumentaba la velocidad: a velocidades bajas, los conductores toleran mejor la incomodidad. Estos valores admisibles, evidentemente más relacionados con la velocidad que con la seguridad, se han empleado (con algunas variaciones) en la normativa de trazado relativa a las curvas.

La mayoría de las normas de trazado limitan el rozamiento transversal movilizado al 40% de la resistencia al deslizamiento transversal  $\mu_t$ ; de esta manera, todavía queda para frenar un 92 % de la resistencia al deslizamiento longitudinal. La Norma 3.1-IC de 1999 adopta un valor muy próximo al 40%.

#### 4.1.4. Velocidad específica

La velocidad específica de una curva:

- Corresponde a unas condiciones de comodidad al transitar por ella (en seco o en mojado).
- Se basa en el valor máximo admisible

del rozamiento transversal movilizado, descrito en el apartado anterior.

- Debe coincidir con el percentil 85 de la distribución de las velocidades operativas.
- Sirve de base a una señalización de velocidad recomendada (señales del tipo S-7).

En la *tabla 4.1-C* se indican los radios mínimos peraltados que corresponden a distintas velocidades específicas según las distintas normas, tomadas del estudio de O'Cinnéide y otros<sup>(6)</sup>, actualizado.

Para las velocidades más altas hay una gran dispersión en esos radios mínimos: Finlandia es la más conservadora<sup>16</sup>, y Grecia la menos. La razón más evidente es el distinto rozamiento transversal admisible que adoptan los diferentes países.

## 4.2. Normativa comparada

### 4.2.1. Alemania

El rozamiento transversal admisible<sup>17</sup> es un 50% del 92,5% de la resistencia al deslizamiento garantizada al 95% a nivel de red: la cual depende de la velocidad de diseño del tramo.

Para unas condiciones de diseño defini-

das para las carreteras convencionales, se aplican las restricciones de la *tabla 4.2-A*.

Tabla 4.2-A.

Condiciones de diseño	Gama de radios (m)	Desarrollo circular mínimo (m)
EKL1	≥ 500	70
EKL2	350 – 900	60
EKL3	250 – 600	50

### 4.2.2. España

Ya en la Instrucción 3.1-IC de 1964 se establecía una relación biunívoca entre radio y peralte. La Norma 3.1-IC de 1999 ha mantenido el principio, y sigue un método parecido al 5 de la AASHTO (*tabla 4.2-B*).

- Grupo 1) Autopistas, autovías y carreteras C-100:

Tabla 4.2-B. Grupo 1

250 < R < 700	p = 8
700 < R < 5 000	p = 8 - 7,3 · (1 - 700/R) <sup>1,3</sup>
5 000 < R < 7 500	p = 2
7 500 < R	Bombeo

<sup>15</sup> Además, los vehículos de la época tenían el asiento corrido y no disponían de cinturones de seguridad.

<sup>16</sup> Quizás porque su peralte está limitado al 4%.

<sup>17</sup> Con objeto de dejar un 87% de la resistencia al deslizamiento para movilizar rozamiento longitudinal.

• Grupo 2) Carreteras C-80, C-60 y C-40:

Tabla 4.2-B. Grupo 2

50 < R < 350	p = 7
350 < R < 2 500	p = 7-6,08 · (1 - 350/R) <sup>1,3</sup>
2 500 < R < 3 500	p = 2
3 500 < R	Bombeo

Para estos peraltes, la Norma 3.1-IC de 1999 conduce a la relación entre velocidad específica y radio de la tabla 4.2-C.

en zonas de heladas frecuentes.

- Dos curvas contiguas deben estar separadas por una alineación recta de al menos 200 m de longitud. Se exceptúan las curvas en S, de sentidos opuestos, cuyas clotoideas contiguas se pueden tocar.

En las carreteras convencionales situadas en terreno muy accidentado, los peraltes se atienen a lo siguiente<sup>19</sup> :

V<sup>2</sup>/R > 7, está determinado por la fórmula

$$p = \frac{V^2}{2,828 \cdot R}$$

sin que pueda rebasar un máximo del 7%.

Para cada velocidad específica hay varios radios, caracterizados por:

- El correspondiente a mantener el mismo **bombeo** transversal que en una

Tabla 4.2-C. Autopistas, autovías y carreteras C-100. (Grupo 1)

Velocidad específica (km/h)	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	
Radio (m)	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1 050	1 250	1 475	1 725	
Peralte (%)	8,00										7,51	6,97	6,25	5,49	4,84	4,29

Tabla 4.2-C. Carreteras C-80, C-60 y C-40. (Grupo 2)

Velocidad específica (km/h)	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
Radio (m)	50	65	85	105	130	155	190	225	265	305	650	410	485	570	670
Peralte (%)	7,00											6,50	5,85	5,24	4,67

### 4.2.3. Francia

Para radios inferiores al mínimo, compatible con mantener el mismo bombeo que en una alineación recta, los peraltes se interpolan linealmente según las curvaturas 1/R, entre 2,5 (igual que en una alineación recta) y 7,0% (máximo en curva).

Para mejorar la comodidad y facilitar la visibilidad, en las autopistas se recomienda emplear radios no inferiores a 1,5 veces el mínimo compatible con mantener el mismo bombeo que en una alineación recta, siempre que ello no comporte un aumento significativo del coste. Sólo se pueden emplear curvas de radio inferior a este último límite si se cumplen las siguientes reglas:

- Esa curva de radio inferior debe ir precedida, en una distancia entre 500 y 1 000 m, por una(s) curva(s) progresivamente de mayor radio; entre dos contiguas la razón del primer radio<sup>18</sup> al segundo no debe ser superior a 1,5. El cumplimiento de esta regla es especialmente importante en zonas de riesgo, como al final de una pendiente prolongada, en el acceso a un enlace o a un área de peaje, servicio o descanso, o

<sup>18</sup> Que se encuentre en el sentido de la marcha.

<sup>19</sup> Donde la rasante esté muy inclinada, se puede tener que reducir el peralte para que la línea de máxima pendiente no rebase el 10-12%. En cualquier caso, el peralte mínimo es del 2,5 % para radios inferiores a 400 m.

<sup>20</sup> 6% en zonas de nevadas frecuentes.

<sup>21</sup> Se aplica este límite en zonas urbanas.

- Radio inferior a 40 m: 6%
- Radio entre 40 y 250 m: interpolación lineal en 1/R entre 6 y 2,5%.
- Radio entre 250 y 400 m: 2,5%
- Radio > 400 m: bombeo como en recta.

### 4.2.4. Italia

El peralte en autopistas y vías principales interurbanas es del 7%<sup>20</sup>, aunque disminuye según una ley bilogarítmica a partir de un radio de 964 m (140 km/h), 667 m (120 km/h) ó 437 m (100 km/h). En túneles se puede reducir hasta el 1%.

Para ser percibida correctamente, cualquier curva debe tener un desarrollo circular no inferior a la distancia recorrida en 2,5 s a su velocidad específica.

La razón entre los radios de dos curvas consecutivas sigue las mismas pautas que la Norma española 3.1-IC de 1999, derivadas de las RAS-L alemanas.

El radio R (m) de la primera curva tras una alineación recta de L m de longitud no debe ser inferior a L si L < 300 m, ni a 400 m si es igual o superior.

### 4.2.5. Reino Unido

La normativa británica (1) se basa en el parámetro siguiente, igual a 127 veces la aceleración centrífuga: (V en km/h, R en m)

$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot \left( f_1 + \frac{p}{100} \right)$$

(V en km/h, R en m).

El peralte deseable<sup>21</sup> es del 5% y, si

alineación recta. V<sup>2</sup>/R = 5.

- El correspondiente a un peralte del 2,5%. V<sup>2</sup>/R = 7,07.
- El correspondiente a un peralte del 3,5%. V<sup>2</sup>/R = 10.
- El **deseable**, correspondiente a un peralte del 5% y a un valor de V<sup>2</sup>/R = 14,14.
- El **absoluto**, correspondiente a un peralte del 7% y a una velocidad específica situada a un nivel menos en la escala de gamas o franjas 120 – 100 – 85 – 70 – 60 – 50 km/h. V<sup>2</sup>/R = 20.
- El **límite**, correspondiente a un peralte del 7% y a una velocidad específica situada a dos niveles menos en la misma escala. V<sup>2</sup>/R = 28,28.

Hay un detallado sistema de mitigaciones (*relaxations*) de las características estándar, el cual presenta ciertas particularidades adicionales para el caso de las curvas en planta:

- En autopistas, se pueden descender hasta 2 escalones en la secuencia de gamas de velocidades de diseño, si ésta está en la franja A (alta), y hasta 3 si está en la franja B (baja).
- En carreteras convencionales, se pueden descender hasta 3 escalones en la secuencia de gamas de velocidades de diseño, si ésta está en la franja A (alta), y hasta 4 si está en la franja B (baja).
- Para velocidades de diseño en la fran-

ja **B** (tanto para autopistas como para carreteras convencionales), las mitigaciones descritas pueden sufrir modificaciones:

- Con calzadas separadas, al final de pendientes de longitud superior a 1,5 km e inclinación superior al 3%, la máxima mitigación admisible se acorta 1 escalón.
- Con calzadas separadas, al final de rampas de longitud superior a 1,5 km e inclinación superior al 4%, la máxima mitigación admisible se alarga 1 escalón.
- En carreteras de calzada única, inmediatamente después de un tramo de adelantamiento permitido<sup>22</sup> la máxima mitigación admisible se acorta 1 escalón.



## Referencias

- (1) Dames, Jürgen; Merckens, R.; Bergmann, J.: *New Determination of the Evaluation Background for the Results of Skid Resistance Measurements. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Vol. 413, Ministerio de Transportes, Bonn 1984.  
Dames, Jürgen: *Data Colletion and Evaluation of the Skid Resistance of Roads, Strasse unnd Autobahn*, Vol. 23, 1992.
- (2) Viguera, Juan Francisco; Garagorri, José M.; Crespo, Ramón: *La adherencia neumático - pavimento*. Revista "CARRETERAS", junio 1992.
- (3) Hauer, Ezra: *Safety in Geometric Design Standards I: Three Anecdotes. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design*. Maguncia (Alemania), junio de 2000.
- (4) Kahl, K.; Fambro, Daniel B.: *Investigation of Object-Related Accidents Affecting Stopping Sight Distances. Transportation Research Record No.1500*, Waschington D.C., 1995.
- (5) Fitzpatrick, Kay; Fambro, Daniel B.; Stoddard, A.M.: *Safety Effects of Limited Stopping Sight Distance on Crest Vertical Curves*. Comunicación presentada a la 76<sup>a</sup> Reunión anual del Transportation Research Board. Washington, D.C., 1997.
- (6) O'Kinneide, Don; McAuliffe, Niall; O'Dwyer, Des: *Comparison of Road Design Standards and Operational Regulations in EC and EFTA Countries. Deliverable No. 8 in DRIVE II Project V2002 HOPES*. University College Cork, Cork (Irlanda), septiembre 1993.
- (7) Fambro, Daniel B.; Fitzpatrick, K.; Koppa, R.J.: *Determination of Stopping Sight Distances, NCHRP Report 400*, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1997.
- (8) Harwood, Douglas W.; Fambro, Daniel B.; Fishburn, Bruce; Joubert, Herman; Lamm, Rüdiger, Psarianos, Basil: *International Sight Distance Design Practices. Proceedings of the International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, Boston (EE.UU.), enero 1995.
- (9) *Standard Specification for Geometric Designo f Rural Roads TV124E. Section for Road Planning and Design*. Swedish National Road Administration. Borlange 1986.
- (10) Hauer, Ezra: *Safety in Geometric Design Standards I: Three Anecdotes. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design*. Maguncia (Alemania), junio de 2000.
- (11) Bissell, H.H.; Pilkington, G.B.; Mason, J.M.; Woods, D.J.: *Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements. FHWA-TS-82-232*. Federal Highway Administration, Washington, D.C. 1982.
- (12) Spacek, Peter: *Track Behavior and Accident Occurrence in Curves on Two-Lane High-ways in Rural Areas. Proceedings of the 2nd International Symposium on Highway Geometric Design*. Maguncia (Alemania), junio de 2000.
- (13) Lechner, D.; Ferrandez, F.; Fleury: *Manoeuvres et sollicitations en situation de urgence. INRETS* 1983.
- (14) Jiménez Alonso, Felipe; Aparicio, Francisco: *Cálculo de la velocidad segura de circulación de los vehículos automóviles en función de la geometría de la carretera. Comparación de modelos*. XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Sitges (España), junio 2006.
- (15) Glaser, S.; Aguilera, V.: *Vehicle – infrastructure – driver speed profile: towards the next generation of curve warning systems*. 10<sup>o</sup> Congreso Mundial sobre Sistemas y Servicios Inteligentes de Transporte. Madrid, noviembre 2003
- (16) Felipe, E.; Navin, F.: *Automobiles on Horizontal Curves: Experiments and Observations. Transportation Research Board's 77th Annual Meeting*. Enero 1998. ❖

<sup>22</sup> Bien porque se disponga de visibilidad suficiente, bien porque se hayan establecido carriles adicionales para facilitar el adelantamiento.



# Una metodología para el estudio del acondicionamiento de carreteras en entornos difíciles: El caso de la N-621 en el desfiladero de La Hermida

José P. Alba García  
ICCP  
Urbaconsult, S.A.

Juan C. Mas Bahillo  
ICCP  
Demarcación de Carreteras  
del Estado en Cantabria  
y José Murillo Díaz  
ICCP

Dirección General de Carreteras  
del Ministerio de Fomento

(Asturias), en un medio natural escarpado, típico de un desfiladero profundo, y de muy singulares valores medioambientales. Se describe sucintamente un procedimiento innovador aplicado para llegar a alcanzar una solución de trazado que compatibiliza objetivos funcionales básicos y de preservación y puesta en valor del entorno atravesado, dando prioridad a la implantación "punto a punto" de la nueva sección tipo. Asimismo se muestran algunos de los formatos de presentación de datos y resultados que aportan nuevas soluciones para ofrecer una más fácil comprensión de los estudios realizados.

**PALABRAS CLAVE:** metodología, voladizos, entornos difíciles, iteraciones, plataforma, muros, consistencia.

## 1. Antecedentes

Los primeros pasos hacia la mejora de la carretera N-621 entre Castro – Cillórgo y Panes se dieron en el año 1992, con la emisión, por parte del Ministerio de Fomento, de una Orden de Estudio para la redacción de un Estudio Previo, que fue redactado en 1995, así como las primeras tramitaciones ambientales. Un informe del Órgano Ambiental indicó que las actuaciones propuestas no eran compatibles con la preservación de algunos valores protegidos, y necesitaban ser reconsideradas. En febrero de 2006, la Dirección General de Carreteras del Ministerio Fomento emitió la Orden de Estudio para el Estudio Informativo recientemente aprobado, cuya redacción conclu-

## Resumen

Se presenta de forma sintética el estudio desarrollado para definir las actuaciones necesarias para mejorar las condiciones de servicio de un tramo de unos 20 km de la carretera N-621, entre Castro - Cillórgo (Cantabria) y Panes

yó a principios del año 2009. El 8 de octubre de 2010 se publicó en el Boletín Oficial del Estado la Declaración de Impacto Ambiental favorable a las actuaciones propuestas en este Estudio, que se aprueba definitivamente el 10 enero de 2011.

La Orden de Estudio del Estudio Informativo definía como objeto del mismo la recopilación y análisis de la información necesaria para definir las diferentes alternativas viables para la mejora del tramo, analizando sus ventajas e inconvenientes y enfatizando el análisis sobre los condicionantes de tipo ambiental. Se establecían en la Orden de Estudio una calzada de 6 metros y arcenes de 0,25 m, y que, en casos de especial dificultad, el ensanche de la plataforma se debía conseguir sacrificando el trazado geométrico. Se debía prever la construcción de aceras en el núcleo de La Hermida, la mejora de la protección de la carretera frente al desprendimiento de rocas mediante la colocación de pantallas dinámicas, el ensanche de los puentes existentes, la reposición de los accesos al río Deva, la mejora del drenaje longitudinal y transversal de la vía y el acondicionamiento ambiental de las obras.

## 2. Datos básicos y condicionantes

La carretera N-621 de León a Santander por Potes significa para los municipios de la zona prácticamente la única comunicación con Santander y Asturias por el Norte, así como con Palencia, León y Burgos por el Sur. Igualmente, supone la única vía de acceso desde la Cornisa Cantábrica hasta los valles de Camaleño y de Liébana. Es por tanto, la vía de acceso a servicios tan imprescindibles como los sanitarios, administración, comercio o educación, para una población cercana a los 10 000 habitantes censados en Potes y su entorno.

El tramo comprendido entre Castro Cillorigo y Panes (*figura 1*), de unos 20 km de longitud, discurre por el Desfiladero de La Hermida, cuya singular geomorfología viene definida por un relieve muy acusado en el que destacan sobremano la verticalidad de las importantes paredes calizas, las grandes montañas y verdes laderas, así como el río salmonero Deva que recorre la garganta en paralelo a la propia carretera,



Figura 1. Delimitación del tramo Castro Cillorigo – Panes en la N-621

gozando todo el espacio atravesado de un conjunto de valores ambientales y paisajísticos que le confieren una singular y espectacular belleza.

La red fluvial que desemboca en el río Deva discurre de forma perpendicular al trazado, destacando los ríos Navedo, Corvera y Urdón, entre otros.

Los municipios directamente afectados por la carretera N-621 son: de Sur a Norte, Cillorigo de Liébana, Peñarrubia y Tresviso en Cantabria; y Peñamellera Baja en Asturias.

### Red viaria

La accesibilidad a Cantabria desde la Meseta ha mejorado de forma considerable con la puesta en servicio de los últimos tramos de la Autovía A-67, de Palencia a Santander. El resto de ejes de comunicación Norte – Sur (N-629, de Burgos a Santoña; N-623, de Burgos a Santander; ó N-621, de León a Unquera) presentan unas características funcionales que en gran medida no pueden considerarse adecuadas para satisfacer la demanda de tráfico, tanto de acceso en general como de condiciones de servicio.

En este sentido destaca el eje con-

formado por la carretera N-621, por su inadecuación a las demandas funcionales actuales y deficiente nivel de servicio. Esta carretera parte de León y atraviesa el Puerto de San Glorio, conectando con Liébana, Potes, La Hermida y Panes, así como con la Autovía A-8 del Cantábrico y la N-634 Irún – La Coruña en Unquera. Cabe señalar que el tramo Panes – Unquera fue acondicionado en su momento mediante ensanche de la plataforma, hasta alcanzar una sección 1+7+1, realizando mejoras en el trazado y construyendo un nuevo firme.

De igual modo, se rehabilitó el tramo Castro – Potes, actuaciones que ponen en evidencia la grave discontinuidad en las características geométricas del trazado en el tramo intermedio.

La red viaria actual se complementa con las carreteras locales y caminos vecinales que sirven de acceso a los pequeños núcleos de población. Así, la carretera N-621 conecta con las carreteras CA-880 a Lebeña, CM-22/11 a Allende, CA-282 a Caldas, Linares, Navedo y Piñeres, y con la CM-22/03 a Beges, así como con los caminos vecinales a Cuñaba y Robriguero.

El acusado relieve conformado por las paredes rocosas de fuerte pendiente o verticales en la margen del monte (*figuras 2 y*



Figuras 2 y 3. Las paredes rocosas suponen una limitación física de las condiciones de servicio en la carretera que atraviesa el desfiladero



Figura 4. Vehículos retrocediendo para permitir el paso a otros, lo que ocasiona retenciones y degradación de las condiciones de servicio.



Figura 5. Panorámica del desfiladero desde el Mirador de Cicera, situado en Peñarrubia (Cantabria)

3), por los pronunciados terraplenes en las márgenes que dan hacia el río Deva, por los vuelos de macizos rocosos sobre la carretera que limitan el gálibo disponible, o la estrechez de los cuatro puentes existentes sobre el río Deva, definen las limitaciones de una plataforma de sección muy ajustada

que constituye el principal condicionante a la hora de abordar un estudio de alternativas de ampliación de aquélla. Se podría afirmar que los tiempos de recorrido desde la localidad de Potes hacia los principales destinos de la cornisa costera son muy elevados y, en cierto modo, inadmisibles.

## Tráfico

El tramo de la N-621 comprendido entre Castro – Cillorigo y Panes tiene una IMD de 2 144 veh/día en el año 2009 (según registro de la estación S-321 en La Hermida), de los cuales un 8% (unos 170 vehículos) son camiones o autobuses. El tráfico en verano se llega a triplicar, dado el gran atractivo turístico y deportivo que tiene la zona. Este hecho, unido a la geometría del trazado y características de la sección disponible, hace que se produzcan retrasos y degradación del nivel de servicio (*figura 4*) que afecta muy negativamente a una importante población (casi 10 000 habitantes censados en Potes y su entorno), que ha de servirse, sin alternativa posible, de este tramo de carretera para comunicarse tanto con la Costa Cantábrica como con Castilla y León, y acceder así a los servicios más básicos en la capital, Santander.

## Espacios Naturales de Interés Ambiental

Las singulares características ecológicas, paisajísticas y culturales que conforman la zona sobre la que se ha desarrollado el Estudio Informativo, han llevado a numerosos reconocimientos de los valores ambientales que ésta alberga. De acuerdo con la legislación vigente, se distinguen distintas categorías de protección, que van desde Parque Nacional a Hábitats de Interés Comunitario, pasando por Espacios Protegidos de la Red Natura 2000 (*figura 5*). Así, se tienen:

### Espacios Naturales Protegidos

Un pequeño subtramo comprendido entre Urdón y Rumenes, de aproximadamente



ÁREA DE ESTUDIO

Figura 6. Localización de LICs



ÁREA DE ESTUDIO

Figura 7. Localización de ZEPAs

dos kilómetros (desde el p.k.166 al p.k.168, aproximadamente) discurre atravesando el límite noroeste del Parque de los Picos de Europa, que fue declarado como Parque Nacional en el año 1995. Está declarado también como Reserva de la Biosfera de Picos de Europa, Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de Picos de Europa, y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPa) de Picos de Europa.

#### Espacios protegidos de la Red Natura 2000

Todo el trazado sobre el que se ha realizado el Estudio discurre en paralelo al río Deva, que está catalogado por la Comunidad de Cantabria como Lugar de Importancia Comunitaria "Río Deva", incluyéndose por tanto en la Red Natura 2000. El último tramo de este LIC se solapa con el LIC "Río Cares-Deva", declarado por el Principado de Asturias, desde la confluencia con el Parque Nacional de los Picos de Europa, ocupando el cauce del río Deva hasta su confluencia con el Cares, río sobre el que continúa esta misma protección ambiental.

Prácticamente toda la zona de estudio forma parte de la Red Ecológica Europea Natura 2000 (ver figuras 6 y 7), ya que además de los anteriores espacios protegidos, existen otros Lugares de Importancia Comunitaria, denominados "Liébana" y "Picos de Europa", correspondientes a Cantabria y Asturias, respectivamente. Este último se encuentra además catalogado como ZEPa. Existen asimismo dos ZEPa debidas a la presencia de poblaciones bien conservadas

de aves rupícolas y ripícolas, denominadas "Desfiladero de La Hermida" y "Liébana".

#### Hábitats de interés comunitario

En una franja, de unos 500 metros a ambos lados de la traza, existen hábitats de interés comunitario que se verán afectados -aunque de forma mínima- por la ampliación de la plataforma. Estos hábitats están asociados a brezales oromediterráneos endémicos con aliaga, bosques aluviales residuales, pendientes rocosas calcícolas con vegetación casmofítica, bosques de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*, o matorrales petrificantes con formación de tuf.

#### Paisaje

El paisaje es uno de los principales valores ambientales de la zona estudiada y el más fácilmente perceptible, al estar integrado por los numerosos elementos naturales existentes. Tanto el fuerte relieve del desfiladero como el río Deva, sus afluentes y su vegetación de ribera aportan gran naturalidad al observador. Se observan paisajes más escarpados en las zonas con mayor relieve, siendo más emboscados conforme la verticalidad da paso a laderas de menor pendiente. Se pueden observar grandes masas de vegetación arbórea y arbustiva a lo largo de todo el recorrido, así como una gran riqueza faunística. Todos estos elementos contribuyen al excepcional interés que ofrece el paisaje en todo el tramo.

En el Estudio Informativo aprobado se ha realizado un análisis de la cuenca de

visualización para determinar el grado de incidencia de la carretera sobre el paisaje, llegando a la conclusión de que la cuenca visual es poco extensa, ya que la infraestructura sólo es visible desde algo más del 25% de la superficie adoptada como envolvente, de radio 5 kilómetros desde el eje de la carretera.

### 3. Objetivos

Entre los objetivos básicos del acondicionamiento de la N-621 se encuentra la propuesta de actuaciones para lograr continuidad y homogeneidad de sus características geométricas y funcionales, lo que se concreta en la ampliación de la plataforma existente y en la mejora de los elementos funcionales de la carretera para incrementar la seguridad en la conducción y el confort del usuario (figura 8 de la página siguiente), todo ello con el máximo respeto del singular entorno natural atravesado; esto significa que en la actuación se ha de tener una consideración particularizada de los temas ambientales y geotécnicos.

Se comprende que el objetivo de la Instrucción 3.1-IC "Trazado" es establecer unos adecuados parámetros de calidad geométrica para el diseño de cada clase de carreteras compatibles con las consideraciones económicas, físicas y ambientales del terreno atravesado, etc., pero permitiendo suficiente flexibilidad a los técnicos especialistas del diseño para que, con criterio, adecuen de modo responsable dichos



Figura 8. Uno de los objetivos principales del Estudio es la reducción de las situaciones de riesgo para la seguridad vial

parámetros de trazado a las características particulares del proyecto, justificando las soluciones propuestas.

Consecuentemente y dada la especial particularidad del presente estudio, se justifica la ineludible necesidad de ser flexible en la aplicación de algunos artículos de dicha Instrucción de trazado, pero siempre teniendo presentes los principios generales para el buen diseño geométrico establecidos en el capítulo 1 “Generalidades” de la Instrucción 3.1-IC a este respecto:

*“En Proyectos de carreteras urbanas, de carreteras de montaña y de carreteras que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad y de mejoras locales en carreteras existentes, podrán disminuirse las características exigidas en la presente Norma justificándose adecuadamente”. (Apartado 1.2 “Objeto y ámbito de aplicación”).*

*“Deberá lograrse una homogeneidad de características geométricas tal que induzca al conductor a circular sin excesivas fluctuaciones de velocidad, en condiciones de seguridad y comodidad. Para ello se evitarán los puntos en que las características geométricas obliguen a disminuir bruscamente la velocidad y se facilitará la apreciación de las variaciones necesarias de velocidad mediante cambios progresivos de los parámetros geométricos y con la ayuda de la señalización”. (Apartado 1.1 “Introducción”).*

Se debe insistir, una vez más, que la mejora de trazado consecuente al acondicionamiento de la actual carretera no persigue el incremento de la velocidad de

circulación, sino lograr por parte del conductor una conducción continua, segura, responsable y respetuosa con el entorno. Se ha pretendido crear las condiciones para que las velocidades de todos los vehículos sean lo más homogéneas posible, evitando así la necesidad de maniobras de adelantamiento de difícil solución por las reducidas condiciones de visibilidad disponibles. Consecuentemente, no se ha considerado conveniente para el acondicionamiento de la carretera la rectificación generalizada del trazado, lo que llevaría a “tensar” la geometría del eje en planta, incitando al conductor a aumentar su velocidad, por lo que de la actuación sobre la N-621 se podrían derivar efectos negativos para la seguridad vial (incrementándose el riesgo y gravedad de los accidentes), además de producir un impacto ambiental inadmisibles.

Con la presente actuación se pretende diseñar una carretera fácilmente legible por el usuario, esto es, que el conductor perciba de forma clara la correspondencia existente entre las características geométricas de la carretera y el territorio atravesado, interpretándola inequívocamente como una vía de montaña que se amolda sumisamente, replegándose, al relieve; y así, durante el viaje y a la vista del entorno próximo, sabrá efectuar una lectura anticipada del trazado y acomodar sin precipitación su conducción a las sucesivas alineaciones curvas que se adaptan al relieve del territorio. El confort y la seguridad quedan, así, claramente potenciados.

En definitiva, se ha tratado de obtener un trazado consistente en sus caracterís-

ticas funcionales, utilizando soluciones similares y homogéneas ante circunstancias análogas y consiguiendo coherencia entre tramos contiguos, en cuanto a velocidad y aceleración sobretodo. Con tal diseño se cubrirán las expectativas del usuario, facilitando así una conducción predecible y adecuada, sin variaciones bruscas que supongan un aumento de riesgo. Las actuales situaciones de discontinuidad de la carretera implican mayor tiempo de comprensión y respuesta, y por tanto son especialmente peligrosas e inaceptables.

#### 4. Criterios básicos de diseño

Dada la singularidad del medio físico en que se encuentra emplazada la carretera, y con objeto de lograr el máximo respeto del medio natural en los ajustes de trazado consiguientes, para el acondicionamiento de la actual carretera se renuncia a su geometrización inicial mediante un nuevo trazado acorde a una velocidad de proyecto preestablecida, siguiendo la Norma 3.1-IC “Trazado”; dicho de otro modo, el presente estudio de trazado no consiste, como suele ser lo habitual, en definir la geometría de una nueva carretera conforme a unas especificaciones técnicas para después intentar corregir el impacto producido, sino que, por el contrario, se analiza en cada punto de la carretera la mejor solución posible para su acondicionamiento, compatible con las estrictas condiciones de contorno (paisaje, medio físico y natural), para a continuación enlazar estas soluciones puntuales hasta alcanzar el mejor trazado posible.

Los criterios funcionales básicos del diseño adoptado son:

- Garantía de solución de accesibilidad a la población de las comarcas por las que discurre la N-621, sin por ello favorecer el incremento de la velocidad de circulación.
- Garantía para los conductores de la continuidad de la circulación, superando la situación actual que obliga frecuentemente a peligrosas maniobras para el cruce de los vehículos y a utilizar el ancho total de la carretera para circular en bastantes curvas, sobre todo por vehículos pesados.
- Mejora de la seguridad vial, evitando

riesgos de salida de la vía y de choques fronto-laterales (figura 9).

- Incremento del confort para el usuario, evitando sorpresas en la circulación, resolviendo la continuidad de trayectorias y mejorando las condiciones de visibilidad.
- Diseño de trazado *legible y consistente*; no se favorece el incremento de velocidad sino la reducción del tiempo de recorrido. Los parámetros geométricos del diseño no “*tensan*” el trazado de la actual carretera, manteniéndose un trazado sinuoso fácilmente identificable por el usuario como de carretera de montaña.
- Compatibilidad para el uso de la carretera por ciclistas y peatones, con la incorporación de arcones *pisables*, que, además, resuelven los sobrecanchos necesarios.
- Diseño contenido de los elementos funcionales de la carretera tales como las intersecciones, accesos a caminos existentes y otros aspectos que influyen de modo notable en la unidad y en la seguridad del conjunto.
- Adecuación de los miradores y zonas de parada existentes, con posibilidad de implantar otros nuevos en lugares pintorescos, y acondicionamiento de zonas para aparcamiento. La presente actuación también debe servir para el acceso al paisaje y su disfrute, así como contribuir a potenciar los valores naturales y culturales del territorio.
- Integración ambiental y paisajista (ver figura 10) de los elementos funcionales de la carretera (obras de drenaje, barreras para contención de vehículos, muros y señalización) mediante selección de los materiales y cuidadosa implantación en el entorno.
- Tratamiento ambiental del corredor con propuesta de medidas compensatorias: supresión de líneas aéreas y canalizaciones visibles, revestimiento de los muros, etc.
- Mejora de los sistemas de protección frente a desprendimientos en las laderas próximas, con el diseño de las medidas necesarias para integrar dichas protecciones en el paisaje.
- Soluciones constructivas viables y económicas que no afecten al medio y que permitan una ejecución sin interrupción de la accesibilidad de la zona afectada.



Figura 9. La invasión del carril contrario es frecuente en este tramo, con los consiguientes riesgos para la seguridad vial

## 5. Parámetros geométricos de diseño para el trazado en planta

La integración de la presente actuación sobre el territorio será más “costosa” desde el punto ambiental y económico cuanto más rígidas sean las especificaciones técnicas de los parámetros geométricos de diseño.

Pero, es preciso garantizar el establecimiento de unos mínimos estándares de calidad, incluso podría decirse de modo irrenunciable para una carretera de la red del Estado, para lograr los principales requerimientos previstos para la carretera: funcionales (seguridad y confort en la conducción), territoriales (accesibilidad a las poblaciones de la N-621), ambientales y paisajísticos.

En tal sentido se ha considerado como objetivos básicos:

- Radio mínimo normal: 50 m (corresponde a  $V \approx 40$  km/h).
- Longitud de clotoide mínima: 25 m (corresponde a unos 2” de tiempo de recorrido a 50 km/h).

rrido a 50 km/h).

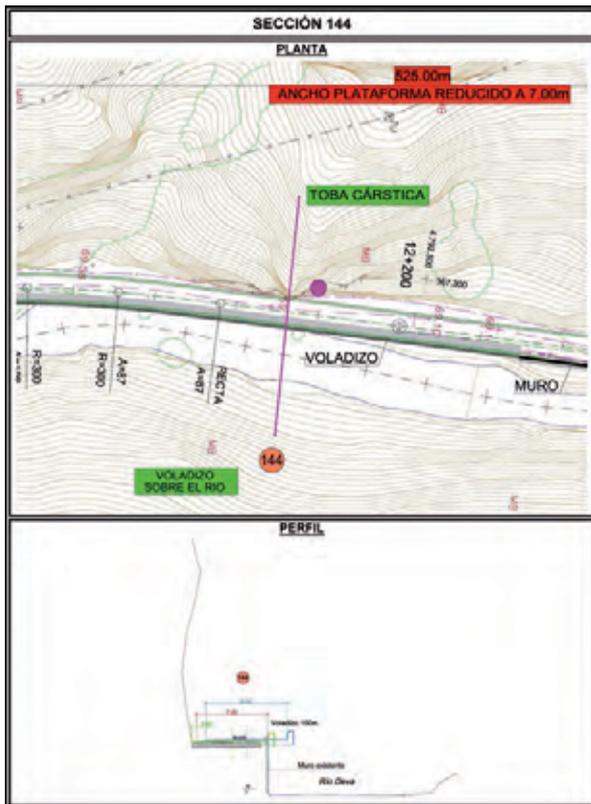
- No es necesario modificar la rasante: la pendiente varía alrededor del 1%.
- La sección transversal normal es 1,0-6,0-1,0.
- Se prevé señalar solamente los bordes de la calzada con líneas discontinuas (a confirmar en fase de proyecto).

## 6. Explicación de la metodología para el ajuste geométrico del trazado

El trazado propuesto para el acondicionamiento de la carretera N-621 en el Estudio Informativo, con las consiguientes soluciones para el ensanche de plataforma (disposición de muro, de voladizo, pequeña excavación en ladera, etc.) y tratamiento ambiental, es fruto del análisis detallado de la actual carretera y su entorno mediante la obtención de secciones características a lo largo de todo su trazado, considerándose cada una de ellas suficientemente repre-



Figura 10. Simulación de las soluciones previstas para muros y pretiles, con pasos para pequeños invertebrados



**Margen izquierda:**

Pared rocosa vertical de gran altura cubierta parcialmente por vegetación casmofítica y ejemplares jóvenes de higuera y encina. No se contemplan actuaciones por este margen, que no cuenta con formaciones vegetales ni especies de interés especial, aunque existe una toba que no se afecta al no realizarse actuaciones.



**Margen derecha:**

Actualmente existe un muro sin apenas vegetación e inmediatamente debajo el cauce del río Deva. En la base del muro se localizan ejemplares poco desarrollados de sauce e higuera. Al no existir talud, la única opción viable para minimizar afecciones al cauce es la construcción de un voladizo, que dado que volaría directamente sobre el cauce, se ha considerado adecuado estrechar la plataforma hasta los 7 m.

Figura 11. Ficha de características empleada en el Estudio Informativo

sentativa de un subtramo de longitud variable de la carretera.

Dicho análisis por secciones características en puntos representativos del trazado, que el equipo redactor presenta como método novedoso desarrollado para el presente Estudio, se justifica ante la necesidad de identificar y evaluar de modo preciso las concretas circunstancias físicas y valores ambientales de cada punto, para de ahí deducir el tipo de actuación más conveniente y su alcance.

Mediante un proceso iterativo, de tres ajustes sucesivos, se consigue alcanzar un trazado que integra la variable ambiental y los condicionantes físicos desde el primer

momento de su diseño, conjugándolos de forma continua con los requerimientos funcionales (particularmente de seguridad vial) y territoriales (mejora de accesibilidad a la zona).

El ajuste de trazado se ha realizado de modo sistemático e iterativo, analizándose en etapas sucesivas las secciones características y el consiguiente eje en planta y también viceversa, con las implicaciones mutuas que se producen en los ajustes derivados; pues se ha considerado que el mejor modo de emplazar la nueva plataforma en un valle de morfología tan abrupta y de valores ambientales tan importantes es de forma gradual, atendiendo a los diferentes condicionantes que concurren en cada

sección, principalmente el reducido espacio físico disponible. En definitiva, el ajuste geométrico del trazado se ha realizado mediante el análisis, desde el inicio del proceso hasta el final, del binomio inseparable secciones características-trazado en planta, en continua interacción mutua, mediante un proceso de retroalimentación, según se explica seguidamente de forma abreviada.

En este sentido se han llegado a identificar un total de 320 secciones características lo que, en una longitud total de 20 292 m del tramo en estudio, significa de media una sección característica por cada 63 m de la actual carretera. Puede asegurarse, por tanto, que cada sección representa un



Figura 12. Esquema de la metodología empleada en el análisis del trazado del Estudio Informativo

subtramo de la carretera con características homogéneas, por lo que mediante su análisis se posibilita definir, no de modo genérico sino particularizado, las soluciones de ampliación de la plataforma adecuándose a las necesidades reales de cada punto del trazado y, consecuentemente en primera instancia, valorar y luego aminorar el impacto ambiental producido mediante ajustes de trazado sucesivos.

El Estudio Informativo incorpora unas fichas asociadas a cada una de estas 320 secciones características, en las que se aporta información detallada sobre los condicionantes existentes, la solución de ampliación propuesta en planta y perfil, así como fotografías de los elementos más destacables en cada una de esas secciones (figura 11).

Dado lo prolongado y laborioso del proceso, para facilitar su lectura y seguimiento, se han identificado por colores (negro, rojo, azul, verde) las distintas etapas de maduración en el desarrollo del trazado hasta alcanzar la solución propuesta (ver el esquema de la figura 12).

A continuación se aporta una explicación resumida de las actividades desarrolladas en este proceso de definición de la plataforma propuesta para la carretera N-621, entre Castro Cillorigo y Panes.

1. Topografía de detalle (escala 1/500) de la plataforma de la carretera existente y de sus márgenes, en la medida necesaria para identificar y evaluar los condicionamientos con la precisión requerida para el Estudio Informativo.
2. Geometrización del eje de la actual carretera y posterior análisis de sus características funcionales, principalmente determinación de radios existentes y anchura de la plataforma.
3. Identificación inicial de las secciones trasversales (235) que se consideran representativas y determinantes para la implantación de la nueva plataforma.
4. Estudio individualizado de cada sección transversal para la implantación de la nueva plataforma requerida que, en principio, se establece con 8 m de anchura (secciones color **negro**).
5. Fijación para cada sección transversal del correspondiente punto del eje de trazado derivado de la plataforma implantada según el punto anterior.



Figura 13. Tramo en el que previsiblemente será necesaria la ampliación mediante voladizo

6. Geometrización en planta de un nuevo eje provisional apoyado en los puntos anteriores de cada sección transversal (eje **negro**).
  7. A partir del eje **negro** se genera de un primer trazado adaptándose, en lo posible, a la Instrucción 3.1-IC "Trazado" (eje **rojo**).
  8. Traslado de los puntos del eje (**rojo**) a las secciones características para la determinación de la nueva ubicación de la plataforma (plataforma **roja**).
  9. Análisis de las soluciones de ampliación de plataforma (dimensiones de muros, estructuras en voladizo, etc.) a disponer en dichas secciones.
  10. Determinación de aquellos tramos que requieren un mejor ajuste del trazado a la topografía del relieve, para los que se identifican nuevas secciones características adicionales (85).
  11. Reajuste en la implantación de la nueva plataforma sobre las secciones trasversales en dichos tramos para la obtención de la plataforma **azul**. Si es preciso se reducen algunos parámetros geométricos.
  12. Obtención de un nuevo ajuste de trazado (eje **azul**) a partir del emplazamiento de la plataforma **azul**.
  13. Análisis por secciones trasversales de la flora y fauna potencialmente afectadas, incorporando condicionantes paisajísticos.
  14. Análisis por secciones trasversales de soluciones de protección contra desprendimientos rocosos (inclinación de taludes, altura máxima, disposición de mallas, etc.).
  15. Análisis funcional de la carretera comprobando que su trazado cumple de modo consistente los objetivos previstos de seguridad y calidad (anchura de plataforma, radio disponible, etc.).
  16. Desarrollo del trazado propuesto (eje **verde**) comprobando que se armonizan de modo coherente todos los condicionantes concurrentes (topográficos, medioambientales, geotécnicos y geométricos) de la nueva carretera.
  17. Evaluación del trazado resultante dejando constancia de algunas limitaciones que se aceptan en cuestiones funcionales (radio, anchos, etc.) ambientales y geotécnicas.
- Después de la revisión completa del trazado propuesto (eje **verde**) y sus correspondientes secciones se observan algunos puntos en los que no ha sido posible alcanzar completamente todos los objetivos de calidad que fueron propuestos inicialmente. Dichos puntos, con aspectos sin satisfacer en cuestiones funcionales (radios, anchos, etc.) ambientales y geotécnicas, se han señalado sobre las plantas del trazado propuesto (eje **verde**) por medio de cuadros con colores temáticos para facilitar su comprensión, que a modo de ejemplo son:
- Curvas de radio <50 m.
  - Curvas con longitud de clotoide < 25 m.
  - Alineaciones curvas sin posibilidad de disponer sobreebancho en plataforma.
  - Tramos con muro próximo al río, cerca de un frezadero.
  - Tramos con voladizo muy próximos sobre el río, sin afectarlo (figura 13).
  - Ensanche en tramo próximo a toba cárstica, sin afectarla.

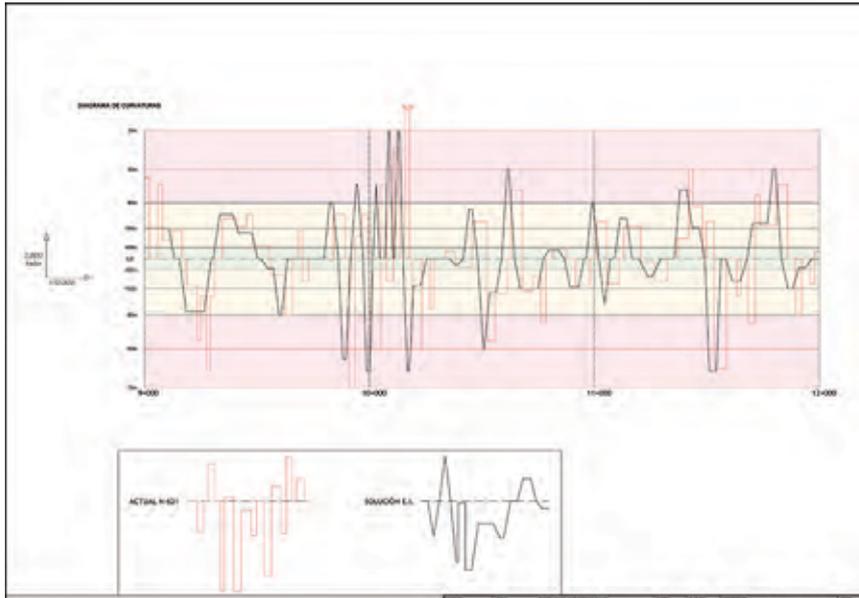


Figura 14. Ejemplo de Diagrama de Curvaturas comparativo entre la carretera actual y la solución propuesta

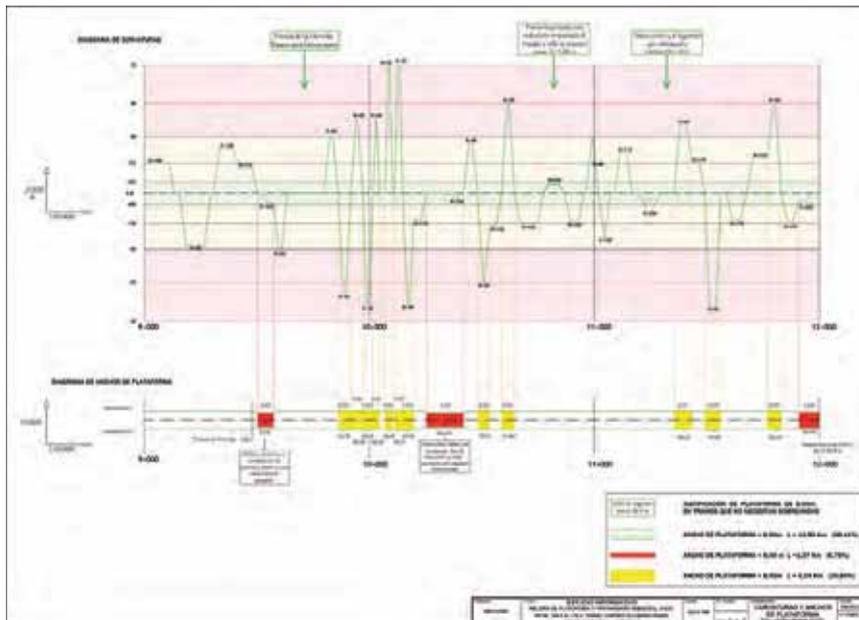


Figura 15. Ejemplo de gráfico de curvaturas y anchos de la solución propuesta



Figura 16. El relieve condiciona significativamente las posibles soluciones de ampliación, como se observa en la imagen

- Desmante puntual en roca con altura superior a 4 m.

En consecuencia, el nuevo trazado propuesto (eje **verde**) dispone de unos parámetros geométricos que sólo permiten encuadrar la nueva carretera en el nivel de prestaciones inferior dentro de los contemplados en la Norma 3.1-IC; pero se ha considerado que su trazado ha de ser consistente, es decir, que su geometría se adapte al territorio atravesado, reúna condiciones de continuidad y homogeneidad suficientes y se diseñe para que así sea percibido por sus usuarios.

En el Estudio Informativo se incluyen diagramas de curvaturas y anchos, comparativos entre la carretera actual y la solución propuesta (figuras 14 y 15).

Para disminuir los efectos negativos consecuencia de dichas inadecuaciones de la carretera, en el Proyecto de Construcción se deberán definir de modo cuidadoso las medidas correctoras más convenientes para su ejecución en obra, de acuerdo con las Recomendaciones dadas a tal efecto en el propio Estudio.

## 7. Soluciones constructivas

### Muros y voladizos

Como ya se ha comentado, a lo largo de buena parte del tramo las paredes rocosas verticales de gran altura junto al borde interior de la carretera suponen un serio impedimento ante una posible ampliación (figura 16), por lo que en el Estudio Informativo se han previsto soluciones de ensanche hacia la margen del río Deva en gran parte del tramo, bien mediante muros de relleno, bien voladizos. De hecho, la actual plataforma discurre a media ladera, contando con mediante más de 4 600 metros lineales de muro vertical de relleno al borde de la plataforma, y unos 500 metros de muro en desmante.

Con los fuertes condicionantes existentes, y con objeto de preservar los valores ambientales produciendo mínimas afecciones, de reducir el movimiento de tierras y de conseguir una solución integrada paisajísticamente, se entiende que para el ensanche de la plataforma el Estudio Informativo haya previsto como soluciones básicas la construcción de nuevos muros (tanto de relleno como de desmante), la prolongación de los

existentes, y los voladizos en la margen del río Deva.

Si bien la definición en detalle de los muros y voladizos corresponderá a estudios posteriores con mayor alcance, en el Estudio Informativo se incluyen las previsiones y mediciones estimadas para cada uno de los elementos.

Así, se considera que serán necesarios del orden de 6 300 metros de **muros de relleno** de hormigón con revestimiento de mampostería careada, con alturas variables entre los 1,5 y los 4,5 metros. Se prevén asimismo unos 1 300 metros de muro de mampostería, para los casos en que la altura máxima no supere los 1,5 metros (figura 17).

En el caso de los nuevos **muros de desmonte** se ha estimado una longitud necesaria de unos 250 metros, para disminuir la superficie de ocupación y aminorar las afecciones a la vegetación en los desmontes. La altura media de estos muros variará entre los 3 y 4 metros. Se han evitado desmontes de altura mayor de 4 metros, para evitar impactos visuales inaceptables.

Los **tramos con voladizo** se disponen cuando no es posible la ampliación hacia la ladera, y, además, donde la proximidad del cauce o la altura sobre el terreno hacen inconveniente la ejecución de muros verticales de gran altura, por la dificultad constructiva y por el impacto ambiental que causaría esa solución.

La previsión de tramos en voladizo es de casi 4 000 metros de longitud, lo que supone el 20% de la longitud total entre Castro – Cillorigo y Panes. La anchura máxima de estos vuelos se prevé en torno a 2,5 metros, si bien las anchuras más frecuentes se sitúan entre 0,5 y 1,5 metros.

Se estima que en algo más de 3 km (15% del tramo, aproximadamente) no resulta necesaria la implantación de muros ni voladizos.

### Puentes sobre el río Deva

La carretera cruza en cuatro ocasiones el cauce del río Deva mediante obras de fábrica de sillería de un vano, con bóve-

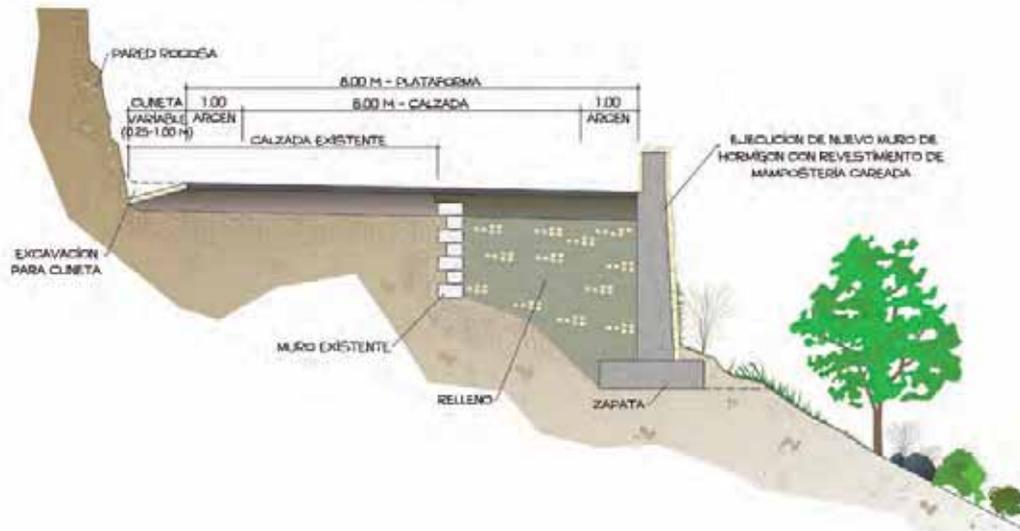


Figura 17. Croquis de la solución básica para la ampliación mediante muros



Figura 18. Los vehículos han de invadir el carril contrario para poder completar la maniobra de paso en los puentes



Figura 19. Puente sobre el río Deva junto a la intersección de acceso a Lebeña (p.k. 156,2)

das rebajadas o de medio punto situadas perpendicularmente al cauce, construidas entre 1861 y 1868 (figura 19). Tanto la anchura practicable de estas estructuras –de 5 a 5,5 metros– como los reducidos parámetros geométricos en los accesos, hacen

imposible el cruce de vehículos, ocasionando situaciones de riesgo, especialmente en el caso de cruce de vehículos pesados, ya que deben invadir el carril contrario para conseguir radio de giro en las maniobras de entrada y salida de los puentes (figura 18).



Figura 20. Pantallas dinámicas de tipo galería ancladas a la pared rocosa, a la altura del p.k. 161,2

Esto repercute en frecuentes situaciones en que son obligadas las maniobras de retroceso de algunos vehículos.

El nuevo trazado previsto en el Estudio Informativo amplía los radios mínimos, pasando de 15 a 35 metros en los accesos a los puentes, amén de dotar a estas curvas de los sobrecanchos necesarios, y a la vez modifica el eje actual –ortogonal al cauce–, introduciendo uno nuevo girado unos 13°. Como consecuencia se requiere una adecuación de la plataforma en estas estructuras, ampliándola hasta 8 metros. Se han analizado varias soluciones para la adecuación de las estructuras existentes, si bien será objeto del Proyecto de Construcción la definición y ajuste de la tipología final, así como del proceso constructivo que permita el mantenimiento de los accesos.

### Tratamiento de taludes y protección contra desprendimientos

En el Estudio Informativo se han previsto medidas de estabilización de los taludes en algunos tramos del recorrido, aplicando soluciones basadas en la colocación de

bulones y malla, cuya densidad dependerá de la situación y grado de meteorización de la roca en cada punto.

De acuerdo con la Orden de Estudio, en lo relativo a la mejora de la protección de la carretera frente al desprendimiento de rocas mediante la ejecución de pantallas dinámicas, cabe señalar que se ha realizado un completo inventario de zonas con riesgo de desprendimientos sobre la carretera N-621. Con objeto de disminuir el impacto visual de estos dispositivos, en el Estudio Informativo se ha previsto la plantación de vegetación en la base de las mismas para su

enmascaramiento e integración paisajística (figura 20).

### Drenaje transversal y longitudinal

De igual forma, la Orden de Estudio establecía la necesidad de estudiar la mejora del drenaje transversal y longitudinal, compatibilizándolo con la nueva sección tipo.

En consecuencia, se ha realizado un inventario de campo del drenaje de la plataforma actual, y en el Estudio Informativo se ha incluido una propuesta para la mejora del mismo, posponiéndose su diseño definitivo y detalles para estudios posteriores de mayor alcance. En su mayoría, las obras de drenaje actuales identificadas son tubos, algunos marcos, y cuatro tajeas en arroyos importantes: Naveda, Corvera, Urdón y Rumenes.

No se pretende con el acondicionamiento de la carretera la revisión completa del drenaje para adecuarlo a la normativa vigente (Instrucción 5.2 – IC), ya que esto supondría, en general, el emplazamiento de nuevos tubos de hormigón de considerables dimensiones y de cunetas de anchura superior a un metro.

Los criterios para el prediseño de la mejora del drenaje existente en la carretera han sido:

- De acuerdo con la normativa, el caudal de cálculo de todas las obras de drenaje transversal se obtendrá para el periodo de retorno de 100 años.
- Para mejorar la permeabilidad transversal, y por motivos ambientales y paisajísticos, se ha preferido aumentar el número de obras, triplicando el existente en la actualidad, pero con un diámetro ajustado a los caudales reales de cálculo que, por lo general, serán de dimensiones mayores al de las existentes, aunque inferiores a los mínimos de la Instrucción.
- Se propone la integración paisajista de todos los elementos del drenaje (cunetas, aletas de obras, etc.) nuevos y existentes mediante la selección de los materiales y cuidadosa implantación en el entorno.
- Se dispondrá de una nueva cuneta a lo largo del arcén más próximo al monte en toda la longitud del tramo (figura 21).
- Se realizará en el Proyecto de Construcción un dimensionamiento y diseño detallado de cada obra de drenaje, atendiendo tanto a criterios hidráulicos como ambientales.
- Las dimensiones mínimas de los pasos de fauna serán las de un marco de 1 x 0,75 m ó de un tubo de Ø1 m.

Los tres últimos criterios han sido avallados por la DIA y recogidos en la misma.

Cabe señalar que casi la totalidad del tramo carece hoy de cunetas para drenaje longitudinal, pese a que el bombeo de la plataforma conduce el agua hacia los márgenes, en donde se acumula sin posibilidad de ser reconducida hacia la obra de fábrica más próxima. Dado que en ocasiones la pared rocosa se encuentra adosada a la carretera, el agua de escorrentía cae directamente sobre la calzada, encharcándola e incluso inundándola transitoriamente tras un fuerte aguacero.

Tras el análisis del drenaje existente en la actualidad, las mejoras propuestas en el Estudio para que sean diseñadas en el Proyecto de Construcción consisten fundamentalmente en la disposición de una nueva cuneta junto a la ladera a lo largo de toda la longitud, frecuentes tubos pasantes

para complementar el drenaje longitudinal, revisión y acondicionamiento de algunas obras existentes, demolición y clausura de algunas obras de drenaje cuyo estado de conservación es deficiente, y la ejecución de más de 200 obras de nueva implantación. Con ello no sólo se conseguirá mejorar notablemente el drenaje de las aguas, sino también la permeabilidad de los pequeños anfibios.

### Otras actuaciones

**Acondicionamiento de la travesía de La Hermida:** Siguiendo las prescripciones de la Orden de Estudio, se ha previsto la construcción de aceras en ambas márgenes de la travesía urbana de La Hermida (figura 22). De esta forma se prevé incrementar de forma notable la seguridad vial, se ordena el tránsito de peatones, y se favorece la posibilidad de disfrutar de un paseo desde el Bañerío próximo.

**Zonas de estacionamiento y descanso:** en el Estudio Informativo se proponen nueve zonas para miradores – aparcamientos a lo largo del tramo, justificándose su emplazamiento en la necesidad de ordenar la afluencia turística y de pescadores, y aprovechando estos espacios para facilitar información del entorno, teniendo la posibilidad –actualmente escasa– de disfrutar de los escenarios naturales del entorno atravesado.

**Reposición de servicios afectados:** se han identificado los principales servicios e instalaciones existentes que podrían verse afectados por la actuación propuesta en el Estudio Informativo, previendo su reposición. Asimismo, se ha previsto la eliminación de elementos próximos a la carretera (postes telefónicos y eléctricos, tuberías adosadas en los pretilos de los muros, canalizaciones diversas, etc.), con objeto de lograr la “naturalización” de dichos elementos, y, en general, una mayor armonía del conjunto desfiladero – carretera.

## 8. Conclusión

El estudio que se presenta parte de la obtención de un gran conocimiento del medio atravesado y de las demandas de servicio de la zona, y ha buscado una integración de todos los objetivos planteados, sin otorgar mayor relevancia de la que le

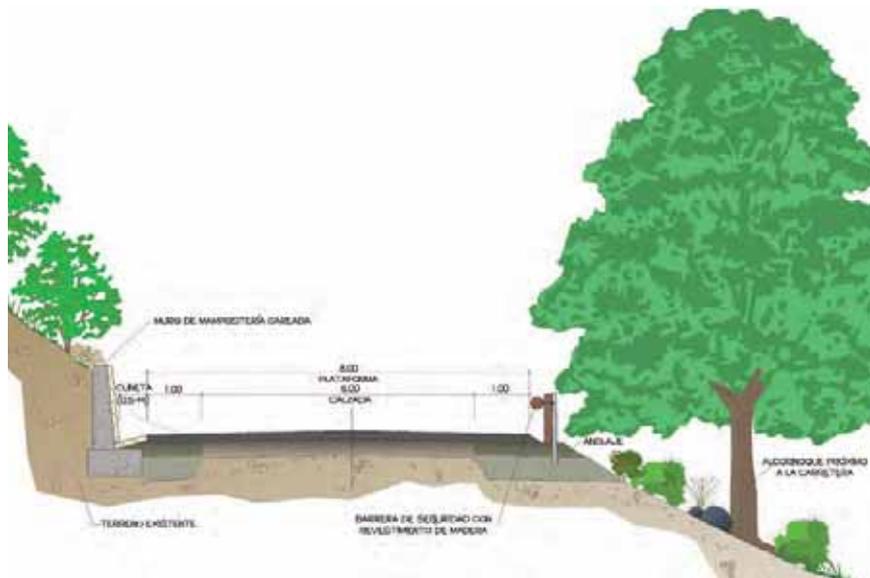


Figura 21. Solución tipo para la implantación de cuneta



Figura 22. Travesía urbana de La Hermida en la actualidad

corresponde realmente en este caso a la consecución de un trazado con parámetros amplios, que hubiera repercutido en impactos y costes inadmisibles. Se garantizan las condiciones de accesibilidad general sin por ello alterar el medio natural. En el Estudio, realizado por un experto equipo multidisciplinar, se ha incorporado la variable ambiental como elemento básico del diseño, orientado con claridad a la obtención de soluciones integradoras y respetuosas. Se ha tratado de conseguir antes la implantación de una plataforma adecuada que un trazado geométrico ambicioso. Todo ello ha sido reconocido por la Declaración de Impacto Ambiental, así como por diversas organizaciones ecologistas de la zona que han feli-

citado públicamente a la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento por la especial sensibilidad manifestada.

El presupuesto de ejecución material estimado para las obras es de 39,8 M€ (1,99 M€/km), lo que es incluso inferior a los parámetros básicos que establece la Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la “Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento”. Asimismo, el estudio realizado es acorde en espíritu y en la letra a lo prescrito por el Artículo 5 de la citada Orden Ministerial de diciembre último, relativo a Estudios Informativos de Carreteras. ❖

# 3M Soluciones seguras para señalización de obras

Invierta en tranquilidad a la hora de señalizar zonas de obra. 3M le ofrece materiales y equipos específicos de señalización vertical, horizontal y balizamiento para mejorar al máximo la seguridad y la fluidez en los tramos afectados.



## La seguridad no tiene precio

Para que pueda planificar y ubicar los elementos de señalización más eficaces para su seguridad y la de los usuarios de la vía 3M le ofrece los siguientes materiales que cumplen la normativa vigente:

### Señalización vertical y balizamiento

Láminas retrorreflectantes

- 3M High Intensity Prismatic™ HIP de clase RA2 Amarillo, o Amarillo Fluorescente
- 3M High Intensity Prismatic™ HIP de clase RA2 Flexible para conos
- 3M Diamond Grade Cube DG<sup>3</sup> de clase 3
- 3M Diamond Grade Cube Amarillo Fluorescente
- 3M Diamond Grade Cube Amarillo Limón Fluorescente

Delineador de barrera metálica o de hormigón 3M LDS

### Marcaje de pavimentos

Cintas retirables para marcaje temporal

- Cinta negra mate para enmascarar Stamark 715
- Cinta amarilla Stamark Series 651, 711, 731 y 721

Captafaros cuerpo Amarillo Serie 291 con marcado CE

Llamada Gratuita

**900 210 584**

3M Centro de Información al Cliente

[www.3m.com/es/Seguridadvial](http://www.3m.com/es/Seguridadvial)

e-mail: [trafico.es@m3m.com](mailto:trafico.es@m3m.com)



Foto: Madrid, Calle 30

# Caracterización de la señalización variable en los accesos e interior de los túneles

Ángel J. Muñoz Suárez  
 Ingeniero de Caminos,  
 Canales y Puertos  
 Subdirección General  
 de Tráfico y Movilidad  
 Dirección General de Tráfico

## Resumen

Las secciones con morfología en forma de túnel, dentro de las infraestructuras viarias, constituyen zonas singulares por sus intrínsecas características. En este tipo de secciones es preciso llevar a cabo, en la mayoría de los casos, tratamientos horquillados y específicos, ya sean relativos a la definición geométrica como a la amplia dotación del equipamiento.

Incluido en el amplio espectro de instalaciones se ha de contemplar, necesariamente como inexcusable, la dotación de la **señalización variable**. Se indica en este artículo la necesidad de realizar la obser-

vancia de unos criterios de instalación, la fijación de unas prestaciones, la definición de unas morfologías, la caracterización de los parámetros o la dotación de unas funcionalidades y todo ello acorde con unas especificaciones y normativas.

Se aboga por eliminar la heterogeneidad, por conseguir una mayor transparencia, por alcanzar una uniformidad, por definir sus acotaciones, por suministrar una mejor comprensión, por conseguir la homogeneidad, y todo ello para lograr una óptima gestión y explotación del tráfico, tanto en los accesos como en el interior del túnel.

**PALABRAS CLAVE:** Señalización variable, túneles, normativa, criterios de implantación, parámetros.

## 1. Introducción

Se localizan e identifican dentro de las infraestructuras viarias secciones que con

morfología en forma de túnel, por sus intrínsecas características, constituyen zonas particulares donde se hace preciso llevar a cabo tratamientos específicos, pormenorizados y singularizados.

Tales secciones con trazado en planta y alzado ajustado u horquillado y de emplazamiento urbano o interurbano son, en general, de difícil y costosa ejecución, de escasos y limitados puntos o zonas de acceso, de problemática evacuación y de singular aplicación de los planes de emergencias. Todo ello acarrea la necesidad de implementar soluciones expresamente dedicadas en todos sus conceptos, y particularmente en los concernientes a las instalaciones y a los equipamientos de control y de gestión.

Cualquiera que sea la sección transversal, dentro del conjunto de las instalaciones y equipamiento siempre existe una señalización fija; sin embargo son muchos los

casos en los que se obvia la aplicación de una **señalización variable**.

Este tipo de señalización permite transmitir la variabilidad del estado del tránsito, realizar la gestión de la señalización de la infraestructura en tiempo presente, y proporciona una respuesta inmediata a las circunstancias, acontecimientos y vicisitudes. Es una herramienta que faculta el desarrollo de la actividad de explotación, de modo que su utilización suministra una aplicación que proporciona e incrementa la seguridad.

La señalización variable ha de ajustarse a una normativa específica que regule su alcance; ha de responder a unos criterios de instalación que precise sus características estructurales; ha de poseer unas características ópticas que se adapten a las condiciones medioambientales; y ha de estar controlada para que responda al ejercicio de la explotación de modo que éste pueda ser ejecutado de forma inmediata, centralizada, homogénea y coherente.

En definitiva, es preciso conseguir su integrabilidad, aquilatamiento, globalidad y uniformidad en cuantas prestaciones se precisen, para así facilitar su óptima comprensión, ya que de este modo se conseguirá el fin expresado en el apartado 2.3.5 del Anexo III del Real Decreto 635/2006, que dice: *“..estas señales mostrarán indicaciones claras que informen a los usuarios del túnel de las eventuales congestiones, averías, accidentes, incendios u otros peligros..”*; lo que, a su vez, es prácticamente la transcripción de lo publicado, en este sentido, en el Diario Oficial de la Unión Europea de 31 de marzo de 2004.

## 2. Normativa

Varios son los pilares a tener en cuenta para implementar una Señalización Variable:

1. De un lado la Directiva Europea 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, contiene los requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
2. De otro, el Real Decreto 635/2006 contiene seis Capítulos y tres Anexos, de los que, para el tema que nos ocupa, se destaca en el artículo 4 de Medidas de Seguridad.
3. Especialmente se ha de citar la Norma Europea EN 12966-1:2005, de Paneles de Mensaje Variable, en vigor desde octubre de 2005, actualmente en estado de revisión en el seno del WG 11 del TC/226 de Europa y que está constituida por tres partes: la primera sobre la definición de las características técnicas, eléctricas, ópticas y medioambientales de la señalización variable; la segunda sobre los ensayos tipo iniciales; y la tercera versa sobre el control de la producción en fábrica.
4. Adicionalmente se ha de tener en cuenta la adenda A1 a la norma EN 12966-1:2005 del año 2006.
5. Y por último, se han de considerar los documentos emanantes del subcomité SC05, del comité C199 de AENOR: Equipamientos para la Gestión del Tráfico, en forma de proyecto de norma española, que obedecen a la codificación

y denominación siguiente:

- PNE 199051-1: Equipamiento y Especificaciones Funcionales.
- PNE 199051-2: Protocolo de Comunicaciones y Base de Datos Unificada.
- PNE 199051-3: Instalación y Puesta en Servicio.
- PNE 199051-4: Métodos de Prueba.
- PNE 199051-5: Conservación y Mantenimiento.

## 3. Definiciones

A los efectos de este artículo se han de considerar las siguientes acotaciones:

**Túnel:** Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación.

**Boca del túnel:** de entrada y salida, es la sección vertical coincidente con la transición de la zona a cielo abierto y la cubierta o dotada de techo.

**Accesos al túnel:** se trata de la infraestructura existente en las secciones inmediatas anteriores y posteriores (túnel bidireccional) a las bocas del túnel, y por tanto no protegidas o fuera de la vertical cubierta. Dentro de la zona de accesos están incluidas las secciones de las bocas de entrada y salida.

**Interior del túnel:** sección protegida comprendida entre las bocas de entrada y salida, sin incluir éstas.

**PMV:** Panel de Mensaje Variable.

## 4. Ámbito de aplicación

Como consecuencia del incremento de la puesta en servicio de nuevos túneles en la Red de Carreteras del Estado Español, gestionada por la Dirección General de Carreteras, se publicó el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado (BOE de 27 de mayo de 2006).

Dicho RD 635/2006 contiene en su preámbulo la aprobación de la citada Directiva Europea y lo hace extensivo no sólo a los túneles de la red transeuropea sino a todos los túneles de la red estatal, estableciendo las competencias a quienes corresponde la seguridad de los túneles.



Foto: Madrid, Calle 30

En cuanto a los Anexos, el Anexo I desarrolla las Medidas de Seguridad a las que se refiere el artículo 4; el Anexo II se refiere a la aprobación del proyecto, manual de explotación, autorización de puesta en servicio de un túnel, modificaciones y simulacros; y finalmente el Anexo III contiene la señalización en túneles.

En el apartado 2.21 del Anexo I del Real Decreto 635/2006 se relacionan los parámetros que hay que tener en cuenta para el equipamiento mínimo según la tipología del túnel:

- Longitud del túnel.
- Tráfico uni o bidireccional.
- Volumen de tráfico por tubo (se calcula como la IMD de cada tubo dividida por su número de carriles, incluida su distribución).
- Localización del túnel (es urbano si esta situado en un entorno urbano, la mayoría de su tráfico es de agitación urbana y el factor de hora punta mayor de 0,80).

En base a ello, el Real Decreto 635/2006 asigna unas dotaciones mínimas cuyo resumen, en lo referente a la señalización variable, se reflejan en las *tablas 1 y 2*, según se trate de túneles unidireccionales o bidireccionales respectivamente:

Se infiere que si bien existe dotación de señalización variable en la mayoría de los casos clasificados, quedan no obstante excluidos algunos.

Por otra parte se observa que falta precisar el tamaño, la morfología, el emplazamiento, la distancia; en suma, los parámetros definitorios que permiten proyectar, diseñar, acotar y plasmar equipamientos coherentes, apropiados y homogéneos.

Con objeto de alcanzar esta deseable homogeneidad y coherencia, de incrementar la legibilidad y comprensión, de proporcionar el necesario control de accesos y del interior en el túnel en aras de incrementar y mejorar el tránsito y la seguridad de la circulación, se considera que, en primer lugar no debe excluirse ningún caso, proponiéndose que, para toda sección, emplazamiento, longitud y tipo y cualquiera que sea la intensidad de circulación, siempre se dote de una señalización variable tanto a los accesos, como al interior del túnel.

\* Diodos emisores de luz.

## 5. Morfología de la Señalización Variable

Para configurar la señalización variable se pueden citar, existen y se utilizan diferentes tipos de dotaciones y equipamientos, con diverso alcance, prestación, versatilidad y características.

Sin embargo, nos vamos a limitar a los usualmente más utilizados y versátiles; se tratarán aquí única y exclusivamente de la señalización variable soportada en los PMV's, con tecnología de LED (*light-emitting diode*) \*, iniciados en España a principios de los años 90.

Estos PMV's han experimentado un amplio recorrido, ligado íntimamente con la evolución de las prestaciones que ha experimentado la tecnología de sus LED constituyentes.

Un PMV, sucintamente, se compone de una carcasa metálica, actualmente sin salientes ni viseras, en cuyo interior quedan alojados un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos cuya visión exterior,

cuando está activado, son los LED, los cuales van soportados sobre placas dotadas con circuitos impresos.

La alineación aislada o agrupamiento de estas placas configuran las zonas alfanuméricas y las zonas gráficas, respectivamente, mediante las que es posible definir el tipo de panel.

La configuración actual más habitual es la de un PMV formado por una zona alfanumérica con tres filas de doce caracteres dispuestos en cada fila dotadas con sólo LED ámbar y una o dos zonas gráficas, en general cuadradas, a todo color, en ambos lados de la zona alfanumérica. Al conjunto se le dota de una orla perimetral de h = 200 mm mínima; otros detalles se pueden consultar en la PNE 199051-1.

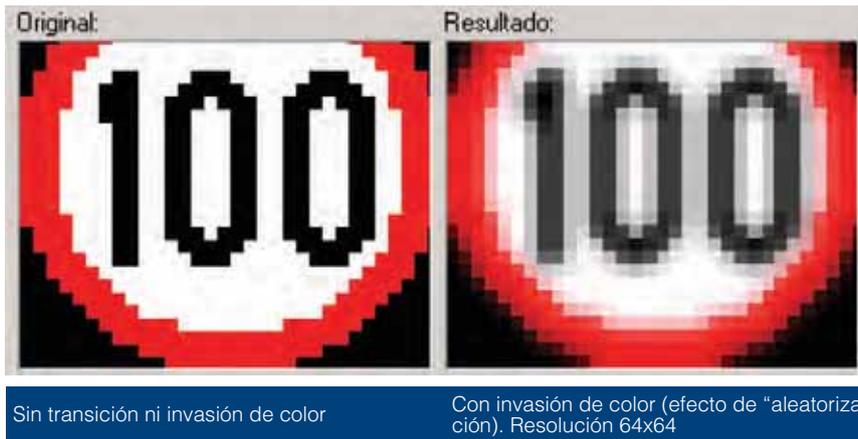
La resolución de las zonas gráficas pueden ser de 32 x 32, 48 x 48 y más recientemente de 64 x 64. Todas estas resoluciones permiten obtener la totalidad de los colores de los pictogramas que constituyen la Base de Datos Unificada (en adelante BDU), según la PNE 199051-2, donde se recogen

Tabla 1. Túneles unidireccionales

Tipo de Túnel	LONGITUD (m)	IMD (veh/día y carril)	Localización	Señalización variable
UNIDIRECCIONAL	> 1 000	> 2 000	Cualquiera	X
		< 2 000	Cualquiera	X
	500 a 1 000	< 2 000	Urbano	X
		> 2 000	Cualquiera	X
	200 a 500	> 2 000	Urbano	X
		< 2 000	Cualquiera	
		< 2 000	Urbano	X
	< 200	Cualquiera	Urbano	X

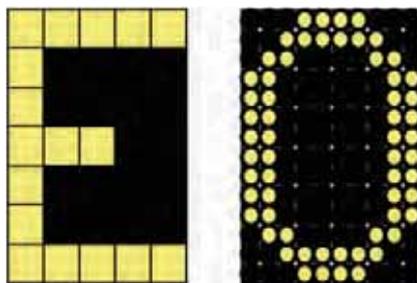
Tabla 2. Túneles bidireccionales

Tipo de Túnel	LONGITUD (m)	IMD (veh/día y carril)	Localización	Señalización variable
BIDIRECCIONAL	> 1 000	> 1 000	Cualquiera	X
		< 1 000	Cualquiera	X
		< 1 000	Urbano	X
	500 a 1000	> 2 000	Cualquiera	X
		< 2 000	Cualquiera	X
		< 2 000	Urbano	X
	200 a 500	> 1 000	Cualquiera	
		> 1 000	Urbano	X
		< 1 000	Cualquiera	
		< 1 000	Urbano	X
	< 200	?	Cualquiera	
		?	Urbano	



todos los pictogramas del Catálogo de Señales de la Circulación y los del Manual de Señalización publicado en el BOE de 13 de junio de 2009. Sin embargo, la resolución 64x64 depara la posibilidad alcanzar el efecto "aleatorización" o transición de color, una mayor nitidez de emisión merced al incremento en el control de la transición, a la delimitación del control atomizado del encendido, y a la suavización en el escalonado de la definición de los pictogramas y del color correspondiente.

Por otro lado, la resolución 64 x 64 proporciona beneficios tales como un espacio o recorrido de legibilidad mayor, ya que al ser muy superior el alcance de la visibilidad, mayor es la integración del pictograma por el ojo humano, siendo por tanto una anticipación en el tiempo de percepción y lectura. Además, se incrementan sensiblemente las posibilidades de comprensión, generando una mayor versatilidad para ejecutar todas las potenciales modificaciones que sean preciso ejecutar en la actividad de la conducción, ya sea ésta ordinaria o extraordinaria en función del acontecimiento objeto de señalización. Se deduce de todo ello un incremento en la seguridad vial.



Las alturas del carácter usadas en la actualidad van desde 210 a 400 mm. Éste es un factor determinante para la

definición de la zona gráfica, ya que dependiendo de esta altura, por aplicación de las distancias entre caracteres contemplados en la norma EN 12966, se pueden deducir los tamaños de acompañamiento de dicha zona gráfica, de modo que el conjunto quede alineado, y, a su vez, se pueda definir el tamaño de los pictogramas que son posibles emitir. (En la *figura adjunta* se muestran dos diferentes controles de encendido, siendo el segundo el del encendido individualizado de cada LED, correspondiente a la tecnología actual).

La utilización de uno u otro tipo de altura de carácter se debe realizar en función del tipo de la vía de circulación sobre la que se actúe, y siempre teniendo en cuenta que las dimensiones mínimas de la altura del carácter de un PMV sean de gran aproximación y acordes con el tamaño de letra y los pictogramas contemplados en la norma de señalización vertical 8.1.-IC (en la *tabla 3* se reflejan las asignaciones de las alturas de carácter para cada tipo de vía).

## 6. Criterios de implantación

### a) Por su emplazamiento:

#### 1. En los accesos al túnel

- En vías de dos o más carriles por sentido de circulación, el PMV dispondrá de dos gráficos y una zona alfanumérica formada por tres filas de doce caracteres como mínimo; y se instalará sobre pórtico, siempre que ello sea posible.
- En vías con un carril, ramales de acceso, incorporación o desprendimiento, el PMV tendrá una zona alfanumérica, como en el caso anterior, y una sola zona gráfica; e irá instalado sobre una banderola emplazada sobre la margen derecha según el sentido de circulación. En ambos casos el PMV dispondrá siempre de integración de una zona gráfica, mediante color directo ámbar y no por medio o mediante mezcla de los LED que configuran un píxel, posibilitándose así una efectiva y homogénea integración.
- La zona gráfica integrable, en un PMV de dos gráficos, estará siempre situada en el gráfico de la derecha, según el sentido de avance.
- En un PMV con una sola zona gráfica, la zona integrable siempre irá dispuesta en la zona izquierda del PMV, según el sentido de avance.
- El PMV instalado sobre pórtico irá siempre centrado respecto a la sección de circulación (carriles y no





Foto: Madrid, Calle 30

arcén), es decir, el eje de simetría del PMV coincidirá con el de separación de los carriles de circulación.

- El PMV instalado sobre una banderola tendrá la zona gráfica del lado de la sección de circulación; y se deberá de tratar en lo posible que el eje de la zona gráfica esté situado sobre el eje del carril de circulación (carril derecho en vías con dos o más carriles).
- En cualquier caso, el PMV debe tener una orientación vertical (el eje ortogonal saliente del campo del PMV ha de interceptar con el de la vía de circulación formando un ángulo de  $6^\circ$  de inclinación hacia delante o en contra del sentido de la circulación) y una orientación en horizontal perpendicular al eje de la vía de circulación.
- Si el PMV de uno o dos gráficos se instala en una banderola, pero en vías dotadas con dos o más carriles, el eje del PMV en horizontal no será perpendicular a la vía sino que formará  $93^\circ$  con su eje de avance. Para conseguir este fin, se debe actuar bien sobre la propia instalación y amarre del PMV a la estructura, o por medio de la aplicación de la citada orientación a la propia estructura portante.
- La señalización variable se ha de intercalar dentro de la señalización vertical fija, si la hubiere.

## 2. En el interior del túnel

- Si las condiciones del gálibo lo permiten se deberá seguir lo indicado en el apartado anterior. Cuando condicionado por las di-

mensiones del tubo a veces no es posible cumplir las condiciones indicadas para los accesos, se deben elegir entre un número de filas o el tamaño del carácter.

En esta disyuntiva, la práctica experimental y actualmente en uso más extendida dicta que es preferible mantener la altura de carácter correspondiente a la de  $h=320$  mm, y eliminar una fila en el alfanumérico, dejándolo reducido a dos filas en detrimento de las tres filas habituales de un PMV.

- Con respecto al tamaño de la/s zona/s gráfica/s, ya vayan aisladas o formando parte de un PMV completo (gráfico más alfanumérico), deben ser cuadradas, y con tamaños que tengan una altura mínima de 1 000 mm.
- En cuanto al grado de protección en el interior del túnel, se ha de tener en cuenta que, si bien lo usual es que no existan efectos de lluvia, sin em-

bargo el ambiente (polvo y contaminación) es mucho más agresivo que en el exterior del túnel; de ahí que se considera que el índice de protección ha de ser máximo, es decir el P3 que se corresponde con un IP66.

- Tanto en los PMV alfanuméricos como en los gráficos del interior del túnel se puede prescindir de la orla, al estar alojadas en un ambiente en el que no existe el efecto de la incidencia de la luz solar.

## b) Separación entre secciones de señalización

Tanto en los PMV de accesos como en los del interior del túnel, la distancia máxima de separación entre secciones de implantación viene condicionada por la visibilidad desde una sección hacia la siguiente; es decir, ante la falta de obstáculos, se ha de cumplir que una señalización variable sea vista cuando se deje de ver la inmediata anterior.

Para ser concordante con la Norma 8.1.- IC, la disposición en planta en los accesos sería la que se indica en el *esquema inferior* que se acompaña, ya que de este modo la señalización variable quedaría intercalada con la señalización fija, dado que ésta considera una señal a 1 000 m y otra posterior a 500 m, y no se produce interferencia ninguna entre ambos tipos de señalización.

En ambas secciones de señalización el PMV tendrá la morfología adecuada al número de carriles de la vía de acceso. Esta disposición se debe de considerar como de mínimos, ya que, en caso de querer alcanzar la gestión del tráfico por

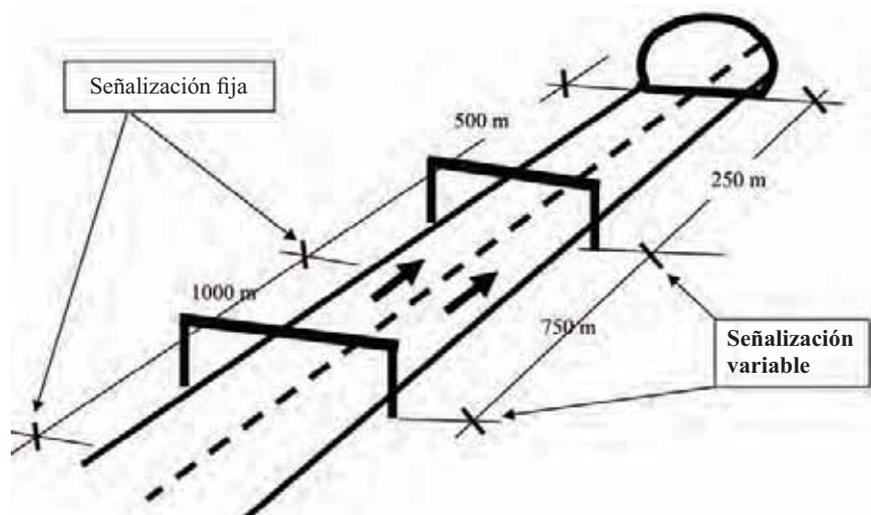


Tabla 3. Alturas de carácter y dimensiones de las zonas gráficas

Tipo de vía	Altura de carácter H (mm)	Dimensiones de los pictogramas en zonas gráficas	
		Diámetro D (mm)	Lado triángulo Lt (mm)
Urbanas, vías de acceso a autovías o carretera convencional sin arcén	210	600	900
Autovías o carretera convencional con arcén	320	900	1 350
Autopistas	400	1 200	1 750



En la imagen se aprecia los accesos al túnel de Guadarrama

carriles individualizados, se debe considerar la disposición sobre las mismas secciones, de las señales variables complementarias de gestión por carril, las cuales son PMV compuestos por zonas matriciales o gráficas.

### c) Por el tamaño de letra:

- Se debe utilizar una altura de carácter que proporcione un tamaño de letra H = 320 mm en todo tipo de vía con dos o más carriles, las cuales se corresponden, en general, con autovías en las que la distancia de visibilidad suele ser superior a 100/200 m, siendo la velocidad máxima de circulación 120 km/h (110 km/h desde el 7 de marzo de 2011).
- En vías en las que las condiciones de visibilidad sean óptimas (superiores a 200 m), o vías conceptuadas como autopista, es recomendable utilizar la altura máxima de carácter, es decir H = 400 mm.
- En vías de incorporación, ramales unidireccionales, o cualquier otro tipo de vía con velocidad de circulación igual o inferior a 90 km/h o con visibilidad inferior a 100 m, el tamaño de carácter puede ser inferior, pero nunca menor a una altura de carácter de H = 210 mm.
- La dimensión de las zonas gráficas viene condicionada por el tamaño de la altura del carácter utilizado y la separación entre las líneas de la zona

alfanumérica, de modo que se puedan alcanzar unas dimensiones para los pictogramas acordes y próximas con las dimensiones contempladas en la norma 8.1-IC de Señalización Vertical, de 25 de julio de 1962.

En resumen estas asignaciones quedan plasmadas en la *tabla 3*.

La visibilidad es un condicionante que ha de ser tenido en cuenta, por cuanto a mayor dimensión de los caracteres y pictogramas mayor es el tiempo de lectura y de reacción, hasta un máximo función del alcance de la percepción del ojo humano o distancia de legibilidad: lo que proporciona un espacio de lectura y comprensión, y por tanto un tiempo de reacción, variables en función de la velocidad y del espacio recorrido.

Estos factores son los que determinan fluctuaciones en la seguridad de circulación, siendo ésta mayor cuanto más y mejor es la distancia de visibilidad y legibilidad, por proporcionar una mayor anticipación en la ejecución de las maniobras de la conducción.

## 7. Parámetros

Los parámetros según la EN 12966, parte 1, sobre los que se estructura un PMV basado en tecnología de LED, son los ópticos o fotométricos y los físicos o medioambientales.

### 1. Parámetros ópticos o fotométricos

Los parámetros ópticos vienen definidas por la luminancia o valor de la intensidad luminosa por m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>), por las coordenadas cromáticas según el gráfico de la CIE de 1931 Standard Colorimetric, por la relación de contraste (relación entre la luz emitida y la luz reflejada por el propio PMV), por el ancho del haz que se mide por el ángulo de visibilidad en grados, y por grado de la uniformidad, que mide la dispersión de emisión de luz entre los LED más brillantes y los más tenues.

La norma EN 12966, parte 1, define todos estos parámetros mediante clases, cuyo resumen se incluyen en la *tabla 4*.

### 2. Parámetros físicos o medioambientales

En cuanto a los parámetros físicos, se miden por unos requerimientos medioambientales, unas prestaciones estructurales y por los requerimientos eléctricos y de compatibilidad electromagnética. Para estos parámetros, la EN 12966 distingue asimismo en clases conforme a lo indicado en la *tabla 5*.

Como en el caso anterior, el dígito mayor significa el más restrictivo, excepto para la temperatura que tiene el siguiente significado:

- Clase T1 - 15 a + 60 °C
- Clase T2 - 25 a + 55 °C
- Clase T3 - 40 a + 40 °C

## 8. Proposición de clases en los PMV

Conforme a todo lo anteriormente reseñados, se proponen las clases siguientes:

### - En PMV en accesos a túnel:

- Para los parámetros ópticos, se proponen las clases adoptadas en el seno del Subcomité SC 05 del Comité 199 y que son las siguientes:
  - Color: C1 y C2 (sólo para el verde)
  - Luminancia: L3
  - Relación de contraste: R2
  - Ancho del haz: B2 o B4
  - Uniformidad: Ambas son válidas
- Para los parámetros medioambientales, las clases adoptadas son :
  - Temperatura: T1 y T2, es decir desde -25 a + 60 °C
  - Polución: D3
  - Resto de los parámetros: P3, V2, U2, W3 y M3, es decir el más restrictivo.

Tabla 4. Características ópticas o fotométricas

Parámetros ópticos o fotométricos	Clase	Notas
Color	C1, C2	C2 es la más restrictiva
	L1, L2, L3	L3 tiene la luminancia más alta
Luminancia	L1(T), L2(T), L3(T)	L3 (T) ídem anterior para su uso en túneles
Relación de contraste	R1, R2, R3	R3 tiene la mayor relación de contraste
Ancho de haz	B1, B2, B3, B4, B5, B6 y B7	B7 es el ángulo más grande
Uniformidad	3:1 y 5:1	

Tabla 5. Parámetros físicos o medioambientales

Parámetros físicos o medioambientales	Clase
Temperatura	T1, T2, T3
Polución	D1, D2, D3, D4
Protección	P1, P2, P3
Protección contra corriente de descarga	V1, V2
Mantenimiento contra corriente de descarga	U1, U2
Conductor de puesta a tierra	W1, W2, W3
Método de puesta a tierra	M1, M2, M3

- **En PMV en interior del túnel**

- Conforme a lo exigido en la EN 12966, del conjunto de los parámetros ópticos la luminancia es el único diferenciador de los PMV de exterior e interior: por tanto, para estar en consonancia con la exigencia de la luminancia de los PMV de exteriores, la luminancia en el interior de los túneles es la L3 (T), es decir también la más restrictiva.
- Respecto al resto de las clases, en túneles se mantienen idénticas prestaciones a las de los PMV del exterior, si bien, en lo relativo a la temperatura, se puede ir a la clase T1, por estar en un ambiente protegido.

**9. Funcionalidades**

No es el lugar para explicitar cuáles son las funcionalidades que un PMV ha de cumplir, pero no se puede dejar de citar que se deberán tener en cuenta todo lo indicado en la EN 12966 y la PNE 199051-: **Equipamiento y Especificaciones Funcionales**.

No obstante, se citan las siguientes por su destacada relevancia y que están recogidas en la normativa citada:

• **Integrabilidad**

**Integración**, que es la capacidad que posee la zona gráfica de un PMV para poder ser utilizada como si de una zona alfanumérica se tratara, lo que faculta la posibilidad de presentar textos alineados con la zona alfanumérica, con idénticas características de luminancia y de color que los caracteres alfanuméricos. Esta funcionalidad permite optimizar los costes y faculta para emitir textos con cuatro caracteres alfanuméricos más por cada fila.

Si bien esta funcionalidad no se encuentra recogida en la EN 12966, se ha de aplicar en todos los PMV que se implanten en

- **Ahorro energético**  
Tanto en la señalización variable de accesos como en la del interior del túnel se han de aplicar las últimas tecnologías y avances con objeto de utilizar los PMV que proporcionen reducciones en el consumo energético. Este tipo de PMV's de bajo consumo no sólo generan un ahorro energético en su primera instalación, sino también y además una mayor durabilidad, una reducción y optimización de los costes de funcionamiento, y una disminución en el control de las tareas de conservación y mantenimiento. Actualmente está en estudio el aquilataamiento del ahorro de consumo tanto en el WG11 de Europa como en el SC05 del Comité 199, si bien en éste existe actualmente un documento redactado en forma de adenda a la PNE 199051-1.

**10. Control de calidad**

No es posible obtener una adecuada señalización variable sin el cumplimiento y vigilancia estricta de la normativa vigente.

A estos efectos, además de tener en cuenta los criterios de implantación, es imprescindible la verificación de la calidad del equipamiento instalado.

Se deben rechazar los productos que no dispongan de la acreditación y marca CE correspondientes, que se obtienen mediante los ensayos descritos en la Norma EN 12966, parte 1, y que han de ser realizados sobre lo que ésta define como módulo de ensayo, que no es sino una muestra a tamaño reducido del PMV al que representa.

El control y verificación de estos ensayos se han de ejecutar en los laboratorios suficientemente acreditados.

Como quiera que el número de los modelos susceptibles de ser fabricados es ele-

vado, se han fijado, a nivel nacional, unas determinadas clases con lo que se limita, acota y facilita el número, alcance y la ejecución de dichos ensayos.

Todas las clases citadas y las prestaciones que se deberían cumplir se encuentran reflejadas en el proyecto de norma española **PNE 199051-1 Equipamiento y Especificaciones Funcionales**, del Comité 199 de AENOR, de aplicación a todo el ámbito nacional de las infraestructuras viarias.

La comunicación con los equipos de control, gestión y explotación reside en el Protocolo de Comunicaciones, para lo que se ha de seguir todo lo indicado en el proyecto de norma española **PNE 199051-2: Protocolo de Comunicaciones y Base de Datos Unificada**.

Alcanzada la calidad en el equipamiento, la composición, morfología y emisión de la señalización emitida en los PMV debe ser homogénea, coherente, uniforme, idónea, acotada y precisa, en definitiva armonizada y con extensión a todo el ámbito del territorio nacional: para lo que se tendrá en cuenta el **Manual de Señalización, publicado en el BOE el día 13 de junio de 2009**, junto con sus correcciones posteriores si las hubiere.

**11. Bibliografía**

- Directiva Europea 54/2004, EN 12966: 2005 y adendum A1.
- Real Decreto 635/2006 (nacional).
- Normas emanadas en el seno del SC05 del Comité 199: Equipamiento para la Gestión del Tráfico.
- "Hacia una recopilación de las condiciones, características y prestaciones de la señalización variable en túneles". Ángel J. Muñoz Suárez, V Simposio de Túneles de Bilbao, 2010.
- Manual de Señalización (BOE del 13 de junio de 2009). ❖

# Publirreportaje

## Redi-Rock™

### Revolucionando la Construcción de Muros de Contención



La situación socio-económica actual nos obliga a seguir implementando soluciones y medidas que optimicen el desarrollo de nuestro entorno, tanto a nivel empresarial, como a nivel social. Las empresas deben desarrollar nuevos sistemas constructivos que no solo aporten soluciones estéticamente correctas sino que, dotadas de la solvencia técnica necesaria, protejan además nuestro medio ambiente y nos permita disfrutar del espacio nos rodea a un precio más competitivo.

**Memorial Parks, S.A.**, lleva 30 años de exitosa fabricación y servicio en **prefabricados de hormigón para obras municipales y Ferroviarias**. Este año presentamos el novedoso sistema constructivo para **Muros de Contención** y muros de pared a doble cara **Redi-Rock™**, productos con perfectas aplicaciones en ámbitos público y privado, **óptimo para carreteras**.

Es una solución para muros económicamente competitiva, estéticamente muy agradable y posee un carácter antivandálico, por lo que cumple con las premisas fundamentales de cualquier proyecto. Todo ello sin perder de vista la importancia de la sostenibilidad medioambiental y la garantía que ofrece el Certificado CE para muros de contención prefabricados.

El sistema tiene gran utilidad, tanto en desarrollos urbanísticos como en Obra Civil, para construcción de carreteras, actuaciones paisajísticas, aplicaciones ferroviarias, acuáticas, y cualquier lugar donde haga falta una solución para muros de contención tanto por gravedad como con muros reforzados, o donde sea necesaria una optimización de superficies útiles. La solvencia técnica de los muros Redi-Rock™ está contrastada, aparte de por los estudios y cálculos de Ingeniería que lo avalan, por los miles de m<sup>2</sup> ya instalados en Canadá, Estado Unidos, Inglaterra, Irlanda e Italia.

En España ya han confiado en nuestro sistema tanto Ayuntamientos como Estudios de Arquitectura y Paisajismo e Ingenierías de prestigio colaboradoras de entidades de tanta envergadura como ADIF, varias Direcciones Generales de

Carreteras, o entidades locales de Desarrollo Urbanístico.

El sistema constructivo Redi-Rock™ funciona como un Lego® con piezas de hormigón prefabricado de 1t. Se pueden construir muros de contención de hasta 9,5 m de altura por gravedad, implica un mayor aprovechamiento del terreno.

Tres características del sistema determinan un ahorro considerable, que puede alcanzar el 30% del coste con respecto a otros sistemas constructivos:

El sistema constructivo **Redi-Rock™** permite reducir considerablemente los plazos de ejecución entre un 50-85% con respecto a otras soluciones, por la rapidez y sencillez de montaje; en muchos casos, simplifica las soluciones prescritas en proyectos que recomienden muros reforzados con los muros por gravedad Redi-Rock™; además, evita la ejecución de inversiones y sobrecostes posteriores para el acabado visto de los muros.

Las ventajas del sistema **Redi-Rock™** se pueden concretar en: Menor coste excavación, menor coste de gestión de vaciados, menor coste de materiales de relleno y drenaje, menor coste de alquiler de maquinaria por plazo de ejecución, menor necesidad de zonas de acopio, menor posibilidad de mermas por roturas y/o robos, menor coste de acabado, menor contaminación en procesos de producción y montaje; Además, mayor rendimiento de superficie útil, mejor calidad de acabado, mejor mimetización con el entorno, mejor plazo de ejecución, mejor solución ante condiciones geotécnicas y meteorológicas adversas, en definitiva, un sistema optimizado económica, técnica, medioambiental, y por supuesto, estéticamente.

En definitiva, es un sistema optimizado en términos de economía, técnica, medioambiente y también estética. Finalmente, dentro del servicio al cliente, Memorial Parks, S.A. realiza primero un estudio personalizado de necesidades para aportar una solución óptima al muro de contención.

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



THE ESSENCE OF  
**NATURAL  
ROCK**

**REDI\*ROCK**  
WALL SOLUTIONS



MEMORIAL  
PARKS



[www.redirock.es](http://www.redirock.es)  
[comercial@memorial-parks.com](mailto:comercial@memorial-parks.com)  
91 411 37 64



# Remodelación del enlace de la A-480 con la A-471 en Sanlúcar de Barrameda (Cádiz)

**Antonio Mora Fernández**  
*ICCP y Director de las obras*

La remodelación, en el que se considera como la puerta principal de entrada a la costa noroeste de Cádiz, supone una mejora sustancial de la seguridad vial, principalmente en la temporada de mayor afluencia de tráfico durante la época estival. La obra, que supuso una inversión superior a los 21,75 millones de euros y dispuso de un plazo de ejecución de 21 meses, consistió en la construcción de un enlace entre autovías (ya que enlaza los itinerarios A-480, Jerez-Chipiona, y A-471, Sanlúcar - El Torbiscal) mediante un ramal principal semidirecto y ramales secundarios de lazos. La

principal modificación se centró en el ramal semidirecto eliminándose la separación de calzadas del eje Chipiona-Trebujena, de forma que se mejora sensiblemente la visibilidad en todo el tramo.

Además, se aleja del centro del enlace la incorporación del ramal semidirecto, de forma que se permite la creación de un nuevo ramal directo Jerez-Chipiona, que completa el trébol central y permite el cambio de sentido desde cualquier dirección.

Para salvar el cruce de los itinerarios Jerez-Sanlúcar con Chipiona-Trebujena se diseñaron dos estructuras gemelas. En el ramal semidirecto, y en un tercer nivel sobre las estructuras anteriores, se diseñó un viaducto prefabricado.

En cuanto a las vías de servicio exteriores, se ha mantenido su trazado en planta, pero su rasante se ha elevado con el objetivo de albergar las obras de drenaje necesarias para la correcta evacuación de las aguas, en cumplimiento de la normativa vigente, de tal forma que durante su utilización como desvío provisional del tráfico durante la ejecución de la obra, se mantuvo la funcionalidad hasta la puesta en servicio de la obra.

Así mismo, y en cumplimiento de la Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía, se procedió a la identificación y estudio pormenorizado del terreno natural subyacente. De ese estudio se desprende que la naturaleza de los ma-

teriales subyacentes de la zona desaconsejaba la utilización de la estabilización con cemento para la coronación de la explanada, tal y como se había proyectado, ya que era de esperar que se produjeran asentamientos significativos, tal y como se indicaba en el anejo geotécnico del proyecto, no siendo recomendable la utilización de capas con alta rigidez por estos movimientos esperados. Por ello, se propuso la sustitución de las capas EST-3 por un estabilizado con cal tipo EST-2 o SC-2, con el consiguiente restudio de los paquetes proyectados.

## Estructuras

### E1 y E2

Formada por dos tableros paralelos e idénticos en el eje Chipiona-Trebujena, tienen un canto variable entre 1,05 y 1,80 m, con un ancho de 16 m, para albergar la calzada principal de la autovía y el carril de trenzado, con las correspondientes medidas de contención de vehículos. Dispone de una sección aligerada en el vano central y una distribución de luces entre ejes de apoyos de 16 – 32 - 16 m, de forma que la



Vista parcial de las estructuras E1 y E2

calzada inferior queda expedita de apoyos en la mediana.

La sección transversal del tablero más plataforma está formada por un tablero de 16,00 de ancho; 3 calzadas de 3,50 m, dos principales y una vía colectora; arcenes de 0,5 m y Acerados de 0,75 m para alojar las barreras. Así mismo, entre la calzada principal y la vía colectora, se ha dispuesto una New Jersey de hormigón. Finalmente

se destacan las impostas de sección circular y que el tablero es postesado y ha sido hormigonado in situ.

Cada estructura está apoyada sobre 10 apoyos de neopreno, dos en pila y tres en estribo.

Para apoyar ambos tableros se optó por una solución de pila única y se evitó la colocación de cualquier otro apoyo en la mediana inferior. Las pilas, ejecutadas in situ,



En la foto se aprecia la estructura E3 (viaducto)

# Infraestructuras Viarias



Vista panorámica del viaducto (estructura E3)

tienen una elegante forma trapezoidal de cantos curvos y aligeramiento central.

Para la cimentación de pilas y estribos se ejecutaron un total de 128 pilotes prefabricados de 40 x 40 cm, alcanzando un total de 2 750 m.

## E3. Viaducto

La superestructura está formada por un tablero curvo de 10 vanos de 27,00 + 43,50 + 3 x 36,0 + 37,50 + 27,00 m de luces de vano y 0,50 m de entregas en estribos, lo que supone una longitud total de 345,30 m. El eje de trazado describe una curva circular de 280 m de radio. La pendiente longitudinal es variable, mientras que el peralte es constante del 5,50%.

La sección transversal del tablero más plataforma está formada por un tablero de 12,00 de ancho, 2 calzadas de 3,50 m, arcones de 1,75 m y acerados de 0,75 cm para alojar las barreras. Las impostas son de sección circular, la losa de compresión ha sido hormigonada in situ, las losas son prefabricadas y la viga curva artesana es hiperestática y prefabricada.

Longitudinalmente, el tablero se compone de un total de 10 vigas. Transversalmente, está formado por una única viga artesana prefabricada postesada. Las vigas tienen 1,70 m de canto, 2,90 m de ancho en el fondo, 4,209 m de ancho en cabeza, 0,22 m de espesor de almas y 0,24 m de espesor de fondo.

Sobre las vigas se dispusieron prelosas prefabricadas de 0,075 m de espesor y celosía incorporada, a modo de encofrado perdido de la losa hormigonada "in situ", que tiene 12,00 m de anchura y espesor variable entre 0,20 m en los bordes del tablero y 0,32 m en su eje. El empotramiento a torsión del tablero en los estribos se realizó mediante la ejecución de riostras "in situ".

La unión entre las vigas hiperestáticas se consiguió a través del postesado de continuidad, bien utilizando tendones postesados convencionales o bien utilizando barras cortas postesadas de alta resistencia.

El tablero se apoya en la subestructura mediante apoyos circulares de neopreno zunchado anclados, con diámetros de 750 a 800 mm y alturas variables en cada pila, y mediante apoyos rectangulares deslizan-

tes de neopreno teflón en los estribos. Así mismo, se dispusieron topes transversales en cada uno de los estribos. El número total de apoyos es de 22 unidades repartiéndose dos por pila y estribo.

La subestructura se compone de nueve pilas prefabricadas de alturas comprendidas entre los 6,80 hasta los 10 m y dos estribos. La sección de la pila es una composición de dos círculos, de 0,55 m de radio, con una hendidura en las intersecciones entre ambos, siendo constante a lo largo del fuste y variable en el capitel, hasta ajustar el ancho del fuste de la pila al del fondo de la viga del tablero. El empotramiento de las pilas en los encepados se realizó mediante el enhebrado de la armadura saliente de las pilas en las vainas corrugadas embebidas en los mismos y dispuestas a tal efecto, y posterior relleno con mortero de alta resistencia para asegurar una correcta conexión.

El peso de las pilas varía entre las 35 y 48 t, mientras que las vigas llegan a alcanzar las 180 t.

La cimentación de la estructura se realizó mediante 124 unidades de pilote prefabricado de 40 x 40 cm de sección, con una

longitud total de 2 684 m, y 2 pilotes in situ, de 1 500 mm de diámetro y 28 m de profundidad en el Estribo 1, debido a la gran altura de tierras del terraplén de acceso.

#### E4. Paso superior A-471

Este paso superior tiene una tipología semejante a las existentes en la A-480. Con la ejecución de este tablero se da continuidad a las vías de servicio del futuro enlace.

Está formada por un tablero recto continuo hiperestático de 3 vanos, de 14,00 m + 32,00 m + 14,00 m de luces de cálculo y 0,50 m de entregas en estribos, y una longitud total de 61,00 m. La pendiente longitudinal es constante del +2,00% y el peralte es nulo.

Longitudinalmente, el tablero está formado por un total de 3 vigas artesas pos-tesadas prefabricadas (dos *cantilever* de 0,50 + 17,75 m de longitud y una de cierre de 24,50 m de longitud). Transversalmente, el tablero está formado por una única viga artesa prefabricada.

La sección transversal del tablero más plataforma está formada por: un tablero de 11,00 m de anchura, con dos carriles de 3,50 m, arcones de 1,25 m y aceras de 0,75 m para la barrera. Además dispone de dos impostas de hormigón, losa de compresión hormigonada "in situ", prelasas prefabricadas y una viga artesa prefabricada.

Las vigas tienen canto variable entre 0,900 m y 1 800 m, anchura variable en el fondo entre 3,723 m y 2,600 m, ancho en

cabeza constante de 3,593 m, espesor de almas también constante de 0,35 m (excepto en los 15,00 m centrales de la viga de cierre que es de 0,40 m) y espesor de fondo constante de 0,240 m. Sobre las vigas se dispusieron prelasas prefabricadas de 0,075 m de espesor y celosía y armadura colaborante incorporadas, a modo de encofrado perdido de la losa hormigonada "in situ".

La losa tiene ancho constante de 11,00 m y espesor variable entre 0,20 m en los bordes del tablero y 0,31 m en su eje. El tablero dispone de juntas de dilatación de 0,075 m en los espaldones con los estribos. El empotramiento a torsión del tablero en los cargaderos se realizó mediante la ejecución de riostras "in situ" y su posterior ancla-



Estructura E4. Paso superior A-471

# Infraestructuras Viarias



Detalle de la estructura E4

je a los cargaderos mediante barras cortas postesadas de alta resistencia.

El monolitismo entre las vigas hiperestáticas se consiguió a través del postesado de continuidad, utilizando tendones de barras cortas postesadas de alta resistencia. El tablero se apoya en la subestructura mediante apoyos de neopreno zunchado convencionales.

La subestructura se compone de 2 pilas prefabricadas de sección circular de 1,30 m de diámetro con rehundidos y encepados hormigonados "in situ" sobre pilotes prefabricados, siendo la altura de las pilas de 6,50 m, aproximadamente. El empotramiento de las pilas en los encepados se realizó mediante el enhebrado de la armadura saliente de las pilas en las vainas corrugadas, embebidas en los encepados dispuestos a tal efecto, y posterior relleno con mortero de alta resistencia para asegurar una correcta conexión monolítica.

La cimentación se ejecutó mediante 40 pilotes prefabricados de 40 x 40 cm de sección, alcanzando una longitud total de 760 m.

## Tierras y firmes

La totalidad de los terraplenes fueron contruidos utilizando la técnica del estabilizado con cal, de forma que se pudieron aprovechar los materiales marginales

existentes en la zona, disminuyendo así el transporte de otros materiales de mejor calidad. Esto supuso que la totalidad de los terraplenes de la obra se ejecutaron con tierras locales, y el volumen de material llevado a vertedero fue mínimo. Todo esto trajo como consecuencia una considerable disminución en el impacto medioambiental de esta obra.

Siguiendo esta política de ahorro de materiales, se aprovechó la totalidad de los firmes y terraplenes del enlace primitivo.

En cuanto a la ejecución de los firmes, se utilizaron materiales de gran calidad transportados desde diferentes canteras de la provincia. Estos fueron subbase y zahorra artificial.

Respecto a las capas de firme, se han distinguido, en función del tráfico futuro, dos tipos. Las vías principales formadas por los sentidos Jerez-Sanlúcar, Jerez-Chipiona, Sanlúcar-Chipiona y Sanlúcar-Jerez, donde se dispondrá de una paquete de 21 cm de mezclas bituminosas en caliente, mientras que en el resto de los ramales será de 19 cm.

A modo de resumen se indican las siguientes cantidades:

- Volumen excavado: 460 000 m<sup>3</sup>
- Volumen de terraplén estabilizado: 600 000 m<sup>3</sup>
- Cal: 24 000 t
- Volumen de subbase: 34 000 m<sup>3</sup>

- Volumen de zahorra: 49 000 m<sup>3</sup>
- Aglomerado: 74 000 t

En el terraplén de acceso al viaducto se realizó una mejora del cimiento mediante la utilización de mezclas drenantes, de forma que se aceleró su consolidación y se evitaron futuros asentamientos, una vez abierto al tráfico.

Finalmente hay que decir que para la construcción del enlace se ejecutaron en primer lugar las futuras vías de servicio, de forma que formaran un cinturón perimetral que permitiera la ejecución de la obra afectando mínimamente a la circulación rodada. Así mismo, se repusieron los caminos rurales existentes de las fincas manteniendo las comunicaciones existentes entre sus propietarios. ❖

Unidades más importantes	
Excavaciones	530 000 m <sup>3</sup>
Terraplén estabilizado	630 000 m <sup>3</sup>
Aglomerado	75 000 m <sup>3</sup>
Longitud calzadas	75 000 m <sup>3</sup>
Tablero estructuras	6 800 m <sup>2</sup>
Pilotes pref. 40x40	6 200 m
Marcas viales	52 000 m
Pórticos señalización	9 u
Banderolas señalización	4 u
Cartelería señalización	600 m <sup>2</sup>
Barreras metálicas	15 300

## Ficha técnica

Promotor:

Junta de Andalucía.  
Consejería de Obras Públicas y  
Vivienda.

Dirección de las obras:

D. Antonio Mora Fernández  
ICCP  
D. Antonio Morillo  
ITOP

Gestión:

Agencia de Obra Pública de la Junta  
de Andalucía

Empresa constructora:

GEA 21 S.A.

Jefe de obra:

D. Emilio Puché Mota  
ICCP

Asistencia técnica:

NARVAL INGENIERÍA S.A.



# Finalizado el último tramo de la ampliación de la A-491 y su conexión con la A-4 en El Puerto de Santa María

**Antonio Mora Fernández**  
*ICCP y Director de las obras*

**R**ecientemente, la Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía ha puesto en servicio el tramo final (Fase 2) de la ampliación de la carretera A-491 y su conexión con la A-4, en el Poblado de Doña Blanca (El Puerto de Santa María). El acto oficial de apertu-

ra contó con la presencia de Dña. Josefina Cruz, titular del citado departamento, acompañada entre otros por el Alcalde portuense, D. Enrique Moresco.

Con esta última fase, la A-491 (de Chipping a El Puerto de Santa María por Rota) conecta directamente con la A-4 por medio de un viaducto de 1 500 m de longitud que evita el paso por las calles del Polígono Industrial de Las Salinas. Se trata de la pue-

ta en servicio de un acceso fundamental a la Costa Noroeste de Cádiz desde la A-4 (Sevilla - Cádiz) y una alternativa que dará fluidez al tráfico local en esta zona norte de la localidad de El Puerto, de carácter comercial y con gran actividad industrial, y que tiene una IMD de 36 000 vehículos.

La ampliación de la A-491 hasta su conexión con la Autovía A-4, a la altura del enlace del Poblado de Doña Blanca, se



Vista parcial de la obra en su fase de construcción

ha dividido para su ejecución en 3 fases, que ha supuesto una inversión total de 35 millones de euros. La llamada fase O, que consistió en la construcción de un puente sobre la antigua N-IV, y la prolongación de ese puente en la fase 1 se encuentran en servicio desde julio de 2009.

A la fase 2, objeto de la presente nota y

que incluye la continuación del puente y el enlace definitivo con la A-4, se ha destinado una inversión de 12,3 millones de euros y ha sido cofinanciada con Fondos FEDER de la Unión Europea.

Estas obras pertenecen al Plan para la Mejora de la Accesibilidad, la Seguridad vial y la Conservación En la Red de Carreteras

de Andalucía, que la Consejería de Obras Públicas y Vivienda viene desarrollando desde 2004 y año límite de 2013.

El Plan MASCERCA tiene entre sus objetivos la eliminación de la conflictividad de los tráficos en el medio urbano, mediante la ejecución de variantes de población y el acondicionamiento de las travesías, buscando la integración de la carretera en un medio en el que el ciudadano demanda habitabilidad y calidad de vida.

### Descripción de la obra

El trazado del tramo que se pone en servicio (fase 2) tiene una longitud total de 1 500 m. El inicio se sitúa en el estribo este del puente ya construido en la fase 1, justo después de que la A-491 cruce por encima de las vías del ferrocarril. El final del tramo se sitúa en el enlace de la A-4 (Poblado de Doña Blanca, que se ha remodelado).

El tramo, que se ha diseñado para una velocidad de 60 km/h, tiene una sección transversal compuesta por una doble calzada con dos carriles, de 3,25 m de ancho, para cada sentido de la circulación, arcenes



54 Vista inferior del viaducto donde se aprecia la esbeltez de la estructura y de sus pilas

interiores y exteriores de 1 m y una barrera de hormigón central a modo de mediana.

Además, se han contemplado 4 glorietas a lo largo del trazado de la obra que mejoran y canalizan el tráfico entre los polígonos de Las Salinas de levante y de poniente, así como el acceso desde la A-4 a El Puerto de Santa María y a los propios polígonos.

Como medidas correctoras de impacto ambiental, cabe destacar la colocación de pantallas acústicas en las barandas del puente para minimizar la afección a las construcciones colindantes, así como la protección de taludes mediante su revegetación.

### Viaducto ejecutado in situ en el Puerto de Santa María Cádiz

El viaducto tiene una longitud de 440 m, con una sección de autovía con dos carriles por sentido con una anchura total de 18,66 m más impostas.

Se trata de una estructura ejecutada "in situ" con losa aligerada postesada apoyada en trece pilas, además de los estribos (14 vanos). Las luces son de 27,5 – 35 - 11 x 31,5 – 25,9 m.

Las pilas tienen una altura máxima de 8,00 m y poseen una cimentación profunda ejecutada mediante pilotes prefabricados hincados. Presentan dos fustes de sección tronco-cónica en forma de "V".

Dada la longitud del tablero y el diseño de las pilas se han dispuesto apoyos de neopreno zunchado en las pilas centrales (5 a 9), mientras que en el resto se han dispuesto apoyos deslizantes en sentido longitudinal, y fijos "elásticamente" en sentido transversal. En el estribo y en el apoyo a media madera se han dispuesto apoyos de tipo esférico: uno unidireccional y dos multidireccionales.

Hay que hacer hincapié que el tipo de apoyo en las pilas laterales ha venido condicionado por su propio diseño: al ser dos brazos inclinados independientes, los apoyos deberían permitirle movimiento en sentido longitudinal, y transmitir las acciones sísmicas y de viento entre ambos fustes, por lo que tanto los apoyos de tipo POT o esféricos no serían aconsejables en este tipo de estructuras en las pilas.



A lo largo de la obra se dispusieron 4 glorietas



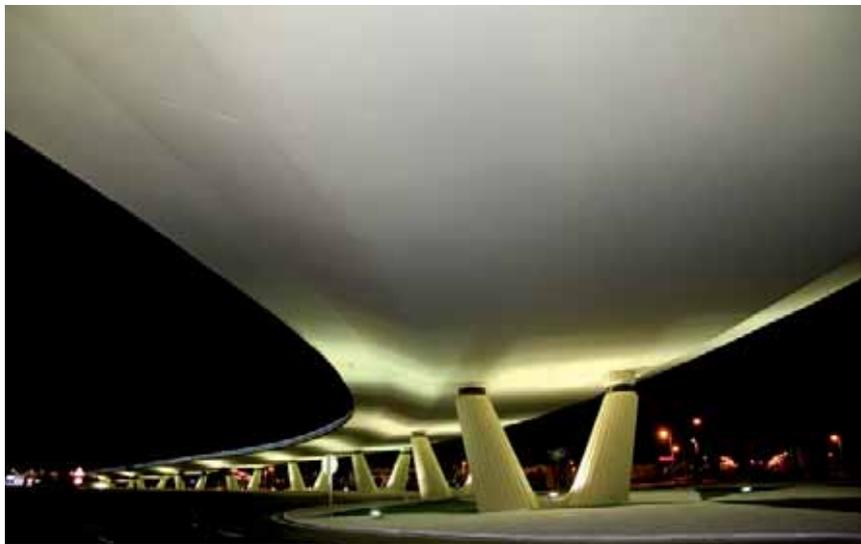
Detalle del encofrado y del acero en pilas



Detalle de apoyo esférico unidireccional



Acopladores del pretensado



Visión nocturna de las pilas iluminadas

Dadas las dimensiones de los apoyos (1 200 mm de diámetro), se recurrió a una empresa suiza para su fabricación, ya que esta empresa permitió realizar los ensayos de comportamiento de este tipo de apoyos frente a acciones sísmicas; en concreto, se

verificó que la distorsión en rotura ha sido siempre superior a 2. En los estribos, donde no existe este problema, se han dispuesto esféricos que garantizan un comportamiento adecuado frente a sismos. ❖

## Ficha técnica

*Promotora:*

**Junta de Andalucía.  
Consejería de Obras Públicas y  
Vivienda.**

*Dirección de las obras:*

**D. Antonio Mora Fernández  
ICCP  
D. Antonio Morillo  
ITOP**

*Gestión:*

**Agencia de Obra Pública de la  
Junta de Andalucía**

*Empresa constructora:*

**AZVI S.A.**

*Jefe de obra:*

**D. Norberto López  
ICCP**

*Asistencia técnica:*

**Idom**



Detalle de apoyo deslizante en pilas



Vainas de pretensado



*Soluciones de prefabricados de hormigón a su medida*

# Nuevo Puente sobre el Río Miño



**GRUPO  
PUENTES**

[www.grupopuentes.com/prethor](http://www.grupopuentes.com/prethor)

# UMETAL

FRONTAGES AND COVERS INTERNATIONAL S.L.



**E**n el año 2005 y como consecuencia del compromiso y la preocupación de armonizar la ingeniería y la arquitectura, entre otras, con el medio urbano y paisajístico, surgió esta empresa que ha impregnado de estas características y perseguido estos objetivos en cada una de sus realizaciones.

Sin duda una de las preocupaciones de la obra pública ha sido, es y será su integración en el entorno. Dentro del sector del equipamiento de la carretera y como complemento, Umetal ha revolucionado el sector del pintado industrial, tal como se entiende tradicionalmente, dejando atrás acabados estéticos de material basados en cartas de color. Umetal, partiendo del diseño gráfico y de la fotografía como valor añadido, aporta soluciones para los continuos problemas de impacto visual y paisajismo, actuando como refuerzo de la imagen de marca o aportando singularidad a una amplia gama de proyectos, así como los relacionados con el mundo de la carretera, como pueden ser las pantallas acústicas, la decoración interior y exterior de túneles, o el forrado de muros de contención.

Por lo tanto, se trata de soluciones globales a proyectos de construcción que integran diseño gráfico y fotografía, gestionando diseño, pintado, material e instalación.

Esta amplitud de servicios, puesto que, además del equipamiento citado, la empresa cubre otros sectores como la edificación, el interiorismo o la rotulación, en un amplio sentido de la palabra, ha requerido la homologación de diferentes materiales tales como, panel sándwich; chapas lisas, minionda, perforada y de aluminio; perfiles especiales, metal expandido (con limitaciones), policarbonato y composite que esta empresa ofrece al mercado con diseños a medida para cada proyecto y en colaboración con los clientes a los que ofrecen un servicio integral y personalizado.

Empresa:  
**UMETAL**  
Frontages & Covers International, S.L.

Direcciones:  
C/ Gorbeia, 11-21  
Poligono Lezama Leguizamón  
48450 ETXEBARRI -Bizkaia/Vizcaya  
Tfno: +34 94 426 00 85  
Fax: +34 94 606 0040  
umetal@umetalfc.com

Año fundación:  
**2005**

Sectores:  
**Obra civil, urbanismo, edificación e interiorismo y rotulación**

Aplicaciones:  
**Obra civil: Pantallas acústicas, revestimientos de muros de contención y estaciones de trenes, tratamiento estético de boquillas de túneles, accesos peatonales, cerramientos, etc.**  
**Edificación: Medianeras, naves industriales, fachadas singulares.**  
**Señalización: Carteles, señales y stands.**  
**Interiorismo: Ascensores, mobiliario, murales decorativos, paneles divisorios, puertas y piezas decorativas.**

## Obra Civil

### Pintado digital en pantallas acústicas

Partiendo de tecnologías propias de las artes gráficas, y con el objetivo de dar un aire renovador y dinámico al sector de la construcción, Umetal da un paso más aplicando un pintado digital, denominado Umetalcoat, que se realiza sobre pantallas con el objetivo de lograr la integración visual y paisajística en su entorno y que sirve tanto para fachadas y cubiertas como para interiorismo y obra pública (pantallas acústicas, interior de túneles, forrado de muros de contención, etc.). El pintado reproduce motivos vegetales o fotomontajes variados y es aplicable sobre un largo abanico de materiales para interior como para exterior, ya sean rígidos o flexibles (metacrilato, chapas varias, panel sándwich, panel composite, chapa lisa, chapa perforada, chapa minionda, madera, hpl, etc.). El proceso de fabricación, único en el ámbito de los acabados superficiales, destaca por estar orientado a dar respuesta a dos necesidades fundamentales: el gran formato y la alta resistencia en exteriores, y, además, está indicado para soportar los rayos UV y es capaz de resistir la corrosión durante más de 10 años.

La impresión máxima es de 2,05 m de ancho y 8,20 m de largo en una sola pieza, pero también de ancho y largo ilimitados mediante la colocación de paneles. El grosor máximo de la impresión es de 8 cm. Las tintas que se utilizan son pigmentadas especiales curables mediante luz UV tanto para interior como para exterior.

Tras la impresión se da un tratamiento superficial protector y antivandálico que permite que perdure el color sin alteración ni desgaste durante años, tal y como confirman los ensayos realizados. Estas cubriciones de las pantallas acústicas ofrecen unas características que hasta ahora eran difíciles de solventar, ya que se pueden limpiar los grafitos bajo pautas específicas, aunque el propio diseño ya disuade a los grafiteros por no ofertar lienzos en blanco sino imágenes sobre las que no acostumbran a actuar. Además protegen la imagen de los rayos ultravioleta y de la corrosión y se convierten en elementos de integración



Pantallas acústicas en la A-8

visual de la obra civil en ámbitos naturales, consiguiendo transmitir sensibilidad por el entorno y mayor aceptación de las obras civiles o diversas arquitecturas.

Finalmente, se destaca que el proceso aporta la posibilidad de armonizar vi-

sualmente cualquier espacio, planteando soluciones de continuidad en materiales o mimetizando paisajes preservándolos de focos de contaminación visual, a través de un servicio integral, que comprende estudios personalizados de diseño gráfico y

# Empresa y Tecnología



Pantallas acústicas en Gernika y Galdakao

fotografía para llevar a cabo proyectos que encajen en muy diferentes entornos y circunstancias.

Como ejemplo de obras realizadas, se destaca la aplicación de diversos motivos fotográficos de la ría de Bilbao en las pantallas acústicas de la A-8, a su paso por la mencionada ciudad, o en la variante de Gernika, así como los paneles decorativos en la pasarela de Plencia.

## Revestimientos de túneles

Otra de las muchas realizaciones que hay que destacar fue la aplicación del revestimiento de boquillas en el túnel del Corredor del Cadagua, Autopista Supersur de Bizkaia, por medio de paneles sándwich con acabado Umetalcoat y finalizada el año pasado para Interbiak.

Se trata de la primera obra de arte digital aplicada en una infraestructura civil, y la mayor que se realiza a nivel europeo; de ahí deriva la importancia del revestimiento de las entradas de los túneles de Arraiz (Vizcaya), dentro de la Variante Sur Me-

tropolitana de Bilbao, más conocida como "Supersur". Como alternativa a la costosa realización de un falso túnel, la dirección de obra optó por la adopción de una solución de integración estética para la intersección de talud y túnel. La propuesta finalmente seleccionada fue suministrada por Umetal, y consiste en una obra plástica mural firmada por el artista Jesús Jáuregui.

La obra supuso más de 3 400 m<sup>2</sup> de obra gráfica y artística, diseño de muros y caseta de control.

La propuesta técnica de Umetal consistió en la colocación de una subestructura de acero galvanizado sobre la que se coloca panel sándwich, de 60 mm de espesor, con aplicación de "Umetalcoat" para exteriores, un sistema de pintado digital que posibilita el uso de diseños artísticos y fotografías de gran formato.

El revestimiento de las entradas consistió en el replanteo de las zonas que había que revestir de acuerdo a los planos de diseño, montaje de la estructura de soporte y paneles sándwich. La armadura final está compuesta por una estructura reticular formada por tubos de acero galvanizado de 50 x 50 x 2 mm verticales con una separación de 3 m, fijados al muro mediante tubos de acero galvanizado con placas de anclaje, fijadas a las vigas de atado mediante anclajes M10 x 90 mm y tubos de acero galvanizado de 60 x 30 x 2 mm soldados a los tubos verticales,

con una separación entre estos de 2 m.

Además, el perfil inferior en forma de U está compuesto de una lámina de acero galvanizado de 1,5 mm de espesor, 55 mm de ancho y 50 mm de alto, pre-mecanizado para su fijación y drenaje de perfil, que posteriormente fue lacada en color blanco y fijada al tubo horizontal inferior mediante tornillos 5,5 x 32 DIN 75041-K de acero galvanizado.

En cuanto al perfil intermedio, está compuesto por un perfil en forma de J y otro en L, de acero galvanizado lacado en blanco; y por lo que se refiere al perfil de coronación, este se compone de un ángulo de acero prelavado en color de panel, que cubre la parte superior del panel.

Finalmente, el panel sándwich, instalado en forma vertical a diferentes alturas, está compuesto de dos chapas y un relleno de lana de roca de 60 mm de espesor, y del que podemos destacar, entre otras características, que su lámina externa es de acero de 0,7 mm y posteriormente lacada, para evitar la corrosión, con color blanco; y que en su interior se encuentra el aislamiento, compuesto por lana mineral hidrófuga, colocada perpendicularmente a los planos determinados por la chapa exterior, y una lámina interna de acero galvanizado, de 0,7 mm de espesor prelavado que cubre la parte trasera del panel en su parte no visible.

## Otros sectores

### Edificación

Dentro del sector de la edificación, Umetal ha perseguido aunar originalidad, armonía y durabilidad como lo muestran las



Fachada de la nueva ampliación del Ayuntamiento de Bilbao

realizaciones llevadas a cabo en el Edificio Garbiker, la planta de Aernnova en Toledo y Berantevilla 1 y 2, el Museo de Arte Contemporáneo de Alicante, el edificio Fátima en Enekuri o las naves Staples Kalamazo, Unialco y Relax, así como diversas naves industriales para diversas empresas en Tudela, Muskiz, Boroa, Galdakao, Barakaldo, etc., en Navarra y País Vasco.

### Urbanismo

También, en el sector del urbanismo y dentro de la amplia gama de productos y servicios, se destacan los paneles decorativos instalados en la Pasarela de Plencia, en los frontones municipales de Las Carreras y Ortuella, el acceso peatonal Elkargunea Zubi Aurre-Azkoiti (Azkoitia), el mercado de La Ribera en Bilbao y una completa y amplia gama de señalizaciones en diversos parques en el Norte de la península.

### Interiorismo

Finalmente y no por ello menos importante, también hay que destacar las actividades llevadas a cabo dentro del sector del interiorismo como la realización de diversos murales decorativos en diversas edificaciones privadas y empresariales.

En definitiva y como resumen de sus aplicaciones, la actividad de Umetal se dirige a accesos peatonales, ascensores, carteles, cerramientos, espacios urbanos, fachadas singulares, integración visual, medianeras, mobiliario y mobiliario urbano, murales decorativos, naves industriales, pantallas acústicas, paneles divisorios, piezas decorativas, puertas, revestimientos, señales, stands.



Revestimiento de las entradas a los túneles de Arraiz

### I+D+i

También hay que destacar que dentro del continuo proceso de investigación y desarrollo que esta empresa ha llevado a cabo, tanto sus materiales como sus procesos se encuentran certificados. Como es lógico, Umetal se encuentra certificada de acuerdo a la norma ISO 9001 y todos los ensayos y materiales utilizados responden

a las exigencias de sus respectivas normas UNE EN ISO, así como las propias que la empresa aplica a cada una de sus actividades.

Finalmente, tan sólo queda destacar que esta empresa seguirá combinando técnica, plástica y arte con el fin de humanizar e integrar ingeniería y arquitectura con el paisaje natural y urbano, en busca de la armonía necesaria para el desarrollo de nuestras vías y ciudades. ❖



Mural interior-Dibond



Fachada edificio Aceites Urzante

Jornada técnica sobre

# El estado actual de los sistemas de información geográfica: aplicación a la ingeniería civil



**Belén Monercillo Delgado**  
*Secretaría Técnica de la ATC y*  
*Directora Técnica de la Revista Rutas*  
**D. Rubén Martínez Marín**  
*Catedrático de Topografía y Geomática*  
*de la ETSICCP de Madrid*

### Sesión 1. Estado actual de la tecnología en Modelos Digitales del terreno

El 16 de junio de 2011 y en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid tuvo lugar esta jornada promovida por Ministerio de Fomento y organizada por la ATC, con la colaboración de Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. La dirección técnica de la jornada estuvo a cargo de **D. Rubén Martínez Marín** y **Dña. Belén Monercillo Delgado**.

La mesa de inauguración estuvo presidida por **D. Guillermo Vila Alcázar**, *Subdirector General del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento*; **D. Sandro Rocci**, *Vicepresidente de la Asociación Técnica de Carreteras*; y el mencionado **D. Rubén Martínez Marín**.

Moderada por **Dña. Belén Monercillo**, de la ATC, la jornada comenzó con la exposición de la ponencia “**El estado actual de la tecnología en Modelos Digitales del Terreno**”, de **D. Rubén Martínez Marín**, de la ETSICCP, quien comenzó definiendo el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) como estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (elevación-MDE, temperatura, etc.). Seguidamente los clasificó en función de la naturaleza de los datos: modelos vectoriales (TIN, String, etc.), en que las entidades son objetos cuya geometría es conocida (punto, segmento, polilínea, etc.) y modelos raster (imágenes) cuya entidad básica es el pixel. También los clasificó atendiendo a la estructura de los datos: red irregular de triángulos (TIN), so-

lamente aplicables a modelos vectoriales, y retículas regulares (rejilla o malla de paso constante) aplicables tanto a los modelos vectoriales como a los raster.

A continuación y comparando los raster frente a los vectoriales, subrayó las ventajas de su excelente cálculo de gradientes, sombreado, aspecto, etc., que supone una mejor adaptación a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y superposición con imágenes de teledetección, pero tenían como inconvenientes que requiere una gran cantidad de memoria y se ajusta peor al terreno. También hizo lo propio comparando la rejilla frente a TIN, presentando como ventajas que en las condiciones anteriores son modelos de respuesta rápida y son simples de programar y desarrollar; como inconvenientes, que no mantiene la integridad de los datos de partida; y que, si variamos el paso de malla con los mismos datos, se obtienen diferentes curvas de nivel: si crece la densidad de la malla, el tiempo de

proceso aumenta exponencialmente.

Posteriormente presentó el proceso de adquisición de datos. En los modelos raster: imágenes de satélite (banda visible o no visible) y escáner de imágenes existentes en papel; y en los modelos vectoriales: taquimétrico (ET, fotogrametría y restitución, GPS), archivo de puntos (LiDAR, LaserScan, etc.) y escáner y vectorización de datos existentes en papel.

También la adquisición de datos los clasificó en métodos directos o medida directa de la cota o altitud, como ET, GPS, LIDAR, LaserScan, etc., y métodos indirectos o medida sobre imágenes u otros medios: fotogrametría digital, estereomágenes de satélites, interferometría radar (DinSAR, InSAR, etc.), escaneo de imágenes y vectorización manual o automática y digitalización sobre pantalla

Continuó su intervención presentando las líneas de investigación que se están llevando a cabo en el control de movimientos en obras de ingeniería civil (GPS diferencial, láser escáner, radar de apertura sintética-SAR), SIG y teledetección aplicados a la ingeniería civil y ambiental (SIG y teledetección aplicados a la hidrología: balance hídrico, erosión hídrica y ordenación



Mesa de la primera sesión, que fue presidida por Dña. Belén Monercillo

del territorio) y teledetección del patrimonio cultural (sitios arqueológicos, vulnerabilidad y riesgo).

Finalmente y dentro de los MDT aplicados a la ingeniería civil, destacó la generación y optimización de MDT, la optimización de algoritmos para generar MDT a partir de datos LiDAR y la simulación hidráulica en MDT fluviales.

A continuación se presentó el tema **“El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Aplicaciones de la tecnología LiDAR a la ingeniería civil”**, de **D. Jorge Martínez Luceño**, **D. Juan Carlos Ojeda**, (ponente), **D. Guillermo Villa**, **D. Eduardo González**, **D. Pedro Muñoz** y **D. Julián González de Rivera**, del *Instituto Geográfico Nacional*.

El IGN promovió la creación del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), que surge con el fin de coordinar las actuaciones de las distintas Administraciones Públicas en la obtención y difusión de información del territorio, con el fin de 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; y cumplir con la Directiva europea INSPIRE. EL PNOT se estructura en 3 Planes Nacionales: el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), el Plan Nacional de Teledetección (PNT) y el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), coordinados por IGN. Este proyecto se desarrolla en dos fases: a) obtención de imágenes de satélite y aéreas de todo el Estado español (proyectos PNT y PNOA) y b) extracción de información relativa a la ocupación del suelo (cobertura y uso) a partir de las imágenes capturadas en la primera fase (SIOSE).

El PNOA nace en el año 2004, con el objetivo de aplicar la directiva INSPIRE a la Observación del Territorio. Su aparición 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. Su finalidad es la captura periódica de imágenes aéreas de todo el territorio nacional con tamaños de pixel de 0,22 o 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 se pueden consultar en la página web del proyecto PNOA, a la que se accede a través de la página web del IGN: [www.ign.es](http://www.ign.es)

Entre los proyectos más destacados



D. Rubén Martínez en un momento de su intervención

## Simposios y Congresos organizados por la ATC



D. Jorge Martínez Luceño



D. Juan Carlos Ojeda

que se pueden consultar por Internet y en los cuales se emplean las ortofotos producidas en PNOA están: IBERPIX (visor del Instituto Geográfico Nacional), SIGPAC del Ministerio de Medio Ambiente, la Sede Electrónica del Catastro, la IDEE, Cartociudad, 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): [www.cnig.es](http://www.cnig.es). En esta página se pueden descargar además, Modelos Digitales de Elevaciones con paso de malla de 200 m y 25 m.

Tras explicar que, desde el año 2004, el PNOA ha completado 3 coberturas de toda España, 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, pasó

a presentar los fundamentos de la tecnología Lidar (*Light Detection And Ranging*) y la labor, los fundamentos y los resultados que se consiguen por el Lidar aerotransportado que 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.

Posteriormente se detuvo en la cobertura Lidar en España y destacando que, entre los logros del proyecto PNOA, 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.

Finalmente expuso a los asistentes cómo se realiza el aseguramiento de la calidad y su control en la cobertura PNOA-LiDAR, explicó cómo se produce el flujo de trabajo en la captura y procesamiento de los datos LiDAR y que, una vez obtenida la nube de puntos LiDAR clasificada, se genera el Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la clase terreno, añadiendo que además el IGN tiene en marcha

estudios para generar productos de valor añadido con esos datos, como son: nube de puntos LiDAR con información RGB obtenida de las fotografías aéreas, modelización de ciudades 3D y estudios de cuencas hidrográficas.

Más adelante presentó las aplicaciones de la tecnología Lidar a la ingeniería civil, como por ejemplo para el cálculo de cubificaciones en movimientos de tierras, determinación de curvas de nivel y de secciones longitudinales, identificación de zonas inundables, estudios de drenaje, generación de mapas de ruido y análisis de impacto visual, etc.

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.

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.

**“Los Sistemas de Información Geográfica y las Infraestructuras de Datos Espaciales: adquisición, estructuración, gestión y modelización de la información”**, de D. Miguel Marchamalo Sacristán, D. Juan Carlos Ojeda Manrique y D. Rubén Martínez Marín, de la ETSICCP, informó a los presentes que en la actualidad existe un acceso amplio y creciente a la información relevante para la formulación, gestión y evaluación de proyectos en ingeniería, caudal de información que debe ser tratado de manera que se optimice su uso y se permita la combinación de distintas fuentes. Una de las características más ha-



D. Miguel Marchamalo Sacristán



D. Álvaro Navareño intervino con las "Aportaciones de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión de los firmes y puentes de carretera"

## Sesión 2. Aplicaciones de los SIG a la gestión y monitorización de la obra civil

También moderada por **Dña. Belén Monercillo**, de la ATC, comenzó con la exposición de la ponencia "**Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión de los firmes y puentes de carreteras**", de **D. Álvaro Navareño Rojo**, del *Ministerio de Fomento*; **D. Luis Fernández Seoane**, de *Getinsa*; y **Dña. M<sup>a</sup> Luz Ramírez Marín** y **Dña. Ana Belén Menéndez Corral**, de *Geocisa*. El primero de los autores explicó que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que facilitan la preparación, el análisis y la gestión de la información resultante de la gestión de firmes y puentes de carreteras se configuran como un soporte geográfico que facilita y mejora el conocimiento de la red de carreteras y la toma de decisiones sobre ella; de ahí su importancia. Esta tecnología representa una mejora en todos los aspectos del proceso de Gestión, puesto que esta tecnología parece ser la forma lógica de relacionar la diversidad de datos que se manejan en el Sistema de Gestión de Firmes (SGF) y en el de Puentes (SGP). Además, dota a los Sistemas de Gestión de capacidades de visualización, análisis y actualización de los datos más eficientes que las conferidas por otro tipo de tecnología.

bituales en la información actual es la georeferenciación. El desarrollo de las aplicaciones de las tecnologías GPS-GNSS y su incorporación a numerosos aparatos e instrumentos a un precio asequible, cámaras fotográficas, navegadores, móviles, etc., permite georeferenciar prácticamente toda la información de la práctica profesional.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han desarrollado en las últimas décadas con una tendencia clara hacia la interoperabilidad y la integración de las fuentes de información disponibles, evolución que ha llevado al desarrollo reciente de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), con la publicación en web de datos geográficos y la información y servicios asociados a ellos. Todo ello se enmarca en la Geomática, que es un campo emergente, como consecuencia de los avances en informática, comunicaciones y medición, así como en el campo de la de teledetección espacial. Por ello, en su exposición presentaron los SIG y las IDE en el marco de los proyectos de ingeniería, analizando las posibilidades de integrar y estructurar la información en el marco de estas tecnologías, con especial atención a los proyectos de infraestructuras lineales.

Los SIG son herramientas fundamentales en la planificación territorial, formulación y evaluación de proyectos de ingeniería cuyas aplicaciones a carreteras son muy variadas, incluyendo aplicaciones útiles en la formulación, el diseño y la evaluación de proyectos. Su evolución trae consigo nuevas posibilidades ya que facilita su empleo

en dispositivos móviles con GPS, como PDA, móviles y ordenadores portátiles para el inventario en tiempo real e incorpora todo tipo de información, incluidas fotografías tomadas en campo. Asimismo potencia el empleo creciente de navegadores equipados con GPS y SIG vectorial en logística, vehículos industriales y privados y posibilita compartir información con clientes, usuarios en plataformas como Google Earth, publicando la información en formatos como KML y KMZ. Finalmente también permite la publicación de la información en Infraestructuras de Datos Espaciales, de forma que puedan ser consultada y empleada desde Internet.



D. Carlos Casas Nagore durante su intervención con el tema "Los SIG en la gestión de la conservación integral de carreteras mediante plataforma WEB"

## Simposios y Congresos organizados por la ATC



D. Julio Amarillas



D. Jesús Antoñanzas Glaría

En el caso del SGF y el SGP de la RCE, la incorporación de un SIG al sistema facilita el conocimiento del patrimonio objeto de la gestión (RCE); faculta al gestor para hacer uso de todos los datos disponibles (datos de firme, auscultaciones, tráfico, así como fichas de inventario de puentes y de inspecciones, así como informe generados sobre obras de paso especiales). Además, permite la elaboración de matrices de datos que servirán de base para la generación de modelos predictivos del comportamiento en el caso de los firmes, así como la difusión de mapas temáticos entre los distintos actores de la gestión (estado actual de la red, características del firme o de los puentes y actuaciones de rehabilitación).

En definitiva, la integración de los SIG en el SGF y en el SGP de la RCE hace la gestión más eficaz en la medida en la que permite a los gestores una toma de decisiones más precisa, gracias al conocimiento que les brinda sobre la red de carreteras; más eficiente, en cuanto que permite aprovechar y pone en valor los ingentes volúmenes de datos e información existentes sobre la red de carreteras; y más participativa, ya

que facilita la difusión de información y mapas temáticos entre los distintos actores involucrados en la gestión.

Más adelante, se presentó el tema **“Los SIG en la gestión de la conservación integral de carreteras mediante plataforma web”**, expuesto por **D. Carlos Casas Nagore**, y **D. Jesús Antoñanzas Glaría**, del *Ministerio de Fomento*. Ambos expusieron los sistemas de gestión de Vialidad y de la Conservación Ordinaria mediante la utilización de plataformas web, que consiguen que la gestión de las distintas empresas de conservación integral sea uniforme y coordinada, amén de poder acceder a la información básica desde cualquier lugar que tenga conexión a Internet. Expusieron casos prácticos de gestión, mediante el uso de la Agenda de Vialidad y de la GSM para el caso de la conservación ordinaria, todos ellos referidos a la Plataforma de gestión de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón.

En este tipo de plataformas de gestión es necesario disponer de información geográfica, que, si bien no requiere elevada exactitud, debe ser fácilmente accesible desde Internet, actualizada permanentemente y barata. Por ese motivo, todos los ejemplos desarrollados trataron sobre *Google Maps*, y *Street View* como complemento. Finalmente, se indicaron las características técnicas de *Google Maps*, y sus ventajas para su utilización en este tipo de sistemas de gestión.

### Sesión 3. Comunicaciones libres

Moderada por **D. Adolfo Güell Canela**, del *Ministerio de Fomento*, comenzó con la presentación de las **“Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión integral de carreteras”**, de **D. Julián Asenjo** (ponente) y **D. Antón Castellá**, de *ATJ Consultores*, en la que se mostró sucintamente la aplicación de gestión de infraestructuras, vía web desarrollada por esa empresa, y denominada SIGI (Sistema Integral de Gestión de Infraestructuras), así como sus módulos: proyecto y estudios, expropiaciones, patrimonio, control y vigilancia, conservación y explotación.

Más adelante y con las **“Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión de la señalización de carreteras”**, **D. Julio Amarillas**, de *IPS VIAL*, comenzó su intervención presentando el sistema InCa para la gestión de la señalización, que es un Sistema de Información Geográfico para la Gestión de Inventarios de Señalización Vertical y Horizontal, desarrollado con el motor gráfico de InCa Urbano, y utilizado en más de 20 grandes ayuntamientos de España. Expuso su experiencia y relación con el Inventario de la RCE, e informó que el año 2010 la empresa *IPS VIAL* concluyó el inventario de señalización vertical en la Red de Carreteras del Estado con un ámbito de actuación de 7 302 km de autopistas y autovías, 15 950 km de carreteras convencionales y un total de 10 120 enlaces. Durante más de dos años de trabajo se han incorporado al programa mencionado un total de 644 403 Señales y 119 852 Carteles.

Para finalizar aclaró que el sistema está



D. David Gascón



Para finalizar la jornada de mañana se celebró un animado coloquio que dio por finalizada la sesión

preparado para trabajar con ortofotos, permite exportar toda la información gráfica de los elementos existentes a *Google Earth*, puede crear planos temáticos a partir de las consultas generadas por los usuarios y que InCa WEB permite la carga de las ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) del Instituto Geográfico Nacional y permite al usuario obtener información de los carteles de orientación existentes en el inventario.

“*gvSIG aplicado a la gestión de carreteras*” fue el tema elegido por **D. Álvaro Anguix**, de la *Asociación GVSIG*. Comenzó el ponente por informar sobre el origen y evolución del *gvSIG*, que nació en 2004 en la Conselleria de Infraestructuras y Trans-

porte, dentro de un proceso de migración a software libre con el fin de disponer de un completo SIG capaz de sustituir a las aplicaciones privativas y con dos productos generales: *gvSIG Desktop* (PCs) y *gvSIG Mobile* (dispositivos móviles). Todo ello bajo licencia GPL/GNU.

Hoy en día ha demostrado una rápida evolución de la Comunidad *gvSIG*, apoyada en la Asociación *gvSIG* (2009) y continúa creciendo, habiendo sido traducido a más de 25 idiomas, con descargas en más de 90 países, etc.

Se trata de un producto Multiplataforma (Windows, Mac OS X, Linux), multi-idioma, fácil de usar con un entorno amigable y personalizable, con acceso a múltiples for-

matos vectoriales y a servicios remotos con sistemas de referencia coordinados, salidas gráficas, ediciones gráficas alfanuméricas, procesamiento de imágenes, análisis de redes, etc.

En cuanto a *gvSIG Mobile* es un completo SIG idóneo para realizar el trabajo de campo con visualización (diversos formatos, gestión CRS), simbología y etiquetado, soporte GPS manual y automático, edición, selección y búsqueda, acceso IDE/OGC (wms, wfs...), etc.

Tras ello, definió las particularidades del SIG de carreteras, presentando las herramientas para gestión de redes y la segmentación dinámica que consiste en que la segmentación (tramos) en que se ha dividido la red puede subdividirse para representar algunos elementos sin necesidad de modificar la tramificación de la red.

La sesión continuó con la presentación de las “*Redes de sensores inalámbricos para la monitorización de las infraestructuras del transporte*” de **D. David Gascón**, de *I+D Libelium, S.L.* Para el ponente, la utilización de las redes de sensores para la monitorización de las Infraestructuras del Transporte permite la realización de aplicaciones que hasta ahora eran imposibles. La idea de obtener información local de cientos o miles de puntos distribuidos en lugares específicos da un valor incalculable a estos datos, puesto que, además, podemos obtener esa información en tiempo real mediante el uso de tecnologías inalámbricas como ZigBee y GPRS, y con ello, actuar en consecuencia en el mismo momento que se producen los eventos que están siendo controlados.

Las principales características de este tipo de redes son la escalabilidad, su alta disponibilidad y su fácil implantación; y, por lo que se refiere a su funcionamiento, los motes tienen la capacidad de comunicarse entre sí mediante la creación de redes malladas (*mesh networks*) usando el protocolo ZigBee y retransmitir la información adquirida a través de la red hasta un punto de control denominado Gateway (GW) que registre los valores observados e incluso tome decisiones consecuentemente. Son los propios motes los que se organizan automáticamente cada cierto tiempo para ver cuáles son las rutas de comunicación disponibles. Esto permite que los motes puedan ser cambiados de lugar para monitorizar un



La jornada de tarde se dedicó a la celebración de un taller práctico sobre “Visualización y análisis de datos LiDAR en *gvSIG*”

## Simposios y Congresos organizados por la ATC



Vista del aula donde se celebró el taller práctico y que contó con una gran asistencia



Interior del vehículo IPS-2

área distinta en un determinado momento. Así mismo, y a través de sus explicaciones, se pudo observar cómo el funcionamiento de la red se basa en una perfecta sincronía de todos los nodos.

Posteriormente explicó algunas de sus aplicaciones para las infraestructuras del transporte, como en carreteras inteligentes (*Smart Roads*): monitorización de estructuras, detección de vehículos, *smart parking*,

monitorización de las condiciones meteorológicas, calidad del aire en túneles, control de ruido, etc.

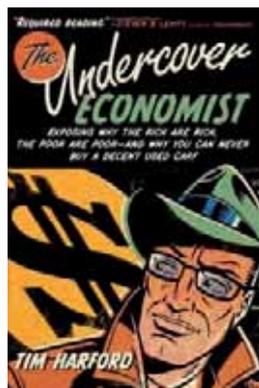
Finalmente y fuera de programa, intervino **D. Javier Bonatti G.** de la *Universidad de Costa Rica*, autor junto a **D. Luis Sáenz S.**, de la misma *universidad*, con la ponencia "**Diagnóstico de control de calidad de los datos enviados por stereocarto para las rutas nacionales 32 y 126 de Costa Rica**". Su intervención comenzó explicando la problemática de estas rutas. En concreto y en lo que se refiere a la ruta 32 ó Carretera Braulio Carrillo, inaugurada en 1987, la describió como una vía con taludes y pendientes altas, de fuertes precipitaciones, con problemas de deslizamientos desde su fase constructiva y que se encuentra ubicada en el Parque Nacional Braulio Carrillo

Finalmente se celebró un animado coloquio que dio por finalizada la sesión.

### Jornada de tarde

Toda la sesión de tarde se dedicó a la celebración de un taller práctico sobre "**Visualización y análisis de datos LiDAR en gvSIG**" bajo la dirección de **D. Miguel Marchamalo Sacristán**, de la *ETSICCP*, en la que se cargaron datos LiDAR, ortofotos y capas vectoriales (carreteras, núcleos de población, etc.) en la plataforma gvSIG, y se realizaron análisis de los datos, consultas directas, filtros, álgebra de mapas, secciones y perfiles, disponiéndose en todo momento con el apoyo y asesoramiento del personal del Laboratorio de Topografía y Geomática de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. ❖





# El economista camuflado (The undercover economist)\*, de Tim Hartford

Por Daniela Cardoso y Manuel G. Romana

## ¿Por qué nos gustó el libro “El economista camuflado”?

Hace algún tiempo se ha publicado el libro “El economista camuflado” (The undercover economist, en el original), de Tim Hartford. Está disponible traducido y original. El libro resulta muy interesante, por su lenguaje llano y ejemplos claros.

Si busca un libro sobre economía que explique de forma simple la economía que afecta a nuestra vida, esta es una buena opción. No la relacionada con los grandes mercados de bolsa, ni futuros ni opciones: la que se ve y se nota todos los días en el bolsillo.

Normalmente los libros de economía son técnicos y complejos, y les faltan ejemplos fácilmente comprensibles. No parecía ser fácil encontrar uno que con simples ejemplos familiares ayude a comprender cosas como ¿porqué hay esas diferencias de precios entre tiendas que, por lo menos aparentemente, son iguales?

Todo esto puede encontrarse en el libro *Economista camuflado*. Además, permite apreciar otras cosas que afectan de manera directa a la visión sobre el mundo que nos rodea.

Por ejemplo, se aprende que casi todos pertenecemos a un grupo de personas que es sensible a los precios. Un ejemplo: cuando voy a cenar fuera de casa no me parece razonable pagar más por el mismo plato únicamente porque el restaurante se sitúa en la zona noble de la ciudad, cuando eso no garantiza ningún aumento en calidad. Claro, otros toman otras opciones.

El libro contiene una buena explicación, algo simplista pero creíble, de porqué algunos países del tercer mundo son incapaces de cambiar su “destino” y dejar de ser pobres. Finalmente hemos compren-

dido el importante papel que puede tener la educación en cambiar y garantizar un desarrollo sostenible en el tiempo, al revés del desarrollo que se basa en la mano de obra barata y no cualificada.

Puede también verse cómo algunos impuestos, aun estando causados por unas buenas intenciones de los gobernantes, no son capaces de cumplir su función asignada. Y se ve cómo se puede cambiar eso, para que todos tengamos la conciencia de qué es bueno y qué es malo, para evitar acciones que afecten negativamente a otras personas.

Tenemos la certeza que al leer este libro también encontrará usted las respuestas a algunos de sus interrogantes, y también surgirán nuevas preguntas, más complejas. Al final ganará también una nueva mirada del mundo de la economía de las pequeñas “grandes” cosas.

Centrándonos en los aspectos relacionados con el transporte, que también contiene, hay que hacer mención de dos distintos: el primero referente a los vehículos y el segundo al tráfico en general.

En cuanto a los vehículos y sus mercados, y más concretamente la situación de los vehículos de segunda mano, el libro responde muy bien a una cuestión que nos ha preocupado varias veces en nuestra vida: ¿porqué es imposible (o, como mínimo, difícil y arriesgado) plantearse comprar un coche o una moto de segunda mano cuya historia no conoces directamente? Resulta que la información disponible es asimétrica, y que los vendedores de vehículos de inferior calidad no pueden decirlo. Un vendedor sabe si un determinado coche que desea vender es bueno o malo. Si es malo, lo podría vender barato. Pero ¿venderá barato un coche que sabe que está en muy buenas condiciones? No. Por tanto, si

nos vende un coche barato es porque es una piltrafa. ¿Compraría usted una piltrafa? No. Conclusión: no se venderán los coches baratos ante la fundada sospecha de que son piltrafas. Solución final: el vendedor no tiene otra opción; debe vender todos los coches como si fueran buenos, y el comprador debe arriesgarse pagando el precio de un coche bueno, rezando para que lo sea, y no una de las piltrafas encubiertas.

El segundo aspecto es el del tráfico, y su visión es complementaria de la de un ingeniero. Comienza por decir aproximadamente que, si los mercados perfectos funcionan perfectamente, ¿por qué estuve dos horas en un atasco esta mañana? Si hay congestión, cuenta, es porque no hay un mercado perfecto del transporte de superficie. Ni es realista esperar que exista. Pero partir de un mercado perfecto y compararlo con la realidad puede explicar los problemas y apuntar las soluciones.

Hartford dice que lo que no funciona en el mercado del transporte son las externalidades, los efectos de las decisiones de los actores sobre terceros. En el caso del tráfico, hay efectos nocivos: la relativa inseguridad de los peatones, por ejemplo, y la contaminación, dice Hartford. Hay otros: la dedicación de un suelo a este uso, en vez de a otros, el efecto barrera de una autopista (o ferrocarril, claro). Pero estos efectos no se traducen en un mercado no intervenido en el precio: no conciernen directamente ni a los fabricantes de coches, ni a los suministradores de combustibles o energía eléctrica, ni a los conductores y viajeros.

La cuestión no es si los conductores

\* Hartford, Tim (2006). The Undercover Economist. Oxford University Press, 2006. ISBN 0345494016. Traducción: Hartford, Tim (2007). El economista camuflado. La economía de las pequeñas cosas. Editorial Temas de Hoy. ISBN: 9788484606178.

## Notas de lectura

pagan lo suficiente, sino si la estructura de precios es adecuada. Hartford piensa que no. ¿Por qué? Porque los costes medios son altos, y los marginales bastante bajos (eso si la gasolina deja de acercarse a un precio estratosférico, caramba). Entre externalidades y costes, el autor termina proponiendo el pago por uso para todos los conductores.

¿Es correcta esta visión? Bueno, puede aplicarse a muchos otros conceptos, ya que todo tiene costes ambientales susceptibles de ser contabilizados. Pero, aunque no estemos del todo de acuerdo, ya hacerse la pregunta y elaborar la respuesta nos ayuda a imbricar más a los que nos rodean en la cuestión de cómo de buenas (o malas) son las carreteras y el modo de vida que permiten/alientan.

Además de estos ejemplos, en el libro hay muchos otros, y se aprecia la maestría de Hartford



en relacionar aspectos de campos diferentes de la ciencia y la sociología, siempre con ejemplos fácilmente comprensibles, sacados de las experiencias de cada uno de nosotros. Un libro altamente recomendable, cuya única pega es su insistencia en explicar por el egoísmo todas nuestras respuestas.

Para despedirnos, señalaremos que el libro tiene el mismo defecto que la economía en general: la economía es un sistema complejo, en el que las interacciones entre sus miembros son numerosas, algunas evidentes y otras sutiles. Por eso la relación entre causa y efecto, y sobre todo su percepción, no es en absoluto biunívoca. Siempre es posible deducir de un determinado efecto cuáles son sus causas, pero no al revés: suele ser imposible predecir un efecto cuando se hace una reforma o cambio concreto. Pero saber los mecanismos ayuda. ❖

# 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 2011 Fecha  Firma

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

## Autovía A-66 Benavente-Zamora

El 24 de agosto de 2011, el Ministerio de Fomento licitó el contrato de concesión de obra pública del tramo de la Autovía de la Plata (A-66) situado entre Benavente y Zamora, con un presupuesto total de la licitación de la concesión que asciende a 1 356, 211 721,77 euros, de los que 267 millones (sin IVA) corresponden a las obras de construcción de la autovía y a su conservación extraordinaria.

El contrato contempla la ejecución de 49 km de autovía, así como su posterior conservación y explotación, a través de la fórmula de colaboración público-privada establecida en el Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI), presentado por el Gobierno en abril de 2010. La duración de la concesión se extiende a 30 años, a contar desde el día siguiente al de la formalización del contrato.

El importe total movilizado por la concesión licitada supera los 1 356 millones de euros, considerando la inversión en la construcción, en la conservación y en la explotación durante toda la vida del contrato.

El concesionario percibirá un canon mensual de la Administración (es decir, la autovía es gratuita para el usuario) de forma que sus ingresos dependerán del estado de la infraestructura y de la calidad del servicio viario que preste. Con ello se asegura que la infraestructura estará en condiciones óptimas para la circulación en los 30 años de la concesión.

### Características técnicas

El trazado del tramo Benavente-Zamora de la autovía A-66, objeto de la concesión, está conformado por tres subtramos: A-6 (Castrogonzalo) – Santovenia del Esla; Santovenia del Esla – Fontanillas de Castro; y Fontanillas de Castro – Zamora.

Esta actuación supondrá una importante mejora de la seguridad vial y reducirá considerablemente los tiempos de recorrido, al evitar que el tráfico de larga distancia circule por las travesías actualmente existentes en el itinerario de la carretera N-630.

Las obras incluyen, además, la construcción del nuevo enlace de Santovenia, un área de descanso y una zona comple-

mentaria de explotación comercial.

El contrato comprende tres áreas de actuación:

- Área 1: Obras de primer establecimiento. Ejecución de infraestructuras con características técnicas y funcionales requeridas para la prestación del servicio.
- Área 2: Actuaciones de reposición y gran reparación. Estas actuaciones afectan a los elementos de la infraestructura cuya vida útil sean inferior al plazo del contrato, con el fin de mantener las carreteras en condiciones óptimas de servicio.
- Área 3: Conservación y explotación de las infraestructuras. Comprende la conservación ordinaria, el mantenimiento de la viabilidad y las labores de gestión administrativa para la explotación de la carretera.

## Autovía A-54

El ministro de Fomento, José Blanco, supervisó el 9 de septiembre las obras del tramo Nadela-Vilamoure de la autovía A-54 (Lugo-Santiago), que está construyendo el Gobierno de España.

El Ministerio de Fomento ha destinado cerca de 80 millones de euros a la construcción de este tramo de unos 7 km de longitud.

Dentro de este tramo en ejecución, además de la nueva infraestructura entre Nadela y Vilamoure, se incluye un ramal de conexión con la ciudad de Lugo con características de autovía.

La autovía A-54, que conectará Lugo con Santiago, ya cuenta con cinco tramos en obras y dos más en fase de proyecto.

### Características técnicas

El trazado de la autovía, de 7 km de longitud, tiene su origen en Nadela (Lugo), donde enlaza con la A-6, con el tramo Nadela-Tolda (LU-11) recientemente desdoblado, con la antigua N-VI, y con la carretera autonómica LU-546 y el nuevo vial autonómico CG-2.2.

La autovía finaliza 700 m al norte de Vilamoure, al oeste de la carretera autonómica LU-612, dentro del término municipal de Lugo. En este punto se ha proyectado el enlace de Vilamoure, que permite la conexión de la LU-612 con la autovía A-54 y

con el ramal de la conexión con Lugo.

En el tramo está prevista la construcción de un nuevo viaducto sobre el río Miño, de 375 m de longitud, situado al suroeste del núcleo rural de Albares.

En el entorno del enlace de la A-6 y la A-54, la autovía cruza la LU-546, y la nueva vía autonómica CG-2.2, ambas de titularidad de la Xunta de Galicia, y la N-VI. Estas tres vías se cruzan a distinto nivel mediante pasos inferiores, en el caso de las carreteras, y mediante un viaducto, en el caso de la CG-2.2.

En el transcurso de las obras, ha sido necesario realizar un ajuste de trazado de casi 2,5 km de longitud a consecuencia de la existencia de un yacimiento castreño de importantes dimensiones y buen estado de conservación. Esta modificación en el trazado, ya aprobada, ha supuesto desplazar en ese tramo el tronco de la A-54 hacia el sureste evitando el impacto severo y directo que hubiera producido el trazado original.

## Ramal de autovía de conexión con Lugo

El trazado del ramal de autovía de conexión con Lugo, de 4 km de longitud, tiene su origen en la glorieta del enlace de Vilamoure y se desarrolla entre los núcleos rurales de Amieiros, Fonte do Mouro Fontao y As Campiñas.

En un punto intermedio del ramal se incluye un enlace con la N-540 y N-540a, de tipología diamante con glorieta superior, donde se enlaza además con los viales de acceso hacia el nuevo puente sobre el Río Miño, cerrando así una malla que mejora la accesibilidad hacia esta zona de Lugo.

En el tramo final de acceso a la ciudad de Lugo, que se desarrolla sobre la actual N-540, se han diseñado vías colectoras en ambos márgenes que encauzan el tráfico procedente de la propia N-540 y de la carretera LU-232I. ❖



## Sando construirá una nueva carretera en Polonia

Según nos informa la propia empresa, Sando ejecutará una nueva obra civil en Polonia, concretamente realizará un tramo de la carretera número 77 entre Lipnik y Przemysł, correspondiente a la circunvalación de Leżajsk, por 29 700 000 Zlotys, es decir, unos 7,45 millones de euros.

Este proyecto, perteneciente a la Dirección General de Carreteras Polaca (GDD-KiA), constituye la quinta obra civil que Sando Budownictwo se adjudica en Polonia.

La ejecución de la primera etapa de la circunvalación de la ciudad Leżajsk es de clase GP, es decir, corresponde a la categoría de carretera principal, tiene una longitud de 4 099 m y comprende la infraestructura técnica e instalaciones.

Ubicada al sudeste de Polonia, entre Varsovia y Cracovia, la construcción de esta circunvalación comprende la realización de numerosas infraestructuras, como la ejecución de un puente a dos niveles en el cruce con la carretera regional número 877, en la ciudad Giedlarowa; la reconstrucción de parte de esta carretera, de la nacional número 77 y de otra municipal; la ejecución de otras dos estructuras de ingeniería, y la reconstrucción de varias carreteras de servicio.

Asimismo, junto con el drenaje pluvial, la iluminación de los viales, alcantarillado y la construcción de las pantallas acústicas, Sando Budownictwo tendrá que realizar la reconstrucción de una tubería de gas de alta presión.

En Polonia Sando está desarrollando en la actualidad otros tres proyectos de obra civil.

El primero de ellos es el Puente del Norte, se trata de una estructura mixta de acero y hormigón armado con una longitud de 800 metros sobre el mayor río de Polonia, el Vístula.

El segundo de los proyectos es la construcción de un tramo de la autovía número 7, concretamente el que une las localidades de Olsztynek–Nidzica. Por último, desde finales de 2010 ejecuta un tramo de la autopista A1 entre Torun y Strykow, al noroeste de Varsovia.

## Composan lanza al mercado un nuevo material

Buscando un equilibrio mayor entre desarrollo y medioambiente, Composan lanza un nuevo producto al mercado CompoSolid: una potente emulsión de polímeros altamente resistente y ecológicamente segura que puede ser utilizado agente estabilizador del suelo, así como para evitar la erosión, la pérdida de sedimento y prevenir que el agua penetre y desestabilice la superficie.

El producto, prosigue la empresa en su comunicado, ofrece una cohesión y elasticidad excelente, una buena relación coste-beneficio bajo un estricto cumplimiento de las normas medioambientales a diferencia de las soluciones tradicionales. El material ecológicamente sostenible no contiene niveles detectables de materia polinuclear orgánica, ni tampoco de compuestos florados o bromados.

Frente a la pavimentación tradicional, este material ofrece numerosas ventajas, entre ellas: es ecológico, reduce el coste, permite una fácil y rápida instalación, mantenimiento escaso, una apariencia estética final más natural y armónica con el entorno, además de tener una amplia variedad de aplicaciones, pues está indicado para carreteras sin asfaltar, caminos parcelarios, zonas en construcción, aparcamientos, parques, áreas de descanso en autopistas, zonas deportivas y viales en zonas de campo (Caminos eólicos, parques solares, etc.).

Además de la aplicación en carreteras o caminos, tiene una amplia variedad de aplicaciones, pues se ha utilizado para estabilizar suelos con un elevado contenido en asbesto y, también, puede ser aplicado en taludes como fijador durante la hidro-siembra.

## Ferrovial mejora sus resultados operativos

Tal y como informó esta empresa, Ferrovial, compañía global de infraestructuras y servicios, ha obtenido un resultado neto de 312 millones de euros en el primer semestre del año 2011, frente a las pérdidas de 164 millones de euros del mismo periodo

de 2010. La compañía ha experimentado durante este primer semestre la mejora del resultado operativo en todas sus líneas de negocio y ha recogido plusvalías generadas por la venta de Swissport y de la participación en la autopista M-45.

El Resultado Bruto de Explotación (RBE) han alcanzado los 1 014 millones de euros, un 18,4% más que el mismo periodo del año anterior en términos comparables. Las ventas han alcanzado los 4 874 millones de euros, con un incremento en términos comparables del 2,4%.

Ferrovial ha cerrado el primer semestre con una cartera de Construcción y Servicios de 22 788 millones de euros. La cartera mantiene un importante peso de la actividad internacional de la compañía, ya que el 67% en construcción y el 50% en servicios procede de fuera de España. La cartera de Construcción cuenta con la adjudicación de distintos contratos de Webber en EEUU, de obra civil de Budimex y del proyecto ferroviario de *Crossrail* en Reino Unido, destacando el crecimiento de las carteras de Budimex (+15%) y Webber (+7%). En Servicios, resalta la evolución de la cartera de Amey, gracias a la entrada en explotación de contratos como el de mantenimiento de infraestructuras viarias de la ciudad de Birmingham.

En primer semestre de 2011 las cifras consolidadas ya no incluyen los resultados de Swissport, ETR-407 (se integra por puesta en equivalencia) y las autopistas chilenas.

Finalmente, destacar que las ventas de Autopistas, en términos comparables, han crecido el 18,8% respecto del mismo periodo del año anterior y se han situado en 194 millones de euros. Por su parte, el RBE ha aumentado el 25% en términos comparables, hasta los 143 millones. Este crecimiento es debido principalmente a la contabilización de las cuentas de compensación de las autopistas españolas R-4 y AP-36 correspondientes a 2011 y el incremento de tarifas en la autopista Chicago Skyway.

Destaca la fortaleza de la autopista canadiense ETR-407, con un crecimiento en ventas del 6% hasta los 227 millones, y del 6% del RBE que se sitúa en 186 millones, consolidada por puesta en equivalencia. ❖