

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
Comité Nacional de la Asociación Mundial de la Carretera

Nº 151  
JULIO  
AGOSTO  
2012

ISSN 1130-7102  
Revista Bimestral



## EN PORTADA

## RUTAS TÉCNICA

## CONGRESOS

Entrevista a

**D. Jordi Alcobé Font**

Ministro de Economía y Territorio  
del Gobierno de Andorra

- Evaluación del Efecto de la Tipología y la Separación de los Elementos Moderadores de la Velocidad en la Funcionalidad del Tráfico
- Optimización 3D de la Coordinación Planta-Alzado para Maximizar la Visibilidad Disponible
- Bóvedas de Transición Lumínica en Túneles de Carretera para el Aprovechamiento de la Luz Solar

XIV Congreso de Vialidad Invernal,  
Andorra 2014

VIII Premio Nacional ACEX a la  
Seguridad en Conservación

# Holcim lanza su nueva gama de ligantes hidráulicos: Liga-Roc®



## *La solución a su medida para la ejecución de explanadas.*

- ✓ **Rentable**  
Ahorro de costes de ejecución y mantenimiento.
- ✓ **Innovadora**  
Servicio integral para cada tipo de suelo y obra.
- ✓ **Sostenible**  
Ahorro de préstamos y vertederos.

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

☎ 958 52 01 33



## **Tribuna Abierta**

- 03** La internacionalización como oportunidad  
Comité de Redacción

## **En Portada**

- 04** Entrevista a D. Jordi Alcobé Font  
Ministre de Economia i Territorio del Gobierno de Andorra

## **Rutas Técnica**



- 10** Optimización 3D de la Coordinación Planta-Alzado para Maximizar la Visibilidad Disponible  
*Optimal 3D Alignment Coordination to Maximize the Available Sight Distance*  
AnaTsui Moreno, Vicente M. Ferrer y Alfredo García

- 20** Evaluación del Efecto de la Tipología y la Separación de los Elementos Moderadores de la Velocidad en la Funcionalidad del Tráfico  
*Evaluation of Effect of Type and Spacing of Traffic Calming Devices on Traffic Operation*  
Alfredo García, Ana Tsui Moreno, Mario Romero y Antonio José Torres

- 30** Bóvedas de Transición Lumínica en Túneles de Carretera para el Aprovechamiento de la Luz Solar  
*Light Transition Vault in Road Tunnels for the Exploitation of Sunlight*  
Ángel García Garay, Jerónimo Piñera Lucas, Antonio Guirao Piñera y Oscar Gutiérrez Bolíva



## **Andorra 2014**

- 40** Entrevista a D. Esteve Comes Simona

## **Actividades del sector**

- 42** VIII Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación  
**48** Presentación del Libro: *Andalucía, Guía de Obras Públicas*  
**50** XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica



## **Noticias ATC y Cursos organizados por la ATC**

- 53** Curso de Firmes  
**54** Reunión de la Junta Directiva del 26 de junio de 2012  
**55** Curso de Diseño de Sistemas Gráficos

## **Socios ATC**

- 56** Juntos Se Puede. Repsol Asfaltos

## **Notas de Prensa**



- 61** El Gobierno de Canarias redistribuye los fondos del convenio de carreteras



asociación técnica  
de carreteras  
comité español de la  
asociación mundial de carreteras



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

UNIVERSIDAD DE GRANADA  
DIALNET · ICYT  
LATINDEX (Catálogo y Directorio)



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

**Comité de Redacción:**

**Presidente:**  
Roberto Alberola García

**Directora Técnica:**  
Belén Monercillo Delgado

Vocales:

José Alba	Urbaconsult
Francisco Caffarena	Asociación Técnica de Carreteras
Alfredo García	Universidad Politécnica de Madrid
Federico Fernández	Dirección General de Tráfico
José María Izard	AERCO
Carlos Jofré	
Sandro Rocci	Universidad Politécnica de Madrid
Manuel Romana	Universidad Politécnica de Madrid

Redacción, Diseño, Producción,  
Gestión Publicitaria y Distribución:  
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Edición:  
Directora de Edición:  
Belén Monercillo Delgado  
Redacción y Maquetación:  
M<sup>a</sup> José Sánchez Gómez de Orgaz  
Víctor Domingo Encinas

Publicidad:  
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
Tel.: 913 082 318 ♦ comites@atc-piarc.com

Arte final e impresión:  
Diseño Gráfico A2colores  
Tel.: 914 308 228 ♦ info@a2colores.es  
c/López Grass, 2 · 28038 Madrid

Foto Portada:  
Material proporcionado por el Ministerio de Economía y Territorio  
(Gobierno de Andorra)

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102  
Todos los derechos reservados.

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

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

**REVISTA RUTAS**

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

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

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



Nº 151 JULIO-AGOSTO 2012

**RUTAS**

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

# La internacionalización como oportunidad

Tribuna  
abierta



Comité de Redacción de la Revista 'Rutas'

Nuestras empresas llevan décadas diseñando y construyendo carreteras para atender a la demanda social. Desde el impulso que supuso el Plan General de Carreteras 84/93 ha habido una incesante actividad que nos ha permitido disponer de una red de carreteras que cuenta con 3.000 km de autopistas de peaje, 11.300 km de autopistas libres y autovías y 1.700 km de carreteras convencionales con calzadas separadas. Por esta red circula nada menos que el 90% del transporte de viajeros y el 87% del transporte de mercancías.

Hemos llegado hasta aquí después de un esfuerzo colectivo y continuado en el que se ha involucrado las Administraciones Públicas, las empresas consultoras y constructoras y la Sociedad en su conjunto. Desde sus ámbitos de actuación, todos han colaborado y todos han hecho posible esta red. Las Administraciones han planificado, gestionado y financiado las actuaciones; las empresas consultoras han proyectado y apoyado técnicamente su realización; y las constructoras han acometido las inversiones necesarias, tanto en equipos humanos como técnicos, para su construcción, conservación y explotación. Naturalmente, la Sociedad en su conjunto, beneficiaria en último término de esta red, ha permitido su desarrollo.

El esfuerzo inversor y la gestión de las Administraciones han permitido que nuestras empresas hayan desarrollado un conocimiento formidable sobre cómo diseñar y construir una red de carreteras de calidad, y que nuestros profesionales adquieran una experiencia que representa su gran activo laboral.

Todo ha ido funcionando razonablemente bien -superando los problemas que se iban planteando- hasta la irrupción de la crisis económica. Al principio se manifestó en nuestro sector con una suave desaceleración, pero posteriormente, la falta de inversión pública y privada, ha tenido unos efectos demoledores sobre la estructura empresarial: disminución

drástica de la actividad, ajustes de las plantillas y cierre de empresas. Estamos inmersos en una auténtica reconversión del sector que puede terminar con una parte muy significativa de nuestras capacidades. Tardará algunos años, pero España necesitará estas capacidades para el futuro.

En este contexto no podemos permitir que se pierdan tanta experiencia y tantos buenos profesionales. El sector necesita levantarse y volver a impulsarse. Ha llegado el momento de aplicar los escasos recursos que nos quedan y toda nuestra inteligencia para buscar nuevos mercados. También necesitamos el decidido apoyo de nuestras Administraciones para facilitarnos la salida al exterior. Muchas empresas consultoras y constructoras hace tiempo que han iniciado su expansión exterior y han sabido consolidar con éxito su actividad en nuevos mercados. Ya han mostrado el camino y representan un ejemplo a seguir para el resto de las empresas.

No es un camino fácil y está plagado de dificultades que habrá que resolver; pero hay que abordarlo. Debemos hacer valer nuestras capacidades y a nuestros profesionales. Es muy necesario ampliar el conocimiento que nuestros clientes en el exterior tienen de nuestra gran experiencia, que es singular a nivel mundial en algunos campos. En algunos casos habrá que aliarse para mejor competir, tanto con empresas de nuestro país como con empresas de nuestros destinos; pero sabemos hacerlo. Debemos conocer en profundidad los mecanismos de licitación y contratación y preparar nuestras estructuras empresariales para los nuevos retos.

Debemos exigir a nuestras Administraciones que nos apoyen incondicionalmente en este esfuerzo. Necesitamos conocimiento, apoyo logístico y financiación para abordar con éxito la expansión internacional. Es necesario nuevamente un impulso colectivo para lograrlo. ❖



Entrevista a

# Jordi Alcobé Font

## Ministro de Economía y Territorio del Gobierno de Andorra

La Redacción

### Congreso Internacional de Vialidad Invernal. Andorra 2014:

Como complemento a los Congresos Mundiales de la Carretera, la Asociación Mundial de la Carretera, (AIPCR/PIARC), organiza desde 1969, y cada cuatro años un Congreso Internacional dedicado a la Vialidad Invernal. Este tipo de Congresos son conferencias mundiales que reúnen a expertos en Vialidad Invernal de todo el mundo y promueven el intercambio de conocimientos específicos

sobre este tema entre los países que experimentan un clima severo. Los Congresos de Vialidad Invernal ofrecen la oportunidad de conocer los últimos avances y retos en esta materia, así como intercambiar experiencias con los responsables del funcionamiento de las carreteras, de las investigaciones, la meteorología, los equipos y productos de todo el mundo.

El próximo Congreso de Vialidad Invernal tendrá lugar en Andorra la Vella (Andorra), del 4 al 7 de febrero de 2014. Es la primera vez que este país

ubicado en los Pirineos se convierte en la sede elegida por la Asociación Mundial de la Carretera para acoger este acontecimiento.

Por ello, el Gobierno de Andorra ya se está preparando para responder a las expectativas de los asistentes. Además, la coincidencia con el mes de febrero, uno de los más fríos y en los que más nieva, y el hecho de que sea un país con una temperatura media mínima de -2°C y máxima de 24°C, hacen que sea un emplazamiento ideal para la celebración del Congreso, pues

tendrá la oportunidad de demostrar sobre el terreno la seguridad de la circulación durante el invierno, así como los medios y técnicas empleados en esta estación para el buen funcionamiento de las carreteras. De hecho, está previsto que se lleve a cabo una demostración de maquinaria en dos áreas naturales: Port d'Envalira a 2.407 m de altitud y en el puerto de La Botella (2.080 m de altitud). Asimismo, el Auditorio de Andorra la Vella con capacidad para 1.000 personas, equipado con salas de exposiciones y habitaciones donde se podrá seguir el congreso por videoconferencia es un ejemplo de la preparación de este país al evento.

### Historia de los Congresos de Vialidad Invernal

Antes que Andorra, otros países tuvieron el reto de preparar un Congreso de Vialidad Invernal, después de ser elegidos por la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC) entre los candidatos que se presentaron.

El primero de estos Congresos de Vialidad Invernal tuvo lugar en Alemania en 1969, en Berchtesgaden. Posteriormente, los países elegidos para acoger el evento fueron Francia (Valloire) en 1971; Finlandia (Jyväskylä) en 1973 que repitió en 1986 pero en otra ciudad: Tampere; Salzburgo (Austria) en 1975 que también repitió como sede del congreso en 1994, en Seefeld. Otro país que ha sido dos veces sede del Congreso de Vialidad Invernal es Italia. En 1978 organizó el evento en Dobbiaco mientras que en el 2006 la ciudad elegida fue Turin-Sestriere. Asimismo, Suecia fue el anfitrión en 1982 (Davos); Noruega (Tromsø), en 1990; Suiza (Lulea), en 1998 y por primera vez el continente asiático acogió el evento en Japón en el 2002 (Sapporo). En dicho Congreso se presentaron ponencias relacionados con las mejoras en el control de nieve y hielo en las carreteras europeas y puentes o las apropiadas condiciones de la carretera ante el incremento de

la utilización del carril bici en invierno. Por otro lado, fue en el 2010 cuando le tocó a Québec (Canadá) organizar del 8 al 11 de febrero, bajo las directrices de la AIPCR, este evento internacional que por primera vez se celebraba en Norteamérica.

Otra novedad de este décimo tercer congreso fue la sesión destinada a los alcaldes de ciudades que cuentan con un clima severo, en la que se trató la gestión económica y financiera de la vialidad invernal.

El próximo Congreso Internacional de Vialidad Invernal de Andorra abordará los temas específicos relacionados con los túneles y puentes de carreteras, en condiciones invernales.



El ministro de Economía y Territorio de Andorra, D. Jordi Alcobé Font, atendió a la revista *Rutas* y le concedió la entrevista que aparece a continuación, en la que comenta cómo ha sido para el Gobierno de Andorra asumir la organización del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera, entre otros aspectos de la profesión como el futuro inmediato de consultores y constructores en el sector de las carreteras de este país o la figura de las concesiones.

### ¿Qué balance puede hacer de su gestión hasta la fecha?

Desde mi nombramiento como Ministro de Economía y Territorio, hace poco más de un año, hemos priorizado el proceso de apertura de la economía andorrana a la inversión extranjera como eje de un nuevo modelo de crecimiento, hemos continuado gestionando las importantes obras de infraestructura iniciadas anteriormente y estamos trabajando en un cambio de modelo consistente en desarrollar una nueva planificación acorde con la realidad y las necesidades actuales.

### ¿Qué supone para un país como Andorra ser elegido para acoger el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC)? ¿Qué espera de este Congreso?

El hecho de ser la sede del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal supone un reto muy importante para Andorra dadas las características y dimensiones del mismo. En todo caso, creo que Andorra ofrece un entorno privilegiado para celebrar el Congreso con las máximas garantías de éxito y que nuestro enclave estratégico en pleno corazón de los Pirineos nos aporta atractivo y singularidad.

Un Congreso de estas características que reúne expertos de todo el mundo, responsables y administradores se convierte en un foro único para presentar los últimos avances tecnológicos y el estado de las principales investigaciones, así como para intercambiar experiencias en materia de vialidad invernal. A su vez, constituye una oportunidad única para presentarnos al mundo como un país que apuesta por las infraestructuras modernas, los equipamientos de última generación y por una tecnología puntera para la gestión y el control del tráfico.



**¿Cómo se organiza un evento de estas características, en el que el país de los Pirineos estará en el punto de mira mundial de las empresas socias de la AIPCR y un foro de encuentro para profesionales del sector?**

Como usted bien dice, Andorra estará durante unos días en el punto de mira mundial, lo que nos hace afrontar este evento con mucha ilusión y a la vez con un gran respeto. Con el objetivo de dar una respuesta adecuada a la organización de un evento de estas características contamos con un equipo integrado por profesionales del propio Ministerio que trabaja de manera coordinada con el resto de instituciones públicas y privadas de Andorra, para asegurar el éxito del congreso y conseguir la satisfacción de los participantes en el evento.

**Andorra, por sus características geográficas y con 2.000 metros de altitud de cota media, se convierte en un emplazamiento ideal para tratar el tema de la Vialidad Invernal, ¿qué avances de gestión se han llevado a cabo en este campo en los últimos años?**

Andorra siempre ha demostrado un firme compromiso con las políticas de gestión y control de la vialidad de nuestras carreteras. Al tratarse de un país de nieve y montaña este compromiso ha adquirido una especial relevancia en materia de vialidad invernal.

En la actualidad contamos con un importante parque de maquinaria, con un ratio de una máquina quitanieves por cada 13,5 kilómetros de carretera. La totalidad de la flota está equipada con una tecnología que permite conocer en tiempo real la posición exacta y las condiciones de trabajo de cada máquina. Así mismo las

estaciones automáticas láser con las que están equipados los vehículos expendedores de sal, permiten, a partir de las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire y de la temperatura del pavimento de la carretera, aplicar los porcentajes idóneos de sal y salmuera a extender.

Finalmente, estamos instalando sensores de hielo en los puntos críticos de nuestra red de carreteras que permitan una activación remota de sistemas automáticos de riego para hacer frente a las heladas. En resumen, una apuesta por la tecnología que garantice que nuestras carreteras estén en todo momento en unas buenas condiciones de uso.

## **“Un Congreso de estas características se convierte en un foro único para presentar los últimos avances tecnológicos y el estado de las principales investigaciones”**

**¿Qué diferencias encuentra el usuario de las vías actuales que presenta hoy en día Andorra con respecto a las del pasado, ya que se han realizado grandes mejoras en las infraestructuras de este país?**

En las últimas décadas, Andorra ha hecho un importante y continuado esfuerzo inversor en la mejora de las infraestructuras de carreteras, habiendo pasado de una red de caminos y carreteras de montaña de anchura reducida y de 2 carriles de circulación, a una red de carreteras moderna de 3 y 4 carriles, incorporando vías alternativas y circunvalaciones al paso por las

aglomeraciones urbanas.

Con estas actuaciones se ha conseguido una reducción importante de los tiempos de trayecto y un incremento significativo de la seguridad vial. Teniendo en cuenta nuestra orografía de país de montaña, para conseguir estos objetivos ha sido necesario construir un importante número de puentes y viaductos, así como diversos túneles.

Para alcanzar estos objetivos y planificar las actuaciones a corto, medio y largo plazo, el Gobierno aprobó en el año 2003 el Plan Sectorial de Nuevas Infraestructuras Viarias planificado en diferentes fases de actuación.

**¿Qué obras recientemente finalizadas destacaría por su importancia y cuáles se espera terminar en un corto espacio de tiempo?**

Tradicionalmente, Andorra disponía de una red de carreteras en “Y”, que discurría siguiendo el curso de los ríos principales (Valira d’Orient, Valira del Nord i Gran Valira) y que tenía el nudo gordiano en la parte central ocupada por la urbe de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany. El Plan Sectorial de Nuevas Infraestructuras Viarias, a que me he referido anteriormente, contempla por un lado el desdoblamiento de la red de carreteras existentes y por otro las comunicaciones directas entre los valles de los ríos principales.

En este sentido, las obras más importantes realizadas en los últimos años han sido el túnel d’Envalira, acabado el 2001 y que ha supuesto una mejora sustancial de la comunicación con Francia, ya que evita tener que cruzar el Puerto de Envalira a 2.400 metros de altura, y el túnel del Pont Pla, que comunica de manera directa el valle del Valira del Nord con la urbe de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany (Gran Valira). Completando estas actuaciones, el pasado 31 de julio se ha puesto en servicio el túnel de las Dos Valires de comunicación directa entre los valles del Valira del Nord i



Valira d'Orient. Se trata de un túnel de 2 tubos unidireccionales de 2 carriles cada uno y galería central de evacuación y representa la mayor obra de ingeniería construida en Andorra hasta la fecha. Finalmente, y dentro de las actuaciones prioritarias, a finales del 2012 entrará en servicio la parte norte de la Desviación de Sant Julià de Lòria, estando previsto a corto plazo el inicio de los trabajos de la parte sur.

### Entre las obras de los últimos años destaca la del túnel del Pont Pla, ¿qué balance puede hacer de su funcionamiento?

La entrada en servicio del túnel del Pont Pla supuso un antes y un después en la facilidad de acceso entre la conurbación central y las parroquia de La Massana i Ordino (Valira del Nord) y en la calidad de vida de sus habitantes, obligados a soportar retenciones importantes y casi continuas antes de su puesta en funcionamiento. Sin duda es una de las obras en que la percepción pública de su funcionalidad ha sido más evidente.

**“Los próximos años serán los años en que la gestión, el mantenimiento y la conservación de nuestra red de carreteras adquirirán una especial relevancia”**

### ¿Cómo se afronta la gestión de la conservación en estos momentos de crisis?

Al empezar la entrevista he dicho que estamos trabajando en un cambio de modelo consistente en desarrollar una nueva planificación acorde con la



D. Jordi Alcobé Font. Fotografía: Gobierno de Andorra.

realidad y las necesidades actuales.

Una vez ejecutadas las grandes obras de infraestructuras viarias, los próximos años serán los años en que la gestión, el mantenimiento y la conservación de nuestra red de carreteras adquirirán una especial relevancia.

En este sentido, desde el Departamento de Ordenación del Territorio ya se está trabajando en el diseño del “Plan de mantenimiento integral de las carreteras generales y secundarias” que nos va a permitir disponer de un estudio económico y de rentabilidad de cada una de las actividades y/o actuaciones de conservación, ya sea desde la señalización horizontal, drenajes, viaductos y puentes, pavimentación, protección de taludes, barrera de contención de vehículos...; en un entorno en que han de primar la seguridad y la sostenibilidad.

### ¿Cómo ve el futuro inmediato de consultores y constructores en el sector de las carreteras de este país?

La situación actual de los consultores y constructores en el sector de las carreteras en Andorra, al igual que en España, es sumamente delicada dado el actual contexto económico.

En los últimos años, el sector de la construcción ha perdido casi la mitad de la mano de obra. Por esto, el Go-

bierno consciente de la importancia y el valor estratégico que suponen para el país mantener en activo el sector de la ingeniería y de la construcción, está promoviendo modificaciones legislativas para favorecer las iniciativas privadas y, al mismo tiempo, está haciendo especiales esfuerzos presupuestarios para mantener un cierto nivel de inversión con el objeto de mantener operativas el mayor número posible de estructuras empresariales en este sector.

**Respecto a un tema de actualidad, hace poco la ministra Dña. Ana Pastor comentaba en un Encuentro con empresarios y ministros de Fomento hispanoamericanos cómo el futuro de la construcción pasa por establecer alianzas público-privadas, ¿cómo habría que hacerlas, si considera usted que debe ser así, para que éstas sean realmente efectivas?**

Efectivamente, este tema sumamente de actualidad fue debatido en la pasada Cumbre Iberoamericana de Ministros de Fomento, que tuvo lugar en Madrid a finales de mayo y a la que tuve el honor de asistir. Todos los participantes coincidimos en que las alianzas público-privadas serán en adelante una forma cada vez más

habitual para plantear y realizar obras de gran envergadura, dadas las limitaciones financieras del sector público.

Precisamente, desde el año 2008, Andorra dispone de una Ley sobre las nuevas formas de contratación y financiación de obras públicas que contempla diferentes sistemas de colaboración público-privadas. En todo caso hay que buscar la manera de que las alianzas público-privadas supongan una mejora de la eficacia en la inversión de recursos, favoreciendo la ejecución de los proyectos con las mínimas complicaciones burocráticas y financieras posibles.

**“Las alianzas público-privadas serán en adelante una forma cada vez más habitual para plantear y realizar obras de gran envergadura, dadas las limitaciones financieras del sector”**

Otro tema de actualidad es la controversia acerca de implantar una tarificación por el uso de ciertas autovías en España, al estilo de países como Alemania, Austria o Francia. En Andorra, que se encuentra precisamente entre España y Francia ¿Cree que sería una buena idea proponerlo también y que así favoreciera la conservación de la red de carreteras?

Atendiendo a las características de la red viaria andorrana y el reducido número de carreteras desdobladas o alternativas, consideramos



D. Jordi Alcobé Font: Ministro de Economía y Territorio del Gobierno de Andorra. Fotografía: Gobierno de Andorra.

que el escenario en que nos encontramos no es un escenario adecuado para aplicar soluciones de esta naturaleza. La política de nuestro gobierno es apostar de manera decidida por la mejora y la optimización de los costes asociados a la gestión de las infraestructuras con el objetivo final de favorecer la conservación sin incremento de costes.

**¿Qué opinión tiene sobre la figura de las concesiones? ¿Es usted partidario de ella?**

Las concesiones, en sus diferentes variantes, han permitido incrementar la capacidad inversora de las administraciones durante los últimos años, permitiendo realizar una cantidad de proyectos superior a la que se habría podido efectuar por inversión directa.

En todo caso tiene que utilizarse con racionalidad y buen criterio económico ya que utilizada en exceso, puede dificultar las posibilidades de acometer proyectos futuros. Pero sin duda, con una planificación financiera sostenible y acotando su aplicación a proyectos estratégicos, las concesiones permiten desarro-

llar y posibilitar actuaciones que difícilmente podrían realizarse con cargo directo a los presupuestos.

**Por último, ¿qué opinión le merece la Asociación Técnica de Carreteras y la labor que realiza, tanto este Comité Nacional como la Asociación Mundial (AIPCR/PIARC) a la que pertenece?**

Considero que la labor que realiza la Asociación Técnica de Carreteras y la Asociación Mundial de la Carretera tiene una especial importancia, ya que permite el intercambio de ideas, técnicas, conocimientos y realidades entre los profesionales del sector, las administraciones públicas y las empresas privadas. El intercambio de conocimientos, necesidades, posibilidades de colaboración y contactos entre los protagonistas de la misma función en diversas partes del mundo, contribuye sin duda a avanzar con mayor rapidez y eficacia en los objetivos propuestos.

Quiero acabar la entrevista agradeciendo a la ATC el nivel de colaboración que siempre han tenido con Andorra y en especial con nuestro Ministerio. ❖



Con PROAS  
vuelve a estrenar  
carretera.

*Nuestra amplia gama de productos cuidan y conservan el buen estado de las carreteras. Sea cual sea tu necesidad elige PROAS y estarás apostando por productos de última tecnología pensados para alargar la vida de la carretera.*

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

**PROAS**

*Innovando para ti*

# Optimización 3D de la Coordinación Planta-Alzado para Maximizar la Visibilidad Disponible



Optimal 3D Alignment Coordination  
to Maximize the Available Sight Distance

**Ana Tsui Moreno**

Personal Investigador  
Grupo de Investigación en  
Ingeniería de Carreteras  
Universitat Politècnica de València

**Vicente M. Ferrer**

Profesor Asociado  
Grupo de Investigación en  
Ingeniería de Carreteras  
Universitat Politècnica de València

**Alfredo García**

Catedrático  
Grupo de Investigación en  
Ingeniería de Carreteras  
Universitat Politècnica de València

## Resumen

La visibilidad disponible es uno de los factores más importantes en la seguridad vial puesto que permite a los conductores percibir, en cada momento, las características de la vía y su entorno y así poder realizar una circulación segura y eficiente. Los trazados actuales se plantean fundamentalmente curvilíneos, lo que obliga a la disposición de curvas horizontales coincidentes con acuerdos verticales, pudiendo verse restringida la visibilidad disponible.

Con el fin de obtener la visibilidad a lo largo de la vía, se ha implementado una aplicación en Matlab para calcular el perfil de visibilidad tridimensional. Posteriormente, se ha aplicado al caso concreto de acuerdos verticales convexos solapados con curvas horizontales para optimizar la coordinación planta-alzado y maximizar la visibilidad de parada disponible, generando más de 500000 escenarios diferentes como combinación de los parámetros de coordinación entre la planta y el alzado.

Los resultados de la optimización se presentan en tablas. Se ha encontrado que la distancia de parada depende del ratio entre el parámetro del acuerdo vertical ( $K_v$ ) y el radio de la curva horizontal. Es más, se ha obtenido que valores de  $K_v$  inferiores a los establecidos en la Instrucción de Trazado también satisfacen la visibilidad de parada necesaria. Por otro lado, el desfase entre el vértice del acuerdo vertical y el centro de la curva horizontal también afecta a la visibilidad disponible, mientras que el efecto de la pendiente de la rampa de entrada es importante si el ángulo girado por el acuerdo vertical es fijo. Por último, destacar que la visibilidad se pierde principalmente en el punto donde el peralte cambia de signo, por lo que el punto más alto del acuerdo no es el que proporciona una mayor visibilidad.

**PALABRAS CLAVES:** Trazado, Coordinación Planta-Alzado, Perfil de Visibilidad Tridimensional, Elementos Finitos.

## Abstract

Sight distance is one of the most important factors of road safety since it allows the driver perceiving, at real time, the characteristics of the road and its surroundings. A misperception of this crucial information could induce to a decision to drive with a maneuver with less margin of safety. Current design practice leads to frequent overlapping of vertical and horizontal curves which may reduce available sight distance.

A finite element optimization has been carried out to maximize the available stopping sight distance at vertical crest curves overlapped with horizontal curves in two-lane roads. A software application in Matlab was developed to calculate the sight distance profile. In order to simulate possible scenarios, different combinations of the parameters on the model have been taken into account.

The results of the software application are presented in tables. The stopping sight distance was found dependent on the ratio between the vertical crest curve parameter ( $K_v$ ) and the horizontal radius. Values of  $K_v$  lower than the minimal values established in the Spanish design guidelines satisfy the required stopping distance. On the other hand, the offset between the horizontal curve midpoint and vertical curve vertex slightly affects the available stopping sight distance. Finally, the effect of the approach grade is important even if the algebraic difference of vertical grades is kept fixed.

The three dimensional effect of the road was analyzed by the sight distance profile. It was observed that the layout visibility gets principally lost in the point where the superelevation changes its sign. Thus, the vertical curve midpoint is not the point with the highest available sight distance.

**KEY WORDS:** Alignment, Coordination, Tridimensional Sight Distance Profile, Finite Elements.

## 1. Introducción

El diseño geométrico posee una gran influencia en el nivel de seguridad vial de las carreteras. A pesar de que la seguridad vial depende de numerosos factores, la visibilidad disponible se considera uno de los más importantes puesto que permite a los conductores percibir con suficiente antelación las características de la vía y su entorno, de tal forma que una mala percepción de esta información visual puede inducir a la decisión de realizar una maniobra con menor margen de seguridad.

La concepción geométrica clásica de las vías ha sido la de caracterizar por separado el trazado en planta, el trazado en alzado y la sección transversal en un proceso iterativo, sin considerar directamente la naturaleza tridimensional de la carretera debido a la dificultad que entraña. Así, en las normativas actuales y algunas investigaciones se suele recurrir a un análisis bidimensional (2D) de la visibilidad, aunque diversos autores están ampliando el análisis con métodos tridimensionales (3D), que reflejan la visibilidad real disponible en el trazado. Si se comparan los métodos 2D y 3D, los diseños basados en métodos 2D pueden infravalorar o sobreestimar la visibilidad disponible (Hassan et al., 1997). Dentro de los modelos 3D, se han realizado aproximaciones gráficas (Sánchez, 1994), con elementos finitos (Hassan et al., 1996; Hassan y Easa, 1998; García y Romero, 2007; Romero y García, 2007; Yan et al., 2008) o analíticas (Lovell et al., 2001; Ismail y Sayed, 2007; Lovell y Kim, 2010). Únicamente se han aplicado métodos de elementos finitos para optimizar la visibilidad del trazado (Romero y García, 2007).

La visibilidad disponible depende de la geometría de la vía. Los trazados actuales se suelen caracterizar por un frecuente solape de curvas horizontales y acuerdos verticales con el fin de conseguir una mejor adaptación al terreno, lo cual permite minimizar tanto el volumen de tierras como los impactos

ambientales. En estos casos, la coordinación del trazado en planta y en alzado mejora la seguridad, la operación del tráfico y la estética (Hassan y Easa, 1998). Es más, una coordinación pobre puede generar zonas con visibilidad disponible inferior a la distancia de visibilidad requerida (Lovell et al., 2001, Lovell y Kim, 2010).

Hasta ahora, las normativas de diseño geométrico proporcionan criterios generales de coordinación planta-alzado y se especifica que el trazado en planta y en alzado no deben ser diseñados de forma independiente (AASHTO, 2004; Ministerio de Fomento, 2000). En el caso del Libro Verde (AASHTO, 2004), se estipula que el acuerdo vertical debe estar contenido completamente en la curva horizontal, mientras que en la normativa española se indica que los puntos de tangencia del acuerdo vertical deben situarse dentro de la clotoide en planta y lo más alejados de las rectas de entrada y salida a la curva. Hassan et al. (1997) estudiaron las localizaciones donde una curva horizontal no debería comenzar en relación con un acuerdo vertical para asegurar que la distancia de parada o la distancia de anticipación fueran superiores a las necesarias, definiéndolas como zonas rojas. En su estudio, concluyeron que las zonas rojas disminuían con el incremento del peralte en la curva horizontal y el uso de acuerdos verticales más tendidos. No obstante, no se analizó el efecto del desfase entre el vértice del acuerdo vertical y la curva horizontal. Además, otros autores han analizado el perfil de visibilidad disponible para determinar el trazado en alzado (Taiganidis, 1998; Hassan, 2003; Nehate, 2006) aunque los métodos de cálculo de la visibilidad eran 2D.

Otro de los criterios específicos de coordinación entre la planta y el alzado es la razón entre el parámetro del acuerdo vertical y el radio de la curva horizontal ( $Kv/R$ ). Con el fin de evitar efectos ópticos inseguros, la normativa española recomienda que dicha razón sea la inversa del peralte

en tanto por uno o como mínimo 6. García (2004) analizó analíticamente el problema tridimensional, partiendo de unos análisis previos de Miguel Vallés, suponiendo que la carretera se encontraba embebida en un único plano, igual al peralte, de forma que la visibilidad es completa en toda la curva horizontal solapada con el acuerdo vertical aunque el análisis 2D mostrara que existían zonas ocultas en la proyección vertical. Se propuso que para maximizar la visibilidad disponible la razón debería encontrarse entre 6 y 14. Posteriormente, Romero y García (2007) desarrollaron una aplicación para optimizar la visibilidad de trazado empleando algoritmos genéticos. Los resultados indicaron que la razón óptima se encontraba entre 5,5 y 16,8. Además, valores del parámetro del acuerdo vertical ( $Kv$ ) inferiores a los indicados en la normativa española también proporcionaban una visibilidad de trazado adecuada si la coordinación entre la planta y el alzado era óptima.

## 2. Objeto del Estudio

El principal objetivo de la investigación es maximizar la visibilidad de parada disponible en los acuerdos verticales convexos solapados con curvas horizontales en carreteras de calzada única. Para alcanzar el objetivo principal, se han determinado los siguientes objetivos secundarios: desarrollar una metodología de cálculo de la visibilidad 3D e implementarla en una aplicación informática, generar múltiples escenarios combinando los parámetros tanto de la planta, el alzado y su coordinación y analizar los resultados para maximizar la visibilidad disponible.

## 3. Metodología

La metodología para calcular la visibilidad tridimensional se ha desarrollado en Matlab, e incluye cuatro procesos principales: obtención de la superficie de la vía en 3D; cálculo de la

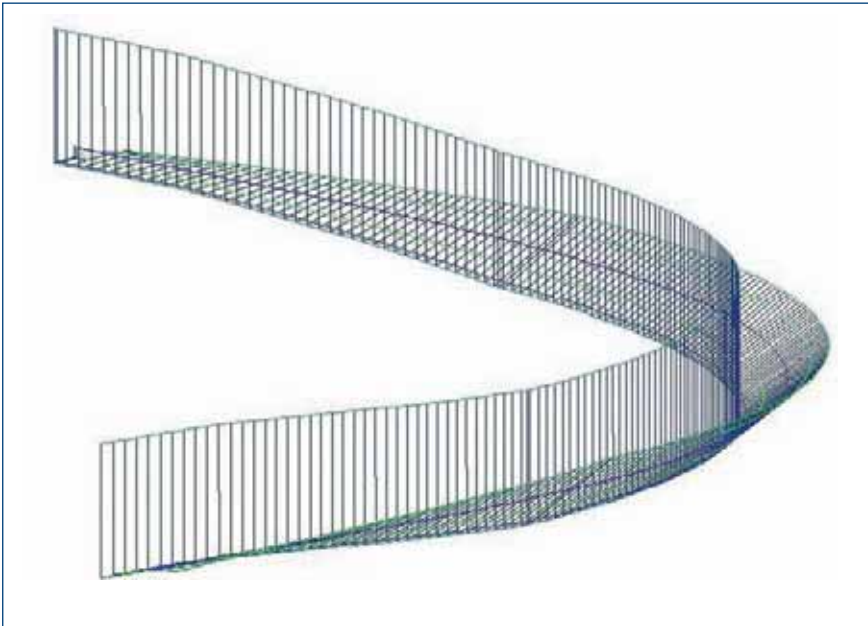


Figura 1: Modelo de superficie 3D de acuerdo vertical convexo y curva horizontal.

distancia de visibilidad 3D; determinación del perfil de distancia de visibilidad; y deducción de la distancia de visibilidad mínima a lo largo de la curva.

Posteriormente, la metodología se ha aplicado a diferentes escenarios. En ellos, se ha considerado la variación de los siguientes parámetros: (a) de la curva horizontal: radio, ángulo girado; parámetro de las clotoides; y peralte; (b) del acuerdo vertical: pendiente de la rampa de entrada; pendiente de la rampa de salida; y parámetro del acuerdo vertical; (c) de la coordinación entre la planta y el alzado: desfase entre el vértice del acuerdo vertical y el

centro de la curva horizontal; (d) de la sección transversal: anchura de carril y de arcén; (e) posición del conductor: distancia lateral respecto al borde del carril y altura; (f) posición del objeto: distancia lateral respecto al borde del carril y altura; y (g) sentido de giro. Un total de 665.280 geometrías se han analizado variando estos parámetros.

**Superficie 3D de la vía**

El primer paso para el cálculo de la distancia tridimensional es la obtención de la malla que representa la superficie de la vía. Para ello, se han

empleado elementos rectangulares de cuatro nodos dentro del modelo de elementos finitos.

El primer paso de este proceso es parametrizar todas las características de la curva horizontal y vertical al eje de la vía. Así, a partir de los datos de entrada al algoritmo se han calculado las coordenadas (x,y,z) de cada punto del eje. Posteriormente, se calculan para cada nodo de la malla las coordenadas (x,y,z) a partir de las del eje dada la distancia al eje y la pendiente transversal. Al indexar todas las características al eje, era posible modelizar las geometrías más genéricas tanto en planta como en alzado y su coordinación. La distancia entre secciones transversales puede ser controlada por el usuario, y tras los correspondientes análisis de sensibilidad, se determinó que 2 m eran suficientes para obtener un perfil de visibilidad adecuado sin aumentar en exceso el tiempo de computación.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de superficie 3D. En la margen izquierda se ha representado un talud vertical con un plano vertical.

**Visibilidad tridimensional**

La visibilidad se ha calculado con una metodología iterativa basada en un bucle de comprobación. En él, se

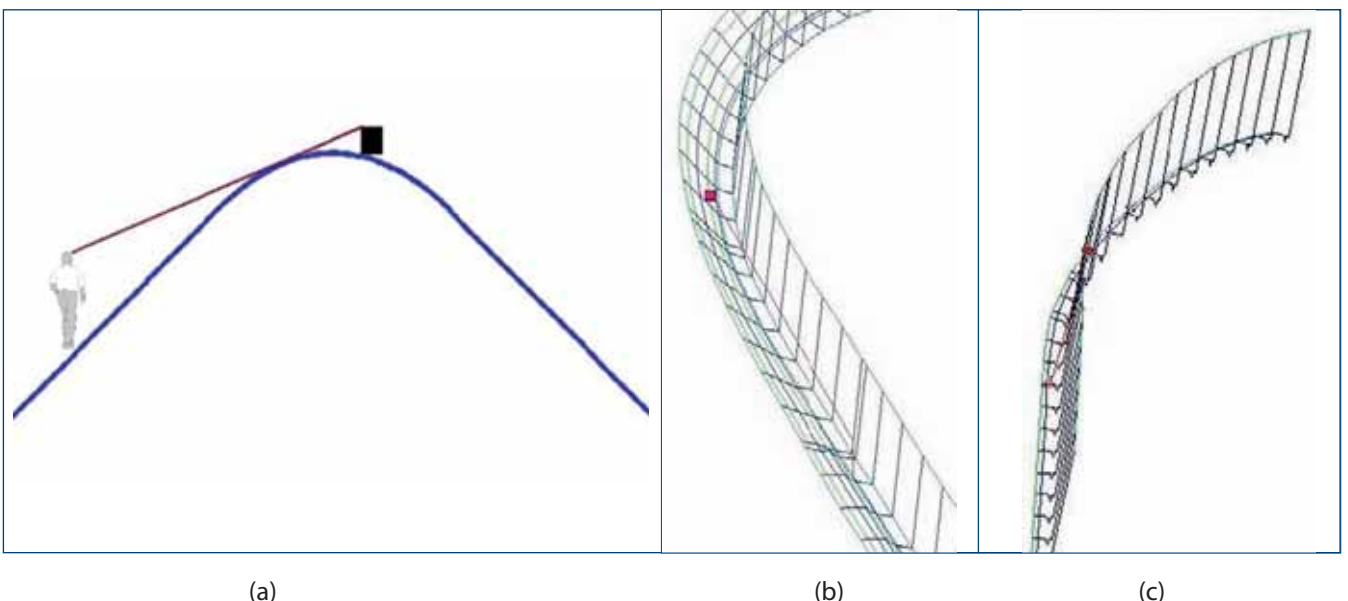


Figura 2: Primera posición del objeto: (a) localización; (b) caso visible; (c) caso no visible.

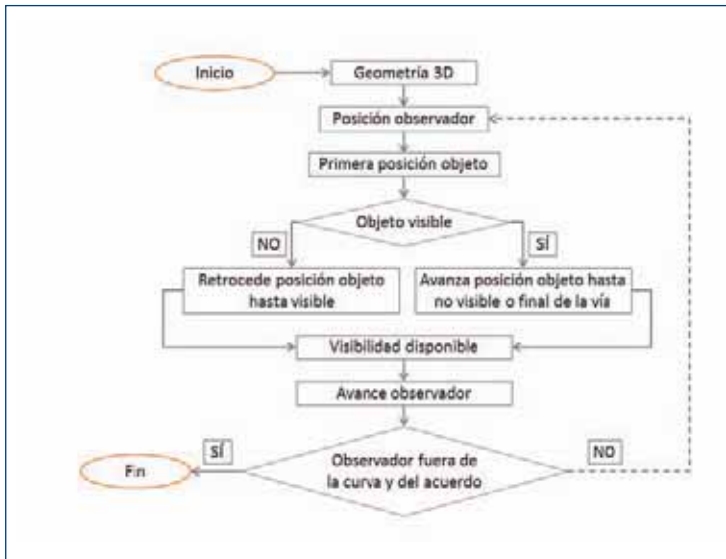


Figura 3: Diagrama de flujo para el cálculo de la visibilidad de parada disponible.



Figura 4: Diagrama de flujo para la comprobación de visibilidad.

colocaba el conductor en una sección transversal y el objeto a una distancia variable  $S$  por delante de la posición del conductor; y en dicha situación se comprobaba si la visual entre el conductor y el objeto se obstruía por alguna superficie de la vía. En caso contrario, el bucle continuaba hasta que el objeto no era visible o el objeto se encontraba más allá de la curva horizontal. En consecuencia, en este estudio, el proceso básico de iteración era el siguiente:

- Paso 1: iniciar  $S$  (primera posición del objeto).

- Paso 2: actualizar  $S$  ( $S=S+\Delta S$ ).
- Paso 3: posicionar el objeto a una distancia  $S$  delante de la posición del conductor con una altura  $H$  sobre la superficie de la carretera.
- Paso 4: comprobar si algún elemento obstruye la visual entre el conductor y el objeto.
- Paso 5: si la visual no se obstruye por ningún elemento, repetir los pasos 2-4.
- Paso 6: si la visual se obstruye por algún elemento entre el observador y el objeto, la distancia de visibilidad se determina como  $S-\Delta S$  y

se detiene el proceso de iteración.

Para optimizar el tiempo de computación, el primer objeto se colocaba donde la visual entre el conductor y el objeto con una altura  $H$  era tangente con la proyección vertical del acuerdo (Figura 2a).

En caso de que el objeto en su primera posición era visible, se seguía el proceso básico de iteración. En caso contrario, el proceso de iteración se modificaba de la siguiente manera:

- Paso 1: iniciar  $S$  (primera posición del objeto).
- Paso 2: actualizar  $S$  ( $S=S-\Delta S$ ).
- Paso 3: posicionar el objeto a una distancia  $S$  delante de la posición del conductor con una altura  $H$  sobre la superficie de la carretera.
- Paso 4: comprobar si algún elemento obstruye la visual entre el conductor y el objeto.
- Paso 5: si la visual se obstruye por ningún elemento, repetir los pasos 2-4.
- Paso 6: si la visual no se obstruye por algún elemento entre el observador y el objeto, la distancia de visibilidad se determina como  $S$  y se detiene el proceso de iteración.

En la Figura 3 se resume el diagrama de flujo para determinar la visibilidad de parada disponible.

Por otro lado, ha sido necesario desarrollar otro algoritmo para evaluar si un objeto es visible dadas la posición del observador y el objeto. En la Figura 4 se

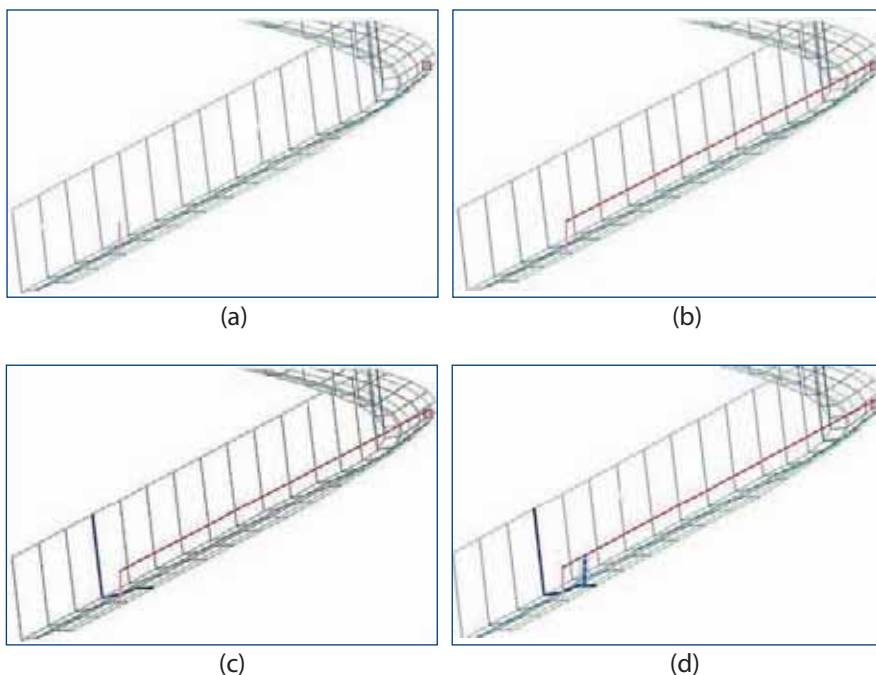


Figura 5: Proceso de comprobación de visibilidad: (a) ubicar el conductor y el objeto; (b) visual; (c) determinar una sección intermedia; (d) comprobar la intersección entre la visual y la sección intermedia.

muestra el diagrama de flujo seguido. Una vez las ubicaciones de conductor y objeto se han fijado, la condición de visibilidad se comprobaba en todas las secciones intermedias entre ambos. En cada sección intermedia, se calculaba la intersección en planta entre la visual y la sección transversal. En dicho punto, se comparaba la cota entre la sección transversal y la visual, de tal forma que si la cota de la visual era superior a la cota de la carretera, la visual no estaba obstruida por la vía en dicha sección, por lo que no suponía un obstáculo a la visual. A continuación, se consideraba la siguiente sección intermedia. En caso de que en alguna de las secciones intermedias se encontrara la visual por debajo de la cota del elemento correspondiente de la sección transversal, la vía intercepta la visual entre el conductor y el objeto, por lo que el objeto resultaría no visible desde la posición del conductor.

La Figura 5 ilustra el proceso de comprobación de visibilidad.

### Perfil de visibilidad y visibilidad mínima

El perfil de visibilidad indica la visibilidad disponible en cada una de las posiciones de conductor evaluadas. De él, es posible deducir la visibilidad mínima a lo largo del elemento viario, valor que puede reflejar dónde la curva debe ser mejorada, en caso de que la visibilidad mínima sea inferior a la requerida. La precisión del algoritmo se ha comprobado comparando los resultados de visibilidad en numerosas curvas con programas comerciales.

### Modelo de optimización

La investigación estaba centrada en la optimización de la distancia de visibilidad de parada. En consecuencia, se han adoptado la posición y altura del conductor y el objeto de las especificadas en la Instrucción de Trazado (2000): 1,1 m de altura del conductor; 0,2 m de altura de objeto y po-

sición tanto del conductor como del objeto a 1,5 m del borde derecho del carril. El algoritmo permite también el cálculo de la distancia de visibilidad de trazado (de la propia calzada) y de adelantamiento disponible si se varía la posición y altura de ambos.

El modelo de optimización ha generado 665.280 geometrías diferentes analizando distintas combinaciones de parámetros de la planta, el alzado y su coordinación. Los escenarios simulados han considerado los siguientes parámetros:

- De la planta:
  - Radio: entre 100 y 350 m.
  - Ángulo de giro: entre 30 y 100°.
  - Parámetro de las clotoides: entre el mínimo y el máximo indicados en la normativa española de trazado.
  - Longitud de la recta de entrada y salida: 200 m.
- Del alzado:
  - Pendiente de la rampa de entrada: entre -5 y 5%.
  - Pendiente de la rampa de salida: entre -5 y +5%. Se han considerado un total de 55 combinaciones de ángulo girado en el acuerdo vertical desde 1 al 10%.
  - Parámetro del acuerdo vertical: entre el 80% del mínimo y el parámetro deseable indicados en la normativa española de trazado.

- De la coordinación planta-alzado:
  - Desfase entre el vértice del acuerdo vertical y el centro de la curva horizontal: entre -18 y +18 m.
- De la sección transversal:
  - Carriles: anchura de 3,5 m y peralte del 7%.
  - Arcenes: anchura de 1,5 m y peralte del 7%.
  - Bermas: anchura de 0,5 m y peralte del 4%.
  - Cuneta: triangular con anchura de 1,5 m y profundidad de 0,5 m.
  - Despeje lateral: 100 m.
  - Distancia entre secciones transversales: 2 m.
- Sentido de giro:
  - Izquierda.
  - Derecha.

A partir de la combinación de los parámetros, se obtenía la geometría de la vía. Era posible que el acuerdo vertical no quedara incluido totalmente en la curva horizontal.

## 4. Resultados y Análisis

De los numerosos resultados obtenidos, en los siguientes apartados se va a desarrollar el análisis del perfil de visibilidad de parada y el efecto de la geometría en la visibilidad disponible mínima en un acuerdo vertical convexo solapado con una curva horizontal.

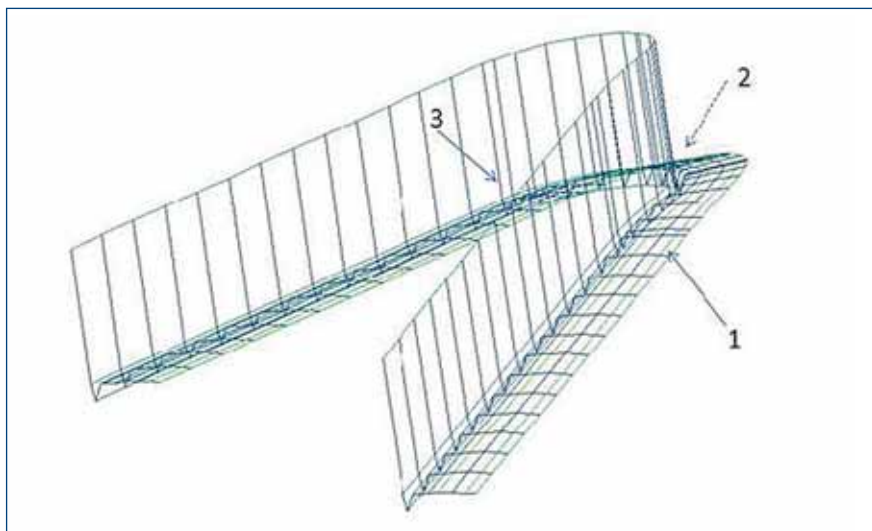


Figura 6: Efecto de la coordinación 3D de un acuerdo convexo solapado con una curva horizontal.



**Perfil de visibilidad disponible**

El efecto tridimensional de la vía sin presencia de obstáculos laterales se ha analizado empleando el perfil de visibilidad disponible 3D. El análisis 2D de un acuerdo vertical convexo simétrico indica que el punto medio del acuerdo es el punto con una mayor visibilidad, puesto que su cota en la proyección bidimensional es la mayor de todas y la visual lanzada desde dicho punto no podría ser interceptada por la superficie de la vía. No obstante, en el análisis 3D de la visibilidad se puede observar cómo dicho punto se encuentra en un mínimo local del perfil. En consecuencia, el concepto bidimensional no se produce en la realidad. De hecho, el efecto tridimensional de la vía genera no una única cima, sino que se producen dos promontorios y una hondonada. Los promontorios se localizan con anterioridad al punto medio de la curva, aproximadamente donde el peralte cambia de signo, mientras que la hondonada se ubica alrededor del punto medio del acuerdo. En consecuencia, el punto medio, el cual en la proyección vertical tiene la máxima cota, queda obstruido por los promontorios adyacentes, por lo que el punto medio presenta una visibilidad disponible menor. En la Figura 6, donde se muestra la representación tridimensional de un acuerdo convexo

solapado con una curva horizontal, se observa el efecto de la coordinación 3D, donde los puntos indican los dos promontorios (1 y 3) y la hondonada (2).

El perfil de visibilidad disponible determina la distancia de visibilidad de parada disponible para el conductor en cada posición y es posible la distinción de dos tipos de perfil de visibilidad: con obstáculos laterales y sin obstáculos laterales.

En el primero de los perfiles, la visibilidad disponible únicamente depende de la geometría tridimensional de la vía. En este perfil, se pueden observar dos puntos de visibilidad mínima (Figura 7a). Ambos mínimos corresponden con los puntos ubicados con anterioridad a los dos promontorios que se generan por el efecto de la coordinación 3D, mientras que existe un máximo local coincidente con el primero de los promontorios. Se puede observar en la figura cómo tanto el giro a derechas como a izquierdas (ambos en la misma curva, es decir, los dos sentidos opuestos) tienen el mismo efecto tridimensional, aunque la visibilidad 3D en el giro a izquierdas es mayor que en el giro a derechas puesto que en el giro a derechas el conductor está ubicado en la parte inferior del plano del peralte, resultando una mayor limitación de visibilidad por la superficie de la vía.

El segundo tipo de perfil de visibilidad se corresponde con los acuerdos

verticales convexos solapados con curvas horizontales a lo largo de secciones en desmonte, donde existe un talud de desmonte vertical en el interior de la curva que limita la visibilidad disponible (Figura 7b). La sección transversal empleada en este caso es una sección 7/10, con bermas de 0,5 m de anchura y 6,5 m de despeje lateral (medido desde el borde interior de la calzada). Se puede observar cómo se genera únicamente una zona de mínimo local causada por la obstrucción lateral. En esta zona, la visibilidad mínima se mantiene aproximadamente constante puesto que la visibilidad de parada se limita por el obstáculo lateral más que por el efecto tridimensional de la vía. Además, la diferencia entre la visibilidad disponible mínima entre el giro a izquierdas y a derechas es mayor en comparación con las curvas sin obstáculos laterales. En este caso, en el giro a izquierdas, el conductor está posicionado en el carril exterior, por lo que la propia plataforma de la carretera le proporciona un despeje lateral adicional en comparación con el giro a derechas, y, en consecuencia, la distancia de visibilidad disponible es superior.

**Efecto de la geometría**

En este apartado, se analiza la influencia de los parámetros geométricos en la visibilidad disponible,

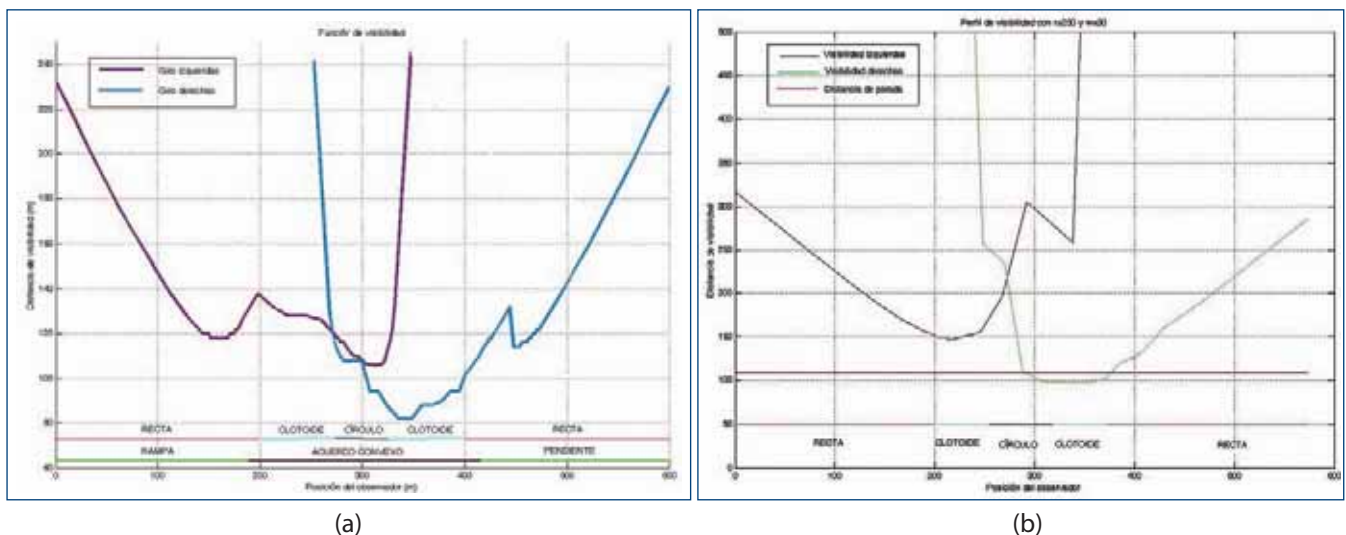


Figura 7: Perfiles de visibilidad disponible: (a) sin obstáculos laterales; (b) con obstáculos laterales.

concretamente: el desfase entre el vértice del acuerdo vertical convexo y el centro de la curva horizontal (d), la pendiente de la rampa de entrada (pe), la longitud de la curva horizontal (L), y la razón entre el parámetro del acuerdo vertical y el radio de la curva horizontal (Kv/R). Para ello, se ha comparado la distancia de visibilidad disponible mínima resultante en los escenarios simulados.

*Desfase entre el vértice del acuerdo vertical convexo y el centro de la curva horizontal*

En primer lugar, se ha analizado el efecto entre el desfase existente entre el vértice del acuerdo vertical y el centro de la curva horizontal. Se ha definido como desfase positivo aquél donde el centro de la curva horizontal se encuentra en una posición anterior al vértice del acuerdo vertical, considerando el sentido de avance según el giro a izquierdas en la curva.

En la Figura 8 se han representado los perfiles de visibilidad disponible, para una curva de radio 250 m, en función del desfase para el sentido de giro a izquierdas. Para ello, se ha incorporado a la representación de los perfiles de visibilidad una nueva dimensión: el desfase. Cada una de las líneas de la figura corresponde con el perfil de visibilidad asociado a un determinado desfase entre el vértice del acuerdo vertical y el centro de la curva horizontal, estando representados los perfiles sobre un eje transversal al plano de representación de la gráfica. En ella se puede observar cómo la distancia de visibilidad mínima se maximiza cuando los dos mínimos locales que presenta el perfil de visibilidad son iguales. Se han unido los puntos correspondientes a los mínimos locales, y la intersección entre las dos líneas, que determina el desfase óptimo, se encuentra en un desfase ligeramente negativo, aunque la sensibilidad en los valores de distancia de visibilidad es escasa. En el giro a derechas, el efecto del desfase es contrario, por lo

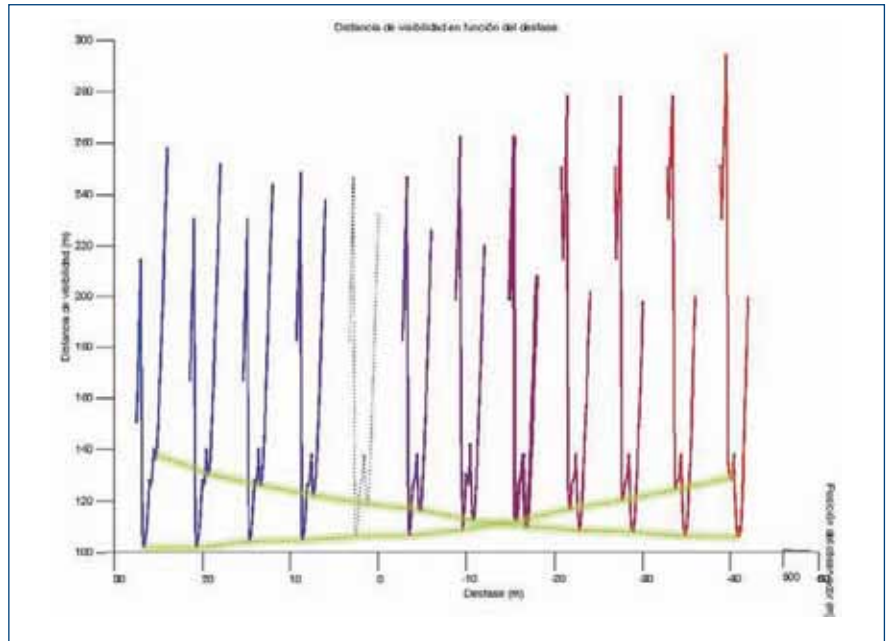


Figura 8: Efecto del desfase en el perfil de visibilidad de parada de un giro a izquierdas

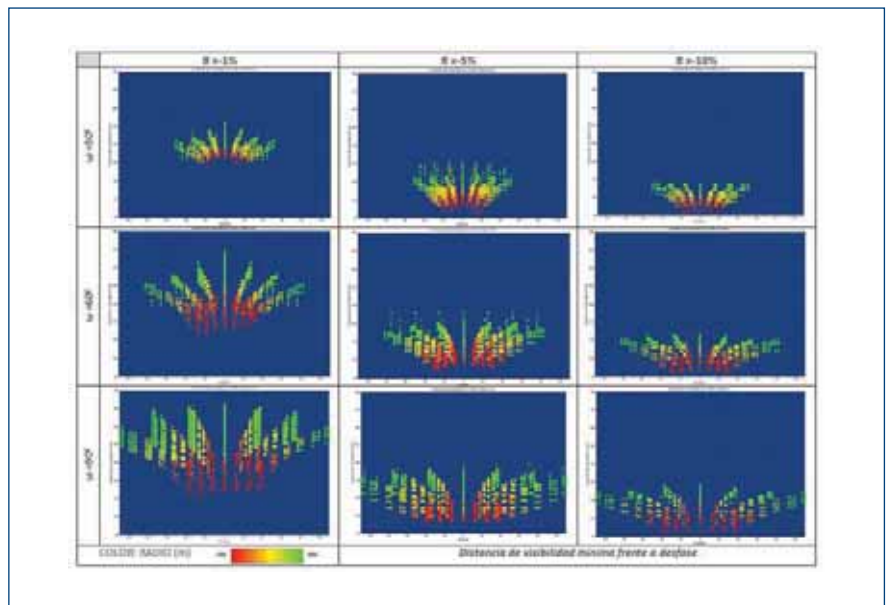


Figura 9: Efecto del desfase en la visibilidad disponible

que el desfase que optimiza la visibilidad de parada es positivo.

En otras palabras, tanto en los giros a derechas como en los giros a izquierdas, el centro de la curva horizontal debería situarse en una posición posterior al vértice del acuerdo vertical en el sentido de giro para maximizar la visibilidad disponible, por lo que el signo del desfase favorece a un sentido de giro penalizando la visibilidad resultante en el sentido de giro contrario.

Como las curvas de las carreteras de calzada única poseen los dos sentidos de giro, se debería encontrar el

óptimo considerando ambas direcciones de circulación. Debido a que el giro a derechas es más restrictivo que el giro a izquierdas, la distancia de visibilidad mínima de la curva se limitaría por el giro a derechas. En consecuencia, el desfase óptimo es ligeramente positivo. Por otro lado, se ha estudiado la influencia del desfase en diferentes curvas mediante un ábaco (Figura 9).

Las filas y las columnas del ábaco representan el ángulo girado por la curva horizontal y el ángulo girado (diferencia algebraica de pendientes) por el acuerdo vertical, respectivamente.

Además, el color de los puntos de las gráficas indica el radio según la leyenda. Se puede observar cómo el desfase óptimo se encuentra cercano a cero en la mayoría de los casos, aunque el desfase ligeramente positivo es más favorable en el caso de acuerdos más tendidos y curvas horizontales de menor longitud, mientras que el desfase negativo proporciona más visibilidad en los acuerdos más pronunciados. No obstante, se puede concluir que el impacto del desfase es bastante reducido, por lo que un criterio general de optimización sería adoptar un desfase nulo.

*Pendiente de entrada*

Al igual que en el caso del desfase, el impacto de la pendiente de entrada en la visibilidad disponible se ha representado en un ábaco que depende de cuatro parámetros (Figura 10). En las filas, se representa el ángulo girado por la curva horizontal mientras que en las columnas se encuentra la diferencia algebraica de pendientes, por lo que en cada celda se muestran los resultados para curvas con igual ángulo de deflexión y ángulo girado por el alzado. En las gráficas, se representa la visibilidad disponible frente a la pendiente de entrada, con el color indicando el radio de la curva horizontal.

Se puede observar cómo el efecto de la pendiente de entrada es superior en aquellas curvas con una mayor diferencia algebraica entre pendientes, al igual que en las curvas con mayor desarrollo y en las curvas con menor radio, y el valor óptimo de la pendiente de entrada está entre 0 y 3%.

Por otro lado, la dispersión en la visibilidad disponible es superior en curvas con mayor ángulo de giro.

*Razón Kv/R*

El efecto de la razón entre el parámetro del acuerdo vertical y el radio de la curva horizontal en la visibilidad de parada depende de la diferencia algebraica entre pendientes. Como se

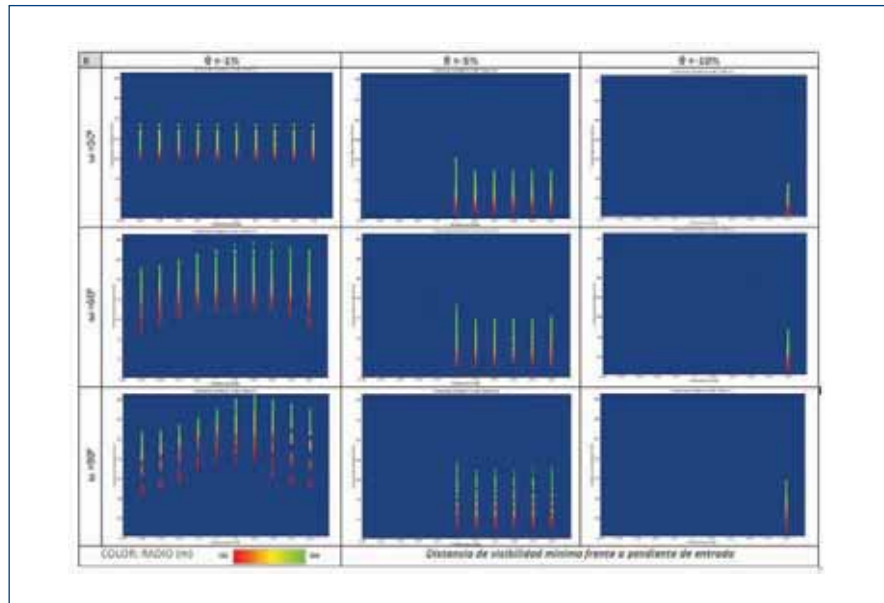


Figura 10: Efecto de la pendiente de entrada en la visibilidad disponible

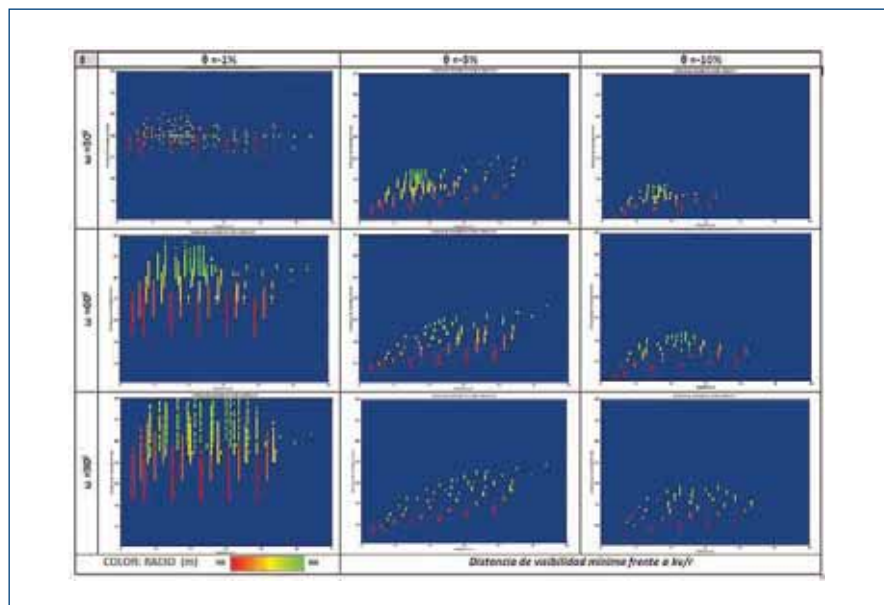


Figura 11: Efecto de Kv/R en la visibilidad disponible

observa en la Figura 11, se ha representado la visibilidad disponible en función de la razón Kv/R, el radio de la curva horizontal (color), el ángulo de giro (filas) y la diferencia algebraica entre pendientes (columnas). Se puede deducir que al aumentar la razón Kv/R, la visibilidad disponible aumenta en aquellas curvas donde el acuerdo es más pronunciado, mientras que en los acuerdos con diferencia algebraica de pendientes reducida, la visibilidad no depende de dicha razón. Es más, al aumentar la razón Kv/R se reduce la visibilidad disponible.

Por otro lado, se ha comparado la distancia de visibilidad disponible

disponible con la distancia de parada requerida según la Instrucción de Trazado (Ministerio de Fomento, 2000).

En la Figura 12, se ha representado en ordenadas el ratio entre la visibilidad disponible y la distancia de parada necesaria, de tal forma que si dicho ratio es superior a la unidad, la curva proporciona la visibilidad necesaria para realizar la maniobra de parada. Como se muestra en la Figura 11, los radios mayores proporcionan una mayor distancia de parada. No obstante, el ratio entre la visibilidad disponible y la distancia de parada es inferior que en las curvas con un radio

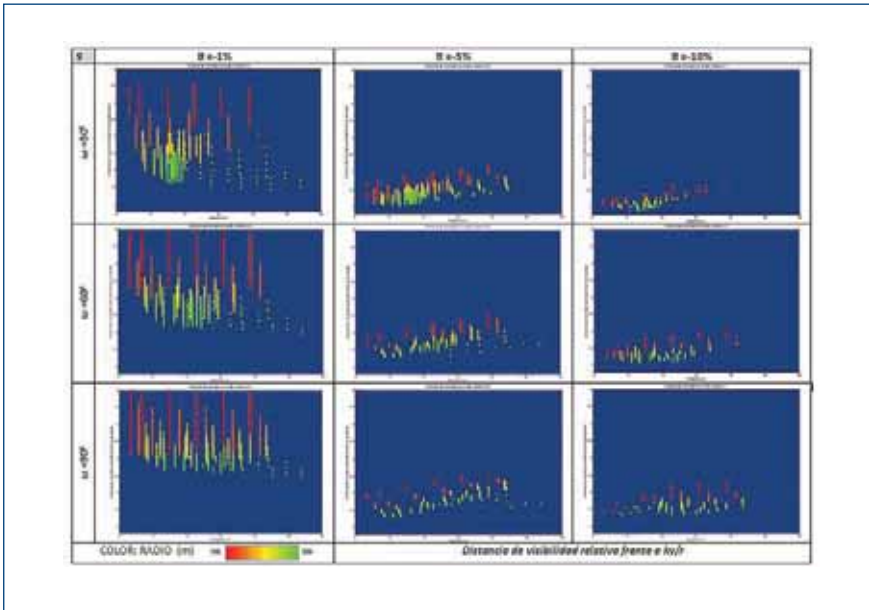


Figura 12: Efecto de Kv/R en la visibilidad disponible.

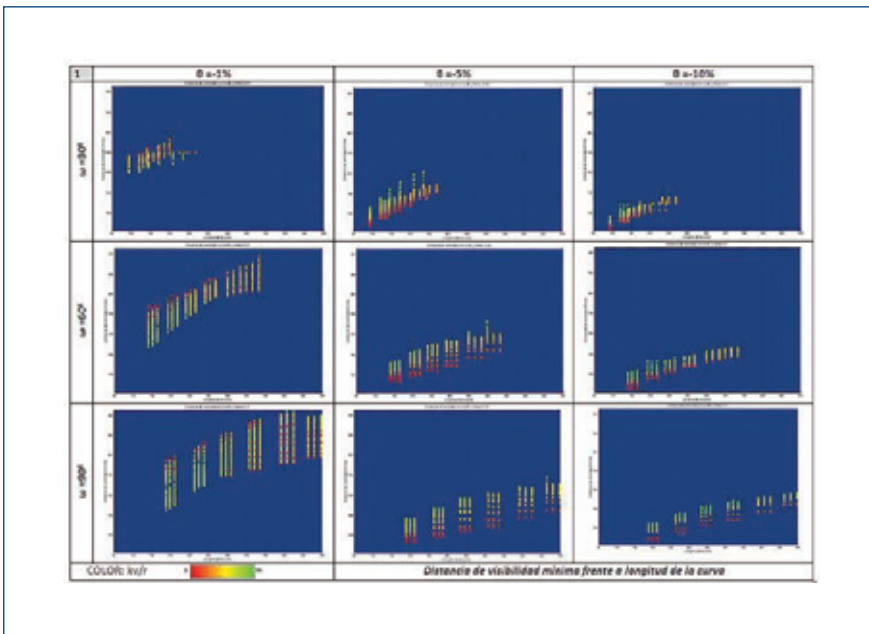


Figura 13: Efecto de la longitud de la curva horizontal en la visibilidad disponible.

más reducido.

En consecuencia, el incremento de la visibilidad disponible es inferior al incremento de la distancia de parada necesaria. Además, aun con un parámetro del acuerdo vertical un 20% inferior del indicado en la normativa se satisface la visibilidad necesaria en prácticamente todos los casos, excepto en las curvas con menor ángulo de giro y los acuerdos con diferencia algebraica de pendientes del 10%.

*Longitud de la curva horizontal: radio y ángulo de giro*

La influencia de la longitud de la curva en la visibilidad disponible se ha representado en la Figura 13. En ella, como en las figuras anteriores, se muestran en filas y columnas el ángulo de giro y la diferencia algebraica de pendientes, respectivamente. Dentro de cada celda, se representa el radio de la curva y la razón Kv/R (color). Comparando los resultados en una celda, al aumentar la longitud de la curva, se consigue una mayor visibilidad de parada. En consecuencia, los radios mayores proporcionan más visibilidad.

En el caso de la diferencia algebraica de pendientes, se encuentra una relación logarítmica entre la distancia de visibilidad y la longitud de la curva. En el ábaco se puede observar cómo el efecto de la diferencia de pendientes es importante en la visibilidad: cuanto mayor es dicha diferencia, menor es la visibilidad resultante.

La leyenda de color indica la razón Kv/R. En este ábaco se pueden extraer conclusiones similares a las de la Figura 11, donde se observaba que en los acuerdos más tendidos y cercanos a la horizontal, una mayor razón Kv/R disminuía la visibilidad, mientras que en los acuerdos más pronunciados, al aumentar la razón también lo hace la visibilidad disponible.

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

El objetivo de este estudio es maximizar la visibilidad disponible en los acuerdos verticales convexos solapados con curvas horizontales en carreteras de calzada única. En el artículo se ha presentado un método de elementos finitos para calcular la visibilidad tridimensional y se ha adaptado a la visibilidad disponible. Además, se han proporcionado criterios específicos en la coordinación planta-alzado para maximizar la visibilidad de parada, incluyendo un análisis del perfil de visibilidad tridimensional a lo largo de una curva.

Para ello, se ha desarrollado una aplicación en Matlab basada en el método de elementos finitos que calcula la visibilidad 3D mínima en un acuerdo vertical convexo coincidente con una curva horizontal, al igual que su perfil de visibilidad.

Sobre el perfil de visibilidad tridimensional, se ha podido constatar cómo la naturaleza tridimensional del trazado de las vías no se puede analizar únicamente desde la concepción clásica de visibilidad bidimensional. Se puede comprobar cómo la visibilidad en el trazado se pierde principalmente en la transición de peralte del

borde exterior de la curva, específicamente, en el punto en el que el peralte cambia de signo. En consecuencia, el punto central del acuerdo, con una mayor cota, no es el que proporciona una mayor visibilidad de parada disponible.

Los resultados de la aplicación del programa a más de 600.000 escenarios se han presentado en tablas donde la visibilidad de parada disponible depende de cuatro parámetros. Estos resultados han proporcionado numerosas conclusiones, entre las que destaca que la razón entre el parámetro del acuerdo vertical ( $K_v$ ) y el radio de la curva horizontal afecta a la visibilidad de parada, y se ha podido observar que la proporción óptima se encuentra entre 5 y 15. Además, valores de  $K_v$  inferiores a los establecidos en la norma española también proporcionan visibilidad suficiente, por lo que se puede conseguir una visibilidad adecuada si la coordinación entre la planta y el alzado es correcta incluso con parámetros de acuerdo vertical menores que el mínimo indicado. Es más, en las curvas con escasa diferencia algebraica entre pendientes, el aumento del  $K_v$  reduce la visibilidad disponible. Es importante destacar que, a pesar de que al aumentar el radio de la curva horizontal la visibilidad disponible es mayor, el incremento de necesidad de distancia de parada es superior al aumento de la visibilidad disponible. Por otro lado, se ha observado una leve influencia del desfase entre el vértice del acuerdo vertical y el centro de la curva horizontal en la visibilidad de parada, por lo que un criterio general de optimización sería adoptar un desfase nulo. Por último, el efecto de la pendiente de entrada es importante incluso si la diferencia algebraica de pendientes se mantiene fija, encontrado el óptimo entre 0 y 3%.

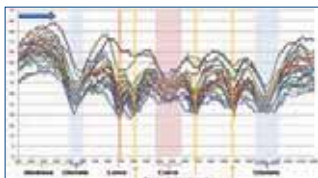
A partir de los resultados y aplicaciones obtenidas, se plantean futuras líneas de investigación que incluyen la presencia de obstáculos laterales en diferentes posiciones y con distinta

naturaleza, la determinación del despeje lateral mínimo, la aplicación de esta metodología a proyectos de carreteras o a vías en explotación y el balance de diferenciales de coste y mejora de distancia de visibilidad. Además, se comprobará si el aumento de la visibilidad geométrica es percibido por los conductores en la realidad.

## Referencias

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (2004). A policy on geometric design of highways and streets, Washington, D.C.
- [2] Easa, S.M. (2009). Improved Sight Distance model for vertical curves with overpasses. *Journal of Transportation Research Board* vol 2120, 28-36
- [3] García, A. (2004). Optimal vertical alignment analysis for highway design – Discussion. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 130, Issue 1, pp 138.
- [4] García, A. y Romero, M.A. (2007). 3D Calculation of Stopping-Sight Distance from GPS Data – Discussion. *Journal of Transportation Engineering*, 2007, Vol. 133, Issue 11, pp. 645-646.
- [5] Hassan, Y., Easa, S.M., y Abd El Halim, A.O. (1996). Analytical model for sight distance analysis on three-dimensional highway alignments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1523, pp. 1-10.
- [6] Hassan, Y., Easa, S.M., y Abd El Halim, A.O. (1997). Design considerations for combined highway alignments. *Journal of Transportation Engineering*, Vol 123, No. 1, pp 60-68.
- [7] Hassan, Y. y Easa, S.M. (1998). Design considerations of sight distance red zones on crest curves. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 124, No. 4, pp 343-352.
- [8] Hassan, Y. y Easa, S.M. (2000). Modeling of required preview sight distance. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No.1, pp. 13-20.
- [9] Hassan, Y. (2003). Improved design of vertical curves with sight distance profiles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1851, pp. 13-24.
- [10] Ismail, K. y Sayed, T. (2007). New algorithm for calculating 3D available sight distance. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 133, No.10, pp. 572-581.
- [11] Lovell, D., Jong, J.C. y Chang, P. (2001). Improvements to sight distance algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127, No.4, pp. 283-288.
- [12] Lovell, D. y Kim, D.G. (2010). A procedure for 3-D sight distance evaluation using thin plate splines. *4th International Symposium on Highway Geometric Design*, Valencia.
- [13] Ministerio de Fomento. (2000). Instrucción de Carreteras, Norma 3.1 – IC “Trazado”, Madrid.
- [14] Romero, M.A. y García A. (2007). Optimal overlapping of horizontal and vertical curves maximizing sight distance by genetic algorithms. *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2007.
- [15] Sánchez, E. (1994). A 3-dimensional analysis of sight distance on interchange connectors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1445, *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington D.C., 1994, pp. 101-108.
- [16] Taiganidis, I. (1998). Aspects of stopping-sight distance on crest vertical curves. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 124, No. 4, pp. 335-342.
- [17] Yan, X., Radwan, E., Zhang, F. y Parker, J.C. (2008). Evaluation of dynamic passing sight distance problem using a finite-element model. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 134, No.6, pp. 225-235. ❖

# Evaluación del Efecto de la Tipología y la Separación de los Elementos Moderadores de la Velocidad en la Funcionalidad del Tráfico



## Evaluation of Effect of Type and Spacing of Traffic Calming Devices on Traffic Operation

**Alfredo García**  
Catedrático

Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras  
Universitat Politècnica de València

**Mario Romero**

PhD, Purdue University, Indiana, USA

**Ana Tsui Moreno**

Personal Investigador

Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras  
Universitat Politècnica de València

**Antonio José Torres**

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

### Resumen

La moderación del tráfico es una de las medidas de seguridad vial más empleadas para reducir tanto la frecuencia como gravedad de los accidentes de tráfico en vías urbanas y travesías. Sin embargo, la implementación de medidas de moderación implica una reducción de la capacidad de las vías.

En el presente artículo se ha estudiado el efecto de la moderación del tráfico en la capacidad de travesías mediante un estudio de microsimulación de tráfico. Concretamente, se ha analizado la influencia de la separación entre elementos y el tipo de dispositivos. Para obtener la capacidad, se ha calculado la demora media producida a lo largo de la travesía, para posteriormente fijar la capacidad de la vía dada una separación entre moderadores del tráfico como aquella intensidad de tráfico a partir de la cual la demora presenta un crecimiento exponencial. La capacidad de las travesías varía entre 810 y 1300 vehículos por hora y carril de circulación con una separación entre elementos entre 25 y 400 m.

Por otro lado, se ha analizado la funcionalidad de la travesía según la intensidad de tráfico, determinando la zona en la cual los vehículos circularían en flujo libre. Dicha zona depende de la separación entre dispositivos y del tipo de dispositivo, y su límite se encuentra sobre los 700-800 veh/h. Extrapolando los resultados a la intensidad media diaria, se puede concluir que los dispositivos moderadores del tráfico pueden implementarse en vías con intensidad media diaria entre 9000 y 12000 veh/día funcionando en flujo libre, el cual supone un umbral significativamente superior al establecido en la Instrucción de Fomento, de 5000 veh/día.

**PALABRAS CLAVES:** moderación del tráfico, capacidad, microsimulación de tráfico.

### Abstract

Traffic calming is widely implemented to improve road safety in order to reduce both frequency and severity of road crashes. This measure is often implemented on urban roads and crosstown roads. However, the implementation of traffic calming devices implies less capacity of cross-town roads.

The present research used traffic microsimulation to study the effect of traffic calming devices on the cross-town roads capacity based on different type and spacing of devices. Average delay was calculated. Then, the capacity of the road was obtained for a fixed traffic calming device spacing as the flow rate from which delay presented exponential growth. Capacity of a cross-town road varied between 810 and 1,300 vehicles per hour and lane with traffic calming devices spacing from 25 to 400 meters.

On the other hand, operational performance was also studied based on average delay per car. Free-flow condition zone was identified depending on both type and spacing. It was found that the threshold of free flow conditions was about 700-800 veh/h. According to typical Spanish daily distribution of traffic, hourly values were extrapolated to daily values. Consequently, the recommended maximum daily traffic volume to implement traffic calming measures is between 9,000 and 12,000 veh/day. The value is much higher than the 5,000 veh/day recommended on Spanish Standards.

**KEY WORDS:** traffic calming, capacity, traffic microsimulation.

## 1. Introducción

La moderación del tráfico es una práctica que se ha extendido principalmente en los países desarrollados. En algunos países, esta medida se ha incorporado a través del diseño urbano del espacio público, usualmente con programas que restringen el tráfico individual y favorecen e impulsan el tráfico colectivo y la mejora de la calidad ambiental. La moderación del tráfico tiene dos objetivos principales: la reducción de la frecuencia de los accidentes y la gravedad de los mismos, y la mejora del medio ambiente del entorno en donde se implementan (Sanz, 2008). Esto implica, en algunos casos, la reducción de la intensidad de tráfico y, por supuesto, la disminución de la velocidad de los vehículos que circulan a través de la zona.

Entre los elementos que más se emplean en la moderación del tráfico, destacan las medidas que implican una alteración en el alzado de la vía, como los pasos peatonales elevados, los lomos transversales o los resaltes prefabricados. Los lomos transversales son elevaciones de la rasante de la calzada, mediante un perfil curvo, diseñado específicamente para mantener una velocidad reducida, mientras que un resalte prefabricado es un lomo transversal en un tramo corto, inferior a 1 m de longitud. Por su parte, los pasos peatonales elevados consisten en la elevación de la superficie que ocupa un paso para peatones a una altura de escasos centímetros sobre la calzada, proporcionando una meseta por la que cruzan los peatones, y que dispone de unas rampas de acceso a la sobreelevación en el sentido longitudinal de paso de los vehículos.

En los últimos años, se han desarrollado bastantes normativas y guías para el diseño de los dispositivos de moderación del tráfico (Ewing y Brown, 2009; ITE, 2007; Ministerio de Fomento, 2008; Dirección General de Obras Públicas de la Comunidad Valenciana, 2004; CERTU, 2010, FHWA,

2010). En ellas, se especifican las características geométricas y las ubicaciones más apropiadas de los dispositivos de moderación del tráfico (DMT), así como el rango de tráfico recomendado en el que se pueden implementar. Según la Instrucción de Fomento (2008), se recomienda la implementación de medidas de moderación del tráfico en travesías con una intensidad media diaria de hasta 5000 vehículos/día, mientras que en otras normativas internacionales dicho umbral es de 10000 vehículos/día (CERTU, 2010, FHWA, 2009).

Se han llevado a cabo varias investigaciones para analizar el efecto de las medidas de moderación del tráfico en la operación del tráfico. En ellas, se ha obtenido una disminución en la velocidad de operación del 18% (Ewing, 1999; Hallmwak et al., 2002; Zech et al., 2009). En estudios antes-después, se ha comprobado que la velocidad media se reduce entre 6 y 13 km/h en pasos elevados y en lomos transversales (Hallmark et al., 2002; Hallmark et al., 2008; Zech et al., 2009). Además, la reducción de velocidad en los lomos transversales es superior que en los otros dispositivos (Fehr & Peers Transportation Consultants, 2010). Por su parte, Pau y Angius (2001) determinaron que los resaltes prefabricados no eran efectivos, puesto que no existían diferencias estadísticamente significativas en los valores observados a lo largo de una vía.

Por otro lado, la reducción de velocidad por la presencia de moderadores del tráfico depende en gran medida de la distancia entre medidas (Ewing y Hodder, 1996; García et al., 2010). Es más, si el espaciamiento es muy reducido, existe un efecto de acumulación de medidas, por el que las medidas funcionan de forma conjunta y redundante (Zech et al, 2009; Abate et al., 2009). No obstante, los efectos del tipo de moderador del tráfico vertical y la distancia entre moderadores en la capacidad o en la operación del tráfico no han sido analizados hasta el momento.)

## 2. Objetivos

El principal objetivo de la investigación es determinar los efectos de los elementos de moderación del tráfico que suponen una variación de la rasante de la vía en la capacidad y funcionalidad del tráfico en travesías.

Para ello, se han identificado una serie de objetivos: observar y analizar el comportamiento de los conductores en cinco travesías con moderadores del tráfico empleando dispositivos rastreadores GPS, calibrar y validar un modelo de microsimulación, aplicar el modelo a diversos escenarios configurados con diferentes distancias entre elementos y sometidos a crecientes demandas de tráfico, y analizar los resultados. En consecuencia, la metodología empleada incluye tres etapas

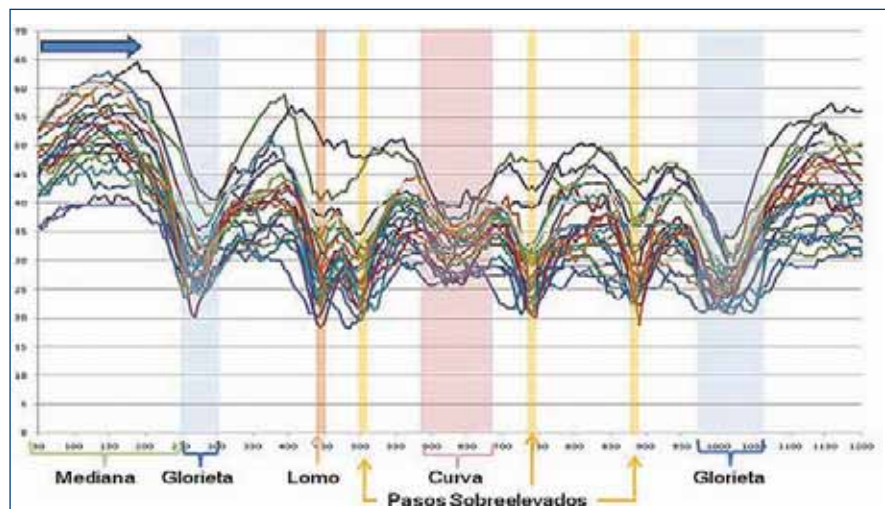


Figura 1: Perfiles continuos de velocidad individuales obtenidos en la travesía de Genovés.

principales: estudio de campo, modelo de microsimulación de tráfico y análisis de los resultados. Cada una de las etapas se desarrolla en las siguientes secciones.

### 3. Estudio de campo

La primera etapa de la investigación consistía en seleccionar cinco travesías de la provincia de Valencia con elementos de moderación del tráfico. La selección de travesías se ha realizado siguiendo las recomendaciones de un estudio de seguridad vial previo, considerando: intensidad media diaria, longitud de la travesía y tipo de medidas de moderación del tráfico existentes. Las travesías seleccionadas fueron: Genovés (IMD = 2600 veh/d; L = 925 m); Quatretonda (IMD = 3240 veh/d; L = 685 m); Llutxent (IMD = 2930 veh/d; L = 580 m); Albalat de la Ribera (IMD = 4230 veh/d; L = 860 m); y Chelva (IMD = 2450 veh/d; L = 1250 m). En total se analizaron 16 pasos elevados y 5 lomos transversales. Las características de los escenarios se resumen en Moreno et al. (2011).

La toma de datos se realizó con dispositivos rastreadores GPS, que registraban cada segundo la posición del vehículo de los conductores voluntarios. Para la entrega y recogida de los GPS, se situaron dos controles de carretera por lo menos 1 km antes y después de la población, para que los conductores pudieran desarrollar la velocidad deseada antes de llegar a la población. En dichos controles, se paraban a los conductores de vehículos ligeros y se les pedía su colaboración en un estudio de seguridad vial. Tras su consentimiento, se les colocaba un dispositivo GPS en el techo o el capó del vehículo y se les recordaba que condujeran como lo hacían habitualmente. Mediante grabaciones de vídeo y la obtención de velocidades puntuales antes y durante las observaciones, se comprobó que los conductores no modificaban su comportamiento por las pruebas realizadas. En cada travesía, se tomó

una muestra de al menos 80 vehículos por sentido, con una muestra final de más de 900 vehículos. Posteriormente, se obtuvieron los perfiles de velocidad y aceleración de los vehículos en flujo libre (Figura 1). Cerca de un 10% de la muestra inicial se descartó por no encontrarse en flujo libre, desvíos o paradas. Además, las características geométricas de los lomos y los pasos peatonales elevados se midieron con un perfilómetro digital, obteniendo el perfil longitudinal de las medidas de moderación en la sección por la que los vehículos circulaban. Tras la toma de datos, se filtraron y rotaron las coordenadas. Posteriormente, se calcularon las pendientes y la altura (García et al., 2010).

Los perfiles se correlacionaron con la ubicación y características geométricas de los dispositivos. Por tanto, el comportamiento de los conductores se asoció con la geometría de las medidas de moderación del tráfico.

### 4. Modelo de Microsimulación

El programa de microsimulación de tráfico VISSIM 5.1 se seleccionó para analizar la capacidad en travesías con elementos de moderación del tráfico. En esta sección se presenta una breve descripción del modelo de microsimulación del tráfico y los principales aspectos que son críticos para modelizar la operación del tráfico.

#### Programa de microsimulación de tráfico:

VISSIM 5.1 es un programa de microsimulación del tráfico multimodal que puede asignar el comportamiento a vehículos individuales que circulan por una red desde su origen a su destino. Es más, las variables macroscópicas también pueden analizarse gracias a las reglas de calibración del programa, y se pueden modelizar diferentes modos de transporte y su interacción. VISSIM 5.1 puede utilizarse en múltiples análisis como estudios de movilidad, sistemas inteligentes

de tráfico o sistemas de explotación y gestión de la red (Fellendorf y Vortisch, 2001; Barceló et al., 2011). El programa de microsimulación de tráfico está constituido por dos subprogramas. El primero de ellos genera el modelo de flujo de tráfico, donde se definen todas las variables relacionadas con la red. En el segundo subprograma se incluyen las reglas de comportamiento de los vehículos, peatones, etc. que dependen de los parámetros del flujo de tráfico. Para el modelo de comportamiento, se emplea el modelo de Wiedemann, en el cual la respuesta de un vehículo es función de la velocidad relativa percibida con el vehículo que le precede. Después, se puede producir cuatro respuestas: circulación en flujo libre, aproximación, seguimiento y frenada. Además, VISSIM tiene implementado un modelo de cambio de carril.

#### Calibración y validación del modelo de microsimulación:

La calibración del modelo de microsimulación es uno de los pasos más importantes al emplear este tipo de herramientas, puesto que así se verifica que el comportamiento de los vehículos en el simulador de tráfico representa el comportamiento de los conductores en la realidad.

La calibración del modelo se ha realizado empleando la travesía de Genovés. En el modelo de microsimulación se ajustaron los datos de volumen de tráfico, composición, pendiente y perfiles de velocidad. Los perfiles de velocidad se representaron por siete percentiles: 0, 5, 15, 50, 85, 95 y 100 deducidos del estudio de campo, que incluían a todas las travesías, no únicamente la de Genovés.

Para modelizar los cambios temporales de velocidad que sufren los vehículos en el entorno de las medidas de moderación del tráfico, se generaron unos conectores alrededor de las medidas con longitud igual a 5 m, que constituían las áreas de velocidad reducida. En ellas, se asignó la distribución



de perfiles de velocidad obtenida del estudio de campo, al igual que la deceleración media y la aceleración media. No obstante, únicamente con las áreas de velocidad reducida no se puede modelizar el comportamiento completo de los conductores al sobrepasar una medida de moderación del tráfico, puesto que con anterioridad a las medidas, los conductores ya modifican su comportamiento para adaptar la velocidad deseada a la velocidad de paso sobre el elemento. En consecuencia,

se definieron unas áreas de decisión de velocidad con anterioridad y posterioridad a los elementos. Estas áreas comenzaban 25 m antes de los elementos y se extendían hasta 25 m después de los mismos, puesto que en su longitud se ha considerado la mayor reducción de velocidad antes de un moderador del tráfico, que suele ser a partir de la situación de la señal de resalte. En dichas áreas, se asignaron los perfiles de velocidad observados. Una vez el modelo estaba definido y cali-

brado según los datos de campo, se realizó la validación de los resultados. En este caso, se disponía de la geometría de la travesía de Genovés pero con los datos procedentes de las cinco travesías observadas. En la validación se comprobó que la distribución del perfil de velocidad en la travesía de Genovés con los datos de la propia travesía era similar que la que proporcionaba el modelo de microsimulación, puesto que las otras variables permanecían constantes durante la simulación.

Tabla 1: Distribución de simulaciones.

Medida	% Vehículos pesados	Distancia (m)	Volumen de tráfico inicial (veh./h)	Volumen de tráfico final (veh/h)	Salto de volumen de tráfico (veh./h)	Simulaciones
Sin moderadores	0	-	100	2100	200	11
Pasos elevados (Pe<5%)	0-20 (Salto 5)	25	100	2100	200	55
		50	100	2100	200	55
		100	100	2100	200	55
		200	100	2100	200	55
		400	100	2100	200	55
Pasos elevados (Pe>5%)	0	25	100	2100	200	11
		50	100	2100	200	11
		100	100	2100	200	11
		200	100	2100	200	11
		400	100	2100	200	11
Lomos transversales	0	25	100	2100	200	11
		50	100	2100	200	11
		100	100	2100	200	11
		200	100	2100	200	11
		400	100	2100	200	11
					<b>TOTAL</b>	<b>396</b>

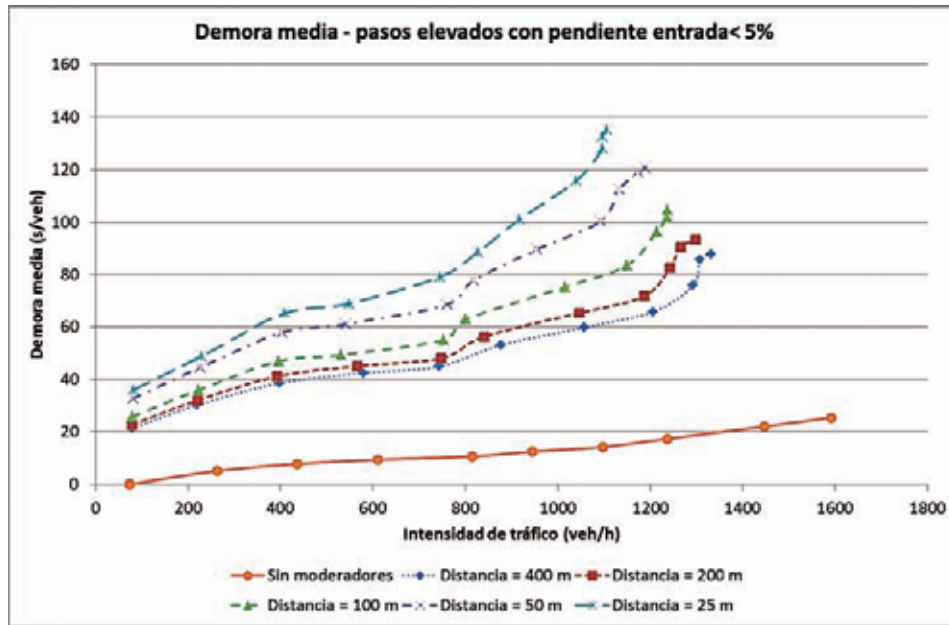


Figura 2: Demora media en pasos peatonales eleva.

**Escenarios simulados:**

Tras la calibración y validación del modelo de microsimulación, se generaron diversos escenarios para analizar el efecto de las medidas de moderación del tráfico en la capacidad de la travesía. Para ello, se creó una travesía ideal con un trazado consistente en una única recta con longitud igual a 1400 m. En ella, se dispusieron diferentes escenarios en función de la distancia entre moderadores y el tipo de elementos. El espaciamiento

entre medidas variaba entre 25 y 400 m, de tal forma que los elementos se distribuían a lo largo de los 900 m centrales. El primer y el último segmento, con longitud de 250 m cada uno, no poseía moderadores del tráfico. El número y ubicación de las medidas se deducía en función del espaciamiento seleccionado. En cuanto a los tipos de medidas, se consideraron los pasos peatonales elevados con pendiente inferior al 5%, pasos elevados con pendiente superior al 5% y lomos transversales. Además, se estudió el

efecto de los vehículos pesados, con porcentajes de vehículos pesados entre el 0 y 20% en el caso de pasos elevados con pendiente inferior al 5%. En cada una de las combinaciones anteriores, el volumen de tráfico se iba aumentando paulatinamente desde 100 veh/h hasta 2100 veh/h, con un salto de 200 veh/h. En la Tabla 1 se resumen las 396 simulaciones ejecutadas.

Tras la generación de los escenarios, se ejecutaron las simulaciones. Cada simulación tenía una duración de 75 minutos, de la cual los primeros

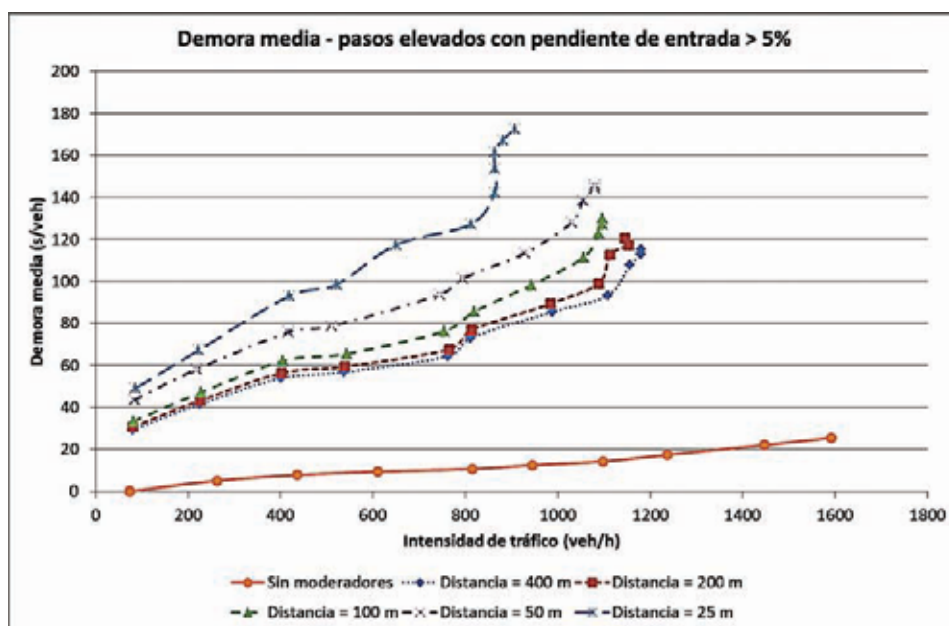


Figura 3. Demora media en pasos peatonales elevados con pendiente de entrada superior al 5%.

10 minutos servían para llenar la red de vehículos y estabilizar el flujo de tráfico, y los últimos 5 minutos para vaciar la misma. En consecuencia, dichos periodos no eran considerados en el análisis. Dentro del análisis, se han evaluado diversos niveles de demanda, puesto que el objeto de la investigación era determinar la capacidad en las travesías con diferentes espaciamientos entre dispositivos de moderación del tráfico y tipos de moderadores. Por tanto, el flujo de tráfico se incrementaba progresivamente. En cada simulación, se obtenía la demora media.

### 5. Resultados del Modelo de Microsimulación

Los resultados de las diferentes simulaciones se han analizado en dos partes fundamentales: influencia en la capacidad e influencia en la funcionalidad del tráfico.

#### Capacidad

La capacidad de un segmento de vía se define como la intensidad máxima horaria que es capaz de absorber medida en vehículos por hora. La capacidad de cada escenario se ha calculado en función de la demora media, que se ha representado en función de la intensidad de tráfico. Posteriormente,

la capacidad se ha determinado como la intensidad de tráfico a partir de la cual el incremento en la demora era exponencial, en lugar de utilizar un umbral predeterminado. Los principales resultados se presentan en función del tipo de moderador del tráfico: pasos elevados y lomos transversales. Además, se incluye el análisis del efecto de los vehículos pesados.

#### Pasos elevados

El análisis de la capacidad se ha realizado en función de la pendiente de la rampa de entrada del paso elevado, puesto que en estudios anteriores se ha confirmado como un factor clave en la elección de velocidad por parte de los conductores: a mayor pendiente de entrada, menor velocidad sobre el dispositivo (Moreno et al., 2011). Además, no se encontraron correlaciones entre la altura del dispositivo y la velocidad de paso o la reducción de velocidad. En este primer análisis, no se han considerado vehículos pesados.

Como se puede observar en la Figura 2 y Figura 3, la demora media en los pasos elevados depende tanto de la distancia entre dispositivos como de la intensidad de tráfico. En consecuencia, la capacidad depende del espaciamiento de las medidas de moderación del tráfico. La demora media

varía entre 75 y 105 segundos, en el caso de pasos elevados con pendiente de entrada inferior al 5%, mientras que en el segundo caso de pasos los valores se encuentran entre 95 y 142 segundos, por lo que la demora media se aumenta entre un 50 y 100% en función de la pendiente de la rampa de entrada, lo cual demuestra cómo la pendiente de entrada es un factor clave en la demora media, y, en consecuencia, en la capacidad. Las figuras muestran que sin medidas de moderación del tráfico, la operación es similar a la de una travesía simple, sin reducciones de velocidad causadas por los moderadores. Básicamente, la demanda se satisface plenamente hasta la última intensidad de tráfico introducida en el modelo. Al incorporar las medidas de moderación del tráfico, la capacidad de la travesía disminuye, como se muestra en la Tabla 2. La diferencia entre la capacidad de una travesía sin moderadores del tráfico y con moderadores del tráfico es superior en el caso de los moderadores con mayor pendiente de entrada.

En la Tabla 2 se proponen dos valores de capacidad, uno recomendado y otro máximo. Para cada valor de distancia, se ha comparado la capacidad sin moderadores del tráfico y la asociada a dicho espaciamiento y se ha obtenido la reducción en la capacidad. Además, se ha calculado la

Tabla 2: Capacidad de travesías con pasos peatonales elevados.

Pe (%)	Distancia (m)	Propuesta				Máxima			
		Capacidad (veh/h)	% sin MDT	Velocidad media (km/h)	Nivel de servicio	Capacidad (veh/h)	% sin MDT	Velocidad media (km/h)	Nivel de servicio
-	Sin MDT.	1.700	-	50	B	1.700	-	50	B
<5	400	1.200	29	30	D	1.290	24	28	D
	200	1.180	31	29	D	1.240	27	27	D
	100	1.150	32	27	D	1.210	29	25	E
	50	1.090	36	25	E	1.130	34	24	E
	25	1.040	39	23	E	1.090	36	21	F
>5	400	1.100	35	26	E	1.155	32	24	E
	200	1.085	36	25	E	1.100	35	23	E
	100	1.080	36	22	E	1.100	35	22	E
	50	1.050	38	21	F	1.080	36	20	F
	25	810	52	22	F	860	49	20	F

Tabla 3: Capacidad de una travesía con lomos transversales.

Distancia (m)	Propuesta				Máxima			
	Capacidad (veh/h)	% sin MDT	Velocidad media (km/h)	Nivel de servicio	Capacidad (veh/h)	% sin MDT	Velocidad media (km/h)	Nivel de servicio
Sin MDT.	1.700	-	50	B	1.700	-	50	B
400	1.190	30	30	D	1.270	25	28	D
200	1.170	31	28	D	1.220	28	26	E
100	1.110	35	26	E	1.160	32	24	E
50	1.050	38	24	E	1.080	36	23	E
25	1.025	40	22	E	1.050	38	21	F

velocidad media de recorrido y se ha obtenido el nivel de servicio asociado a dicha velocidad, evaluando las condiciones operacionales.

En los pasos elevados con menor pendiente de entrada, la implementación de dispositivos separados 400 m en la travesía ya implica una reducción de capacidad del 24%. Es más, la capacidad se reduce en un 36% en el caso de una distancia entre moderadores de 25 m, mientras que el valor es del 28% en las travesías con elementos distanciados 100 m. Se puede observar cómo las diferencias son superiores en los pasos elevados con mayor pendiente de entrada: mientras que una separación de 400 m implica una reducción de la capacidad en un 32%, en el caso de 25 m esta es del 49%. Un segundo análisis de los valores refleja que existen dos umbrales a partir

de los cuales se produce un mayor descenso en la capacidad. El primero de ellos es común a todos los pasos elevados y se localiza en 400 m. El segundo depende de la pendiente de la rampa de entrada: 100 m y 50 m para pendientes de entrada menores al 5% y superiores al 5%, respectivamente.

Para analizar las condiciones operacionales de los anteriores umbrales de capacidad, se han calculado los niveles de servicio utilizando la metodología del Manual de Capacidad (2000) para vías urbanas. Atendiendo a la clasificación funcional y la categoría de diseño, las travesías se pueden clasificar como vías urbanas de clase II. Así, el parámetro para determinar el nivel de servicio es la velocidad media de recorrido. A partir de la demora media, se ha calculado la velocidad media de recorrido en cada condición

de capacidad. Se puede observar en la Tabla 2 que el nivel de servicio en capacidad varía entre D y F, por lo que los valores propuestos operan cerca de congestión. Consecuentemente, la definición de capacidad en función de la demora es precisa. Los resultados indican que al reducir la distancia entre elementos, las condiciones operacionales son peores. Es más, se llega incluso a flujo inestable con distancias de separación inferiores a 100 m. Por otro lado, los pasos elevados con pendiente superior presentan un nivel de servicio inferior al E.

### Lomos transversales

Como en los pasos elevados, la demora media se ha calculado sin considerar vehículos pesados. En la Figura 4 se muestra la demora media en los

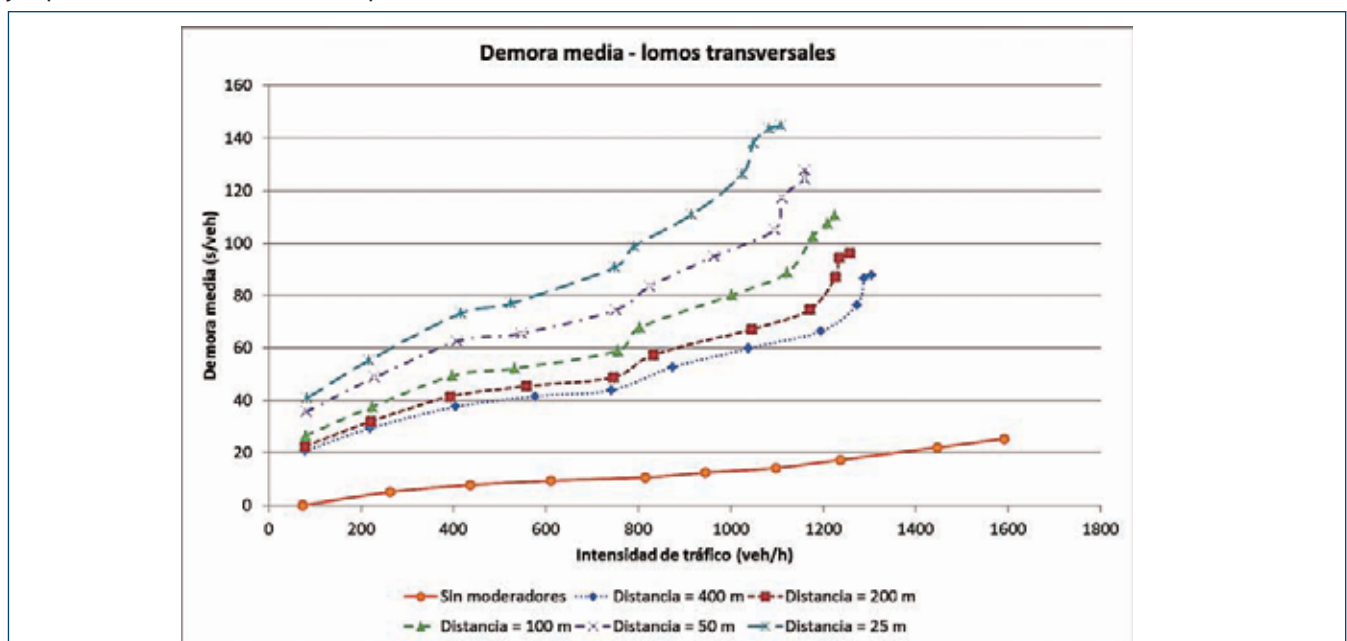


Figura 4: Demora media en lomos transversales.

Tabla 4: Porcentaje de reducción de capacidad en función de la composición.

Distancia (m)	Porcentaje de vehículos pesados	
	10%	20%
Sin MDT	-	-
400	2	5
200	2	5
100	3	5
50	3	8
25	4	10

lomos transversales en función de la separación y la intensidad de tráfico. Los resultados se comparan con aquellos sin elementos de moderación del tráfico. La demora media, en el caso de los lomos transversales, es muy similar a la de los pasos elevados en el caso de distancia entre dispositivos superior a 200 m. A medida que se reduce dicho espaciamiento, los lomos transversales provocan una mayor reducción que los pasos elevados con pendiente menor al 5%, y, en consecuencia, una menor capacidad. La capacidad de las travesías con lomos transversales en función de la distancia entre lomos se resume en la Tabla 3. Se puede observar cómo la capacidad se reduce un 38% en la menor distancia entre dispositivos mientras que si la distancia entre elementos es de 400 m, dicha reducción es del 25%, y presenta una menor sensibilidad al espaciamiento que los pasos elevados. Como dicha sensibilidad es menor, en este caso sólo se considera un espaciamiento crítico: 400 m. Por lo tanto, la implementación de únicamente dos elementos de moderación del tráfico afecta ya a la capacidad reduciéndola en un 25%.

Al igual que con los pasos elevados, se ha calculado la velocidad media de recorrido para determinar el nivel de servicio asociado a la capacidad propuesta, obteniendo niveles de servicio D y E; luego se sigue confirmando la validez de la hipótesis de capacidad basada en el crecimiento exponencial de la demora. Como ocurría en los pasos elevados, el espaciamiento tiene un efecto en el nivel de servicio, de forma que al reducir el espaciamiento,

el nivel de servicio se reduce de B a D, incluso con dos únicos elementos separados 400 m.

**Efecto de los vehículos pesados**

Los análisis anteriores se han realizado considerando únicamente vehículos ligeros. No obstante, habitualmente el porcentaje de vehículos pesados en las travesías varía entre el 0 y 15%, y suelen circular en las horas punta. Así, se han definido distribuciones de velocidad en el modelo para incluir también a los vehículos pesados. Además, se han introducido en el modelo de microsimulación datos específicos de vehículos pesados tipo en España como: longitud, anchura, peso, potencia, aceleración deseada, aceleración máxima, deceleración deseada y deceleración máxima, tanto para camiones como para autobuses. En este caso, se han empleado los pasos elevados con una pendiente de entrada inferior al 5% y cinco composiciones diferentes: 0, 5, 10, 15 y 20% de vehículos pesados. De forma similar a las simulaciones sin vehículos pesados, se ha obtenido la demora media y en función de esta, la capacidad de la travesía.

Los resultados se muestran en la Tabla 4. Con el fin de facilitar la comprensión de los mismos, se ha comparado la capacidad con y sin vehículos pesados en cada uno de los espaciamientos considerados. Se puede observar que la influencia de los vehículos pesados aumenta con el espaciamiento, y con el porcentaje de vehículos pesados. La disminución de capacidad varía entre el 2 y 10%

respecto a los escenarios con únicamente vehículos ligeros, que ya presentaban una notable reducción de capacidad. Además, se produce una mayor dispersión de los resultados al aumentar el porcentaje de vehículos pesados.

**Funcionalidad del Tráfico**

La operación del tráfico se ha estudiado en función de la demora media por vehículos. A partir de los resultados (Figuras 2,3 y 4), se ha podido deducir que el espaciamiento es un parámetro clave en la demora media, de tal forma que para una demanda de tráfico constante, se pueden observar tres tendencias: sin moderadores del tráfico; con espaciamiento de 400, 200 y 100 m, y con una distancia entre elementos de 50 y 25 m. La diferencia existente entre los tres grupos es mayor conforme la demanda de tráfico se incrementa. Los escenarios con una Tabla 3. Capacidad de una travesía con lomos transversales separación entre 100 y 400 m tienen una operación del tráfico similar, luego la implementación de un único elemento tiene una influencia en el tráfico parecida a la que producirían elementos de moderación del tráfico espaciados 100 m, sin un incremento de la demora sustancial. Con un espaciamiento inferior a 100 m, se manifiesta un efecto de acumulación, en el que los elementos de moderación del tráfico funcionan como una única medida y no permiten a los conductores desarrollar la velocidad deseada entre ellos. En consecuencia, se pueden identificar dos espaciamientos críticos: 400 y 50 m. Además, se ha estudiado la operación del tráfico en función del volumen de tráfico en la red. En este análisis, se han identificado cuatro zonas claramente definidas que correlacionan la demora media y la intensidad de tráfico. Estas cuatro zonas definen distintos tipos de comportamiento del tráfico, y sus umbrales dependen del tipo de medida de moderación del tráfico y de la separación entre elementos. La primera

zona se produce para demandas de tráfico bajas, entre 0 y 400 veh/h, con un incremento rápido de la demora a medida que aumenta la demanda de tráfico, puesto que se están produciendo interacciones entre los vehículos que circulan a diferente velocidad y se generan turbulencias. El segundo comportamiento se presenta en condiciones por debajo de la capacidad de la vía. En ella, las interacciones entre los vehículos se reducen puesto que los conductores comienzan a encontrarse en la zona de flujo libre en el diagrama de velocidad-intensidad. El umbral de esta zona depende del tipo de moderador del tráfico: en el caso de los lomos transversales y los pasos elevados con una pendiente inferior al 5%, la zona se extiende hasta que el volumen de tráfico está entre 750 y 800 veh/h, y el valor no depende del espaciamiento. No obstante, el espaciamiento sí que condiciona el límite de la zona de flujo libre en los pasos elevados con una pendiente superior al 5%. En ellos, una distancia entre elementos de 25 m reduce la zona de flujo libre hasta los 600 veh/h, mientras que con un espaciamiento superior se extiende hasta 700-800 veh/h. A partir de la zona de flujo libre, se define una tercera zona hasta la capacidad, en la que la operación del tráfico se encuentra en la zona de flujo condicionado en la curva de velocidad-intensidad y se produce un aumento mayor en la demora en función de la demanda de tráfico. Este comportamiento se produce hasta que se excede la capacidad, a partir de la cual la demora crece exponencialmente.

La zona de flujo libre es la que usualmente se puede considerar como escenario de trabajo adecuado con elementos de moderación del tráfico y se asocia con un nivel de servicio C o D. Como se ha comentado anteriormente, la definición de la zona de flujo libre depende del tipo de moderador del tráfico. Se ha asumido que la intensidad horaria máxima para operar en condiciones de flujo libre es de 750 veh/h, puesto que la distancia en-

tre moderadores sea de 25 m sería excesivamente restringida. Así, se ha calculado el nivel de servicio asociado a una demanda de 750 veh/h para cada uno de los elementos y distancia entre ellos, obteniendo niveles de servicio C y D. En el caso de los pasos elevados con pendiente inferior al 5% y los lomos transversales, el nivel de servicio resultante con distancia entre elementos de 100, 200 y 400 m es C, mientras que en el resto de casos el nivel de servicio correspondiente es D. Si se considera la distribución diaria de tráfico típica en España, donde la hora punta representa entre el 12 y 17% del tráfico diario, se puede extrapolar el resultado horario a diario. En consecuencia, la intensidad diaria por carril y sentido para operar bajo condiciones de flujo libre varía entre 4500 y 6000 veh/día. Si se tienen en cuenta los dos sentidos de circulación de la travesía, la intensidad diaria máxima recomendada para implementar elementos moderadores del tráfico en una travesía está entre 9000 y 12000 veh/día. Este valor es considerablemente superior al establecido en la Instrucción de Fomento para elementos verticales, de 5000 veh/día, aunque es cercano a los indicados en otras normativas (CERTU, 2010; FHWA, 2009).

## 6. Conclusiones.

La moderación del tráfico es una medida de seguridad vial cuyo objeto es reducir los accidentes y la gravedad de los mismos al disminuir la velocidad y, en algunos casos, el volumen de tráfico. No obstante, los beneficios de la moderación del tráfico implican una reducción en la capacidad de las travesías y tiene efectos operacionales, que aún no habían sido investigados.

En el artículo se ha empleado un estudio de microsimulación de tráfico para analizar el efecto de las medidas de moderación del tráfico en travesías sobre la capacidad y la funcionalidad del tráfico, en función del tipo de moderador y la distancia entre dispositi-

vos. Para calibrar el modelo de microsimulación, se han observado cinco travesías de la provincia de Valencia mediante dispositivos rastreadores GPS en más de 900 vehículos. A partir de los datos tomados, se han deducido perfiles individuales de velocidad. Con estos perfiles, se ha calibrado y validado un modelo de microsimulación de tráfico implementado en VISSIM 5.1. Posteriormente, se han generado 396 escenarios con distintas características que no podrían haberse desarrollado en la realidad.

Con los resultados de los escenarios simulados, se ha evaluado la influencia de la separación entre dispositivos y el tipo de medida en la capacidad de las travesías. Para ello, se ha empleado la demora media, definiendo la capacidad de la vía como aquella intensidad de tráfico a partir de la cual la demora crecía exponencialmente. La validez de esta hipótesis se ha confirmado mediante la obtención del nivel de servicio asociado a la capacidad de la travesía, que variaba entre D y F. En cuanto a los valores de capacidad de la travesía, variaban entre 810 y 1300 veh/h para distancias entre elementos desde 25 a 400 m, siendo de 1150 veh/h en el caso de elementos separados 100 m. Con estos valores, la disminución de capacidad respecto a una travesía ideal se encuentra entre el 25 y 40%. Se han encontrado dos separaciones críticas, a partir de las que la capacidad varía significativamente: 400 y 50 m. Se puede observar cómo el efecto de los moderadores en la capacidad es similar con espaciamientos entre 100 y 400 m, luego la implantación de un único moderador del tráfico ya tiene una gran influencia en la capacidad de la vía. Por otro lado, distancias de separación inferiores a 50 m producen efecto de acumulación y funcionan ineficientemente, por lo que la capacidad se reduce apreciablemente.

La influencia de los pasos elevados y los lomos transversales en la capacidad también se ha comparado,

concluyendo que la capacidad es similar si los pasos elevados tienen una pendiente de entrada inferior al 5%. Los pasos elevados con mayor pendiente de entrada pueden reducir la capacidad incluso un 50% si se espacian 25 m. Por otra parte, se ha analizado la influencia de los vehículos pesados en la capacidad, encontrando que estos pueden reducir la capacidad entre un 2 y 10% respecto a la situación de sólo vehículos ligeros.

Por último, se ha estudiado la funcionalidad del tráfico en las travesías en función de la demora media por vehículo y se han detectado cuatro tipos de comportamiento. Una de las conclusiones más importantes del análisis es que, con intensidad de tráfico moderada, existe un nivel crítico de demanda de tráfico a partir de la cual la demora comienza a crecer de forma más rápida. Este nivel depende del tipo de moderador y de la distancia entre ellos, pero está cercano a los 700-800 veh/h. Con esta intensidad de tráfico, el nivel de servicio asociado es C para espaciamientos mayores a 100 m y D para espaciamientos de 25 y 50 m. Atendiendo a la distribución diaria de tráfico típica en España, la intensidad horaria máxima se puede extrapolar a la intensidad diaria. Así, la intensidad diaria máxima recomendada para implementar elementos moderadores del tráfico en una travesía está entre 9000 y 12000 veh/día, para asegurar el funcionamiento frecuente de la travesía en condiciones de flujo libre.

## Agradecimientos

La presente investigación ha sido posible gracias a la subvención del CEDEX del Ministerio de Fomento con Referencia PT-2007-052-23/APM. También se desea agradecer la colaboración de la Consellería de Infraestructuras y Transporte de la Generalitat Valenciana y de la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior por la colaboración durante la toma de datos.

## Referencias

- [1] Abate, D., Dell'Acqua, G., Lambertini, R., y Coraggio, G. (2009). Use of Traffic Calming Devices along Major Roads thru Small Rural Communities in Italy. 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [2] Barceló, J. et al. (2011). Fundamentals of Traffic Simulation, Ed. Springer, Nueva York.
- [3] CERTU (2010). Guide des coussins et plateaux, Lyon.
- [4] Dirección General de Obras Públicas de la Comunidad Valenciana (2004). Recomendaciones de la Dirección General de Obras Públicas para la ejecución de medidas de moderación de la velocidad en las travesías de las carreteras de la Comunidad Valenciana, Valencia.
- [5] Ewing, R. (1999). Traffic Calming: State of the Practice. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers, US Department of Transportation.
- [6] Ewing, R., y Hodder, R. (2009). Best Development Practices. National Center for Smart Growth, University of Maryland.
- [7] Ewing, R., y Brown, S. (2009). U.S. Traffic Calming Manual. American Planning Association, Chicago.
- [8] Federal Highways Administration (2009). Engineering Countermeasures for Reducing Speeds: A Desktop Reference of Potential Effectiveness.
- [9] Fehr & Peers Transportation Consultants. Traffic Calming. <http://www.trafficcalming.org/>.
- [10] Fellendorf, M. y Vortisch, P. (2001). Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations. Transportation Research Board, Washington, DC.
- [11] García, A., Torres, A.J., Romero, M.A., y Moreno, A.T.. Speed profiles in cross-town roads with traffic calming measures. XVI Pan-American Conference of Traffic and Transportation Engineering and Logistics, Lisbon, 2010.
- [12] Hallmark, S., Knapp, K., Thomas, G., y Smith D. (2002) Temporary Speed Hump Impact Evaluation. Iowa Department of Transportation and the Center for Transportation Research and Education at Iowa State University
- [13] Hallmark, S.L., Hawkins, N., Fitzsimmons, E., Resler, J., Plazak, D., Welch, T., y E. Petersen (2008). Use of Physical Devices for Traffic Calming Along Major Roads thru Small Rural Communities in Iowa. Transportation Research Record, No. 2078, pp. 100-107.
- [14] Institute Of Transportation Engineers (2007). Guidelines for the Design and Application of Speed Humps- Washington DC. Publication N° RP-038.
- [15] Ministerio de Fomento (2008). Instrucción Técnica para la Instalación de Reductores de Velocidad y Bandas Transversales de Alerta en Carreteras de la Red de Carreteras del Estado. Madrid.
- [16] Moreno, A.T., García, A., y Romero, M.A. (2011). Speed table evaluation and speed modeling in cross-town roads. Transportation Research Record (2203), 85-93.
- [17] Pau, M., y Angius, S. (2001). Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience. Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, pp. 585-597.
- [18] Sanz, A. (2008). Calmar el Tráfico. Pasos para una nueva cultura de movilidad. Ministerio de Fomento. Madrid.
- [19] Transportation Research Board (TRB) (2000). Highway Capacity Manual, Washington, D.C.
- [20] Zech, W.C., Walker, D., Turochy, R.D., Shoemaker, A., y Hool, J. (2009). Effectiveness of Speed Tables as a Traffic Calming Measure on a College Campus Street. Presented at 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. ❖

# Bóvedas de Transición Lumínica en Túneles de Carretera para el Aprovechamiento de la Luz Solar



## Light Transition Vault in Road Tunnels for the Exploitation of Sunlight

**Ángel García Garay**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado  
Ministerio de Fomento*

**Antonio Guirao Piñera**

*Doctor en Ciencias Físicas  
Profesor Titular de Universidad, del Departamento de Física  
– Área de Óptica – de la Universidad de Murcia*

**Jerónimo Piñera Lucas**

*Ingeniero Industrial, Responsable de Seguridad en los  
Túneles de la Red de Carreteras del Estado en Murcia  
imesAPI – Electromur-Grupo Etra (Grupo ACS)*

**Oscar Gutiérrez Bolívar**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Técnicas Avanzadas de Ingeniería y Servicios (Tainser)*

### Resumen

Cuando el conductor atraviesa el portal de un túnel experimenta una drástica reducción del nivel de iluminación, que limita su percepción del entorno y de los obstáculos que comprometen su seguridad vial. Este efecto es conocido como “Agujero Negro” y se corrige gracias a la implantación de un gran número de proyectores de elevada potencia, que permiten en el umbral del túnel al conductor adaptar su visión, pero gastan más del 30 % de la energía eléctrica consumida en todo el túnel. Por tanto, la solución es eficaz, pero no muy eficiente, puesto que se podría utilizar la luz solar para realizar la misma transición lumínica, gracias a una estructura metálica perforada, que es el objeto de este artículo, y que reproduce fielmente los niveles de luminancia exigidos por la normativa, pero con un coste inferior al de los proyectores eléctricos, por lo que se consigue un importante ahorro a perpetuidad, que permite amortizar la inversión en 4 años.

**PALABRAS CLAVES:** túnel, iluminación, bóveda de transición lumínica.

### Abstract

When the driver goes through the portal of a tunnel experiences a drastic reduction in the level of illumination, which limits his perception of the environment and obstacles that compromise his road safety. This effect is known as “Black Hole” and can be corrected thanks to the introduction of a large number of high power projectors at the entrance of the tunnel, allowing the driver to adjust his vision, but spending more than 30% of the consumed electric energy throughout the tunnel. Therefore, the solution is effective, but not very efficient, since sunlight could be used for the same light transition, through a perforated metal structure, this is the object of this article, which faithfully reproduces the levels of luminance required by the regulations, but with a lower cost than the electrical projectors, getting significant savings in perpetuity, and enabling investment payback in 4 years.

**KEY WORDS:** tunnel, lighting, dome.



## 1. Introducción

Los túneles de carretera son tramos singulares de la vía en los que cambian muy bruscamente las condiciones ambientales de iluminación.

Especialmente en días soleados, los conductores han de realizar un gran esfuerzo en pocos segundos para adaptar su visión desde el exterior del túnel, fuertemente iluminado por la luz solar, hasta la zona interior que se encuentra en penumbra.

Cuantitativamente, en el exterior del túnel, la luminancia en un día soleado puede alcanzar valores de 4.000 candelas por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), mientras que en el interior del túnel, el nivel de luminancia suele ser de sólo 3  $\text{cd}/\text{m}^2$  (véanse figuras 4 y 6).

Este cambio tan brusco del nivel de luminancia puede ocasionar el efecto de “agujero negro” en la percepción de la entrada del túnel por el conductor, que consiste en la pérdida momentánea de visión y de percepción de los objetos que se encuentran en el interior del mismo, con el consiguiente peligro para la seguridad vial (véase figura 1).

Con el fin de paliar este efecto de agujero negro se iluminan fuertemente las entradas de los túneles, para que el contraste con el exterior sea lo menor posible, disponiendo a continuación unas zonas de transición lumínica en las que se va reduciendo paulatinamente el nivel de alumbrado hasta llegar a su valor mínimo en el interior del túnel.

Actualmente este gran nivel de iluminación a la entrada del túnel se suele conseguir mediante proyectores eléctricos de vapor de sodio de alta presión, que en el portal llegan a tener 600 W de potencia, en el caso de alumbrados con los proyectores en disposición cenital (véase figura 2), y de 400 W, en el caso de alumbrados con los proyectores en disposición bilateral (véase figura 3). En ambos casos, los proyectores están muy próximos entre sí, aunque su potencia y concentración se van reduciendo al recorrer la zona de transición.



Figura 1: Efecto “agujero negro” a la entrada de un túnel, paliado mediante proyectores. \*Imagen correspondiente al acceso sur del túnel de la variante de Lorca en Murcia.



Figura 2: Iluminación de túnel con proyectores instalados en disposición cenital. \*Imagen correspondiente al interior del túnel Loma de Bas de la Autopista AP-7 (tramo Cartagena - Vera).

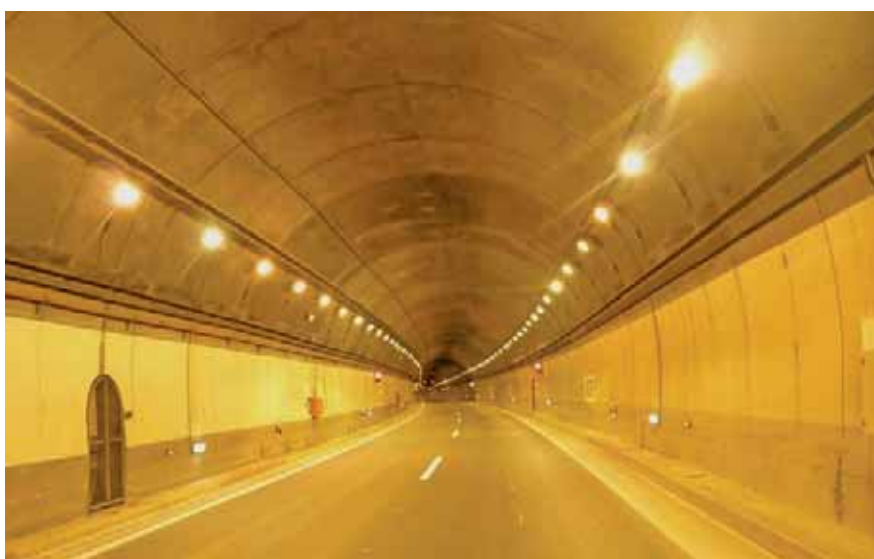


Figura 3: Iluminación de túnel con proyectores instalados en disposición bilateral. \*Imagen correspondiente al interior del túnel de Lorca de la Autovía A-7.

La forma más adecuada para calcular esta reducción progresiva del nivel de luminancia ha sido largamente estudiada por el Comité Internacional de la Iluminación, quien estableció la comúnmente conocida como curva CIE (véase figura 5), que se emplea en toda la normativa vigente. (Véanse figuras 4 y 6).

En la curva CIE se aprecia cómo la zona umbral del túnel se ilumina con un nivel de luminancia  $L_{th}$ , que suele ser del orden del 5 al 8 % del nivel exterior, y constituye el nivel máximo de alumbrado en el túnel (100%). Este nivel máximo, de unas 150  $cd/m^2$ , se mantiene en una longitud igual a la mitad de la distancia de parada,  $SD$ , (calculada con tiempo de percepción y reacción de 1 segundo), y a partir de ahí comienza la reducción suave del nivel de luminancia hasta llegar al nivel mínimo del interior del túnel, que se calcula aplicando la normativa vigente (UNE-CR 14380 EN), y suele estar en torno a 3  $cd/m^2$  durante el día.

Actualmente, gracias a los proyectores eléctricos se consiguen con cierta facilidad los niveles de iluminación calculados a partir de la Curva CIE para realizar correctamente la transición lumínica, por lo que se puede considerar que el procedimiento resulta eficaz, en cuanto que consigue su objetivo, pero no se puede afirmar que sea eficiente, ya que requiere un gran consumo de energía eléctrica, que podría reducirse considerablemente.

Analizando la distribución de proyectores a lo largo de un túnel de cierta longitud (en torno a los 1.500 m), se puede comprobar que aproximadamente el 30 % de la potencia instalada se encuentra en la zona umbral del túnel, para realizar la transición lumínica.

Tomando como ejemplo el túnel Loma de Bas, de la autopista AP-7 en Murcia, se comprueba que el consumo total en iluminación es de 438.000 kWh/año, de los cuales 128.000 kWh/año corresponden a la zona umbral, y suponen, efectivamente, el 30 % del consumo total (véase figura 6).

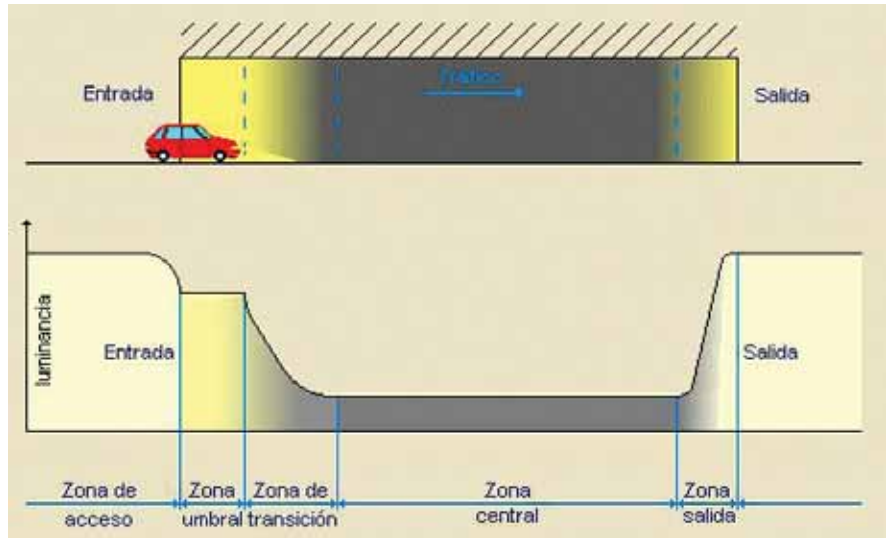


Figura 4: Escalones de luminancia requeridos en un túnel de tráfico unidireccional. \*Imagen obtenida del Manual de iluminación de interiores y exteriores de la página web edison.upc.edu/curs/illum/.

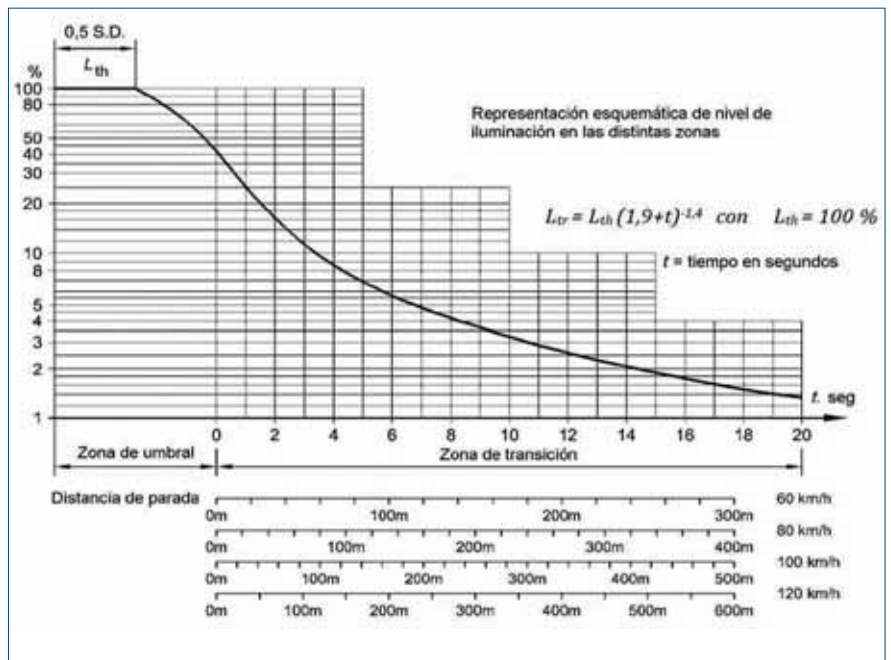


Figura 5: Reducción de la luminancia en la zona de transición. \*Imagen obtenida de la Norma UNE-CR 14.380 IN.

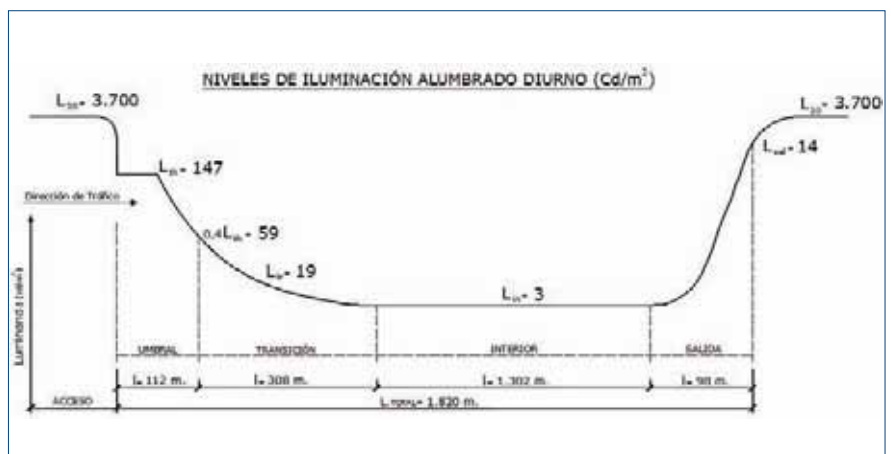


Figura 6: Niveles de luminancia reales en el túnel Loma de Bas de la autopista AP-7.

## 2. Objeto del Estudio

El objeto de este artículo es mostrar una solución alternativa al sistema de proyectores eléctricos, para conseguir la misma transición lumínica en la zona umbral del túnel que la realizada normalmente por dichos proyectores, pero con un coste menor.

Existen precedentes de actuaciones dirigidas a conseguir la transición lumínica por medios alternativos a la energía eléctrica, como por ejemplo la pérgola construida en el año 1987 en el acceso al túnel de la variante de Lorca, que utilizaba ranuras transversales en una visera construida para proteger frente a posibles desprendimientos, con lo que se conseguía adicionalmente una zona de iluminación intermedia entre el exterior y el interior del túnel, aunque en dicha zona la uniformidad resulta escasa. (véase figura 7).

Más recientemente, se constata el uso de dispositivos que ayudan a la transición lumínica, como los ubicados en las vías urbanas de Valencia (véase figura 9)

Como se puede apreciar, gracias a la pérgola de opacidad creciente en el sentido de la marcha, la luminancia se va reduciendo paulatinamente y ello permite minorar el número de proyectores necesarios para la transición lumínica.

Aunque hay que reseñar que estas pérgolas tuvieron como función principal atemperar el ruido producido por el tráfico en la salida de los pasos inferiores, si bien es cierto que en las mismas fotografías se aprecia una concentración de proyectores inferior a la habitual.



Figura 7: Túnel de Lorca (Murcia).

En otros países también se han aplicado soluciones similares. En ese sentido el Centro de Estudios de Túneles (CETU) del Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie de Francia, ha realizado también numerosos estudios sobre la iluminación de túneles y sobre formas de iluminación natural mediante aberturas laterales o de cubiertas que por medio de deflectores consigan disminuir el flujo lumínico (véase figura 8). Se han tenido en cuenta problemas como la facilidad de limpieza y de conservación de las soluciones planteadas.

Alternativamente a estos sistemas, en este artículo se propone una bóveda de transición lumínica, ubicada antes del portal del túnel, que por medio de un entramado variable de orificios calculados para tal fin, permita adap-

tar la visión del conductor a las condiciones de iluminación existentes en el interior del túnel.

## 3. Propuesta

La propuesta consiste en la construcción de una estructura metálica permanente y de bajo coste de mantenimiento, ubicada antes del inicio del túnel, que de forma paulatina reduce la entrada de luz a su través, mediante una reducción equivalente del porcentaje de orificios de su revestimiento, de tal modo que se reproduzcan fielmente los niveles de iluminación fijados por la curva CIE, o por la normativa vigente en su caso, en la zona umbral del túnel (véase figura 10).

La estructura metálica tiene la misma longitud de la zona umbral del túnel (igual a la distancia de parada



Figura 8: Túnel Rond-Point (Saint-Etienne).



Figura 9: Túnel de la Avda. General Avilés (Valencia).

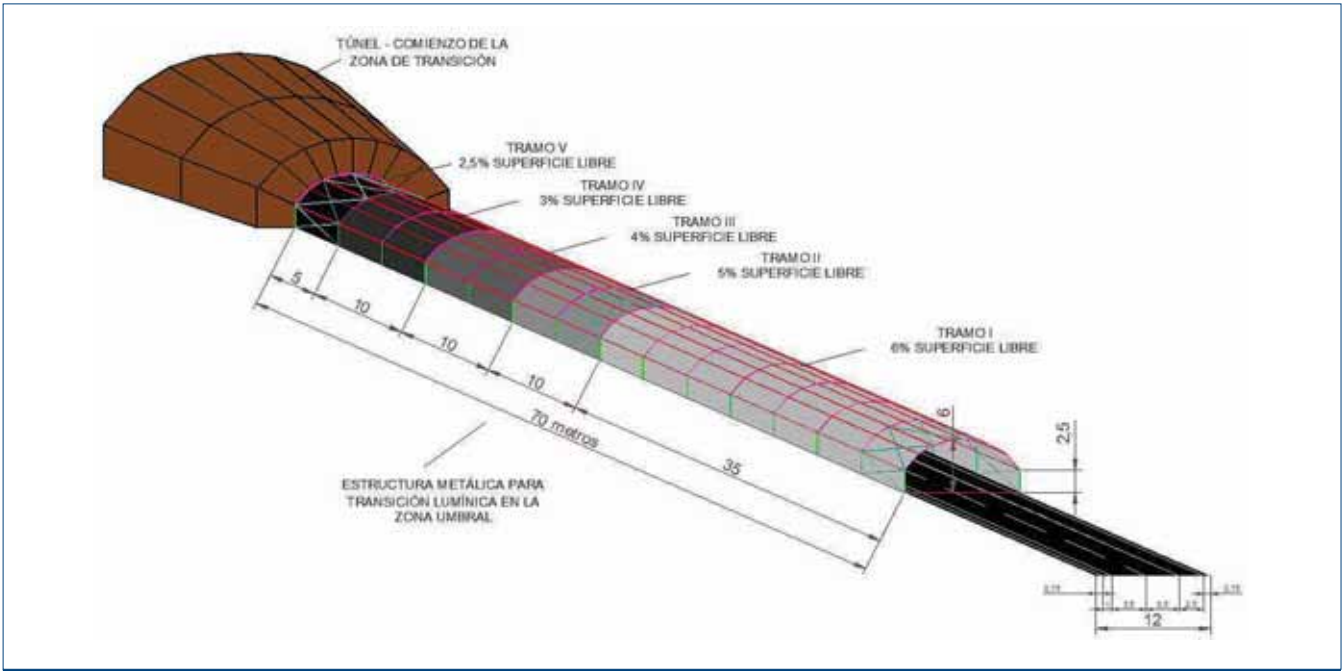


Figura 10: Estructura metálica para transición y transmisión lumínica en la zona umbral.

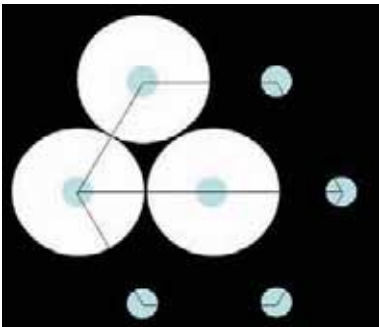


Figura 11: Orificios (en azul) y luz proyectada (círculos blancos) sobre un plano a cierta distancia de la luz directa del sol. Ensayo realizado en el Departament de Física de la Universitat de Murcia por el Doctor en Ciències Físiques Dr. D. Antonio Guirao.

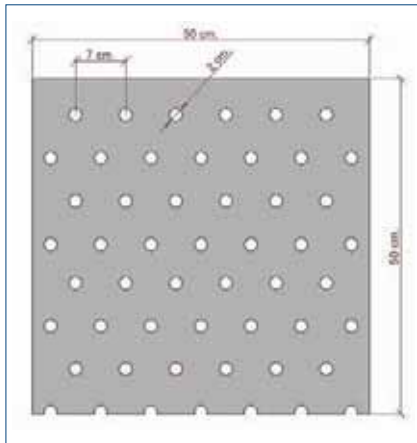


Figura 12: Patrón tipo de 50x50 cm. de chapa metálica a utilizar en la zona de chapa metálica con 5% de superficie agujereada.

calculada para tiempo de percepción y reacción de 1 segundo), y la malla metálica que forma su revestimiento está perforada con orificios de superficie constante, cuya separación va aumentando al adentrarse en el túnel para disminuir progresivamente la luminancia interior según las proporciones fijadas por la curva CIE.

De esta manera se consigue, automática y permanentemente, tanto en ambiente soleado como en ambiente nublado, que la luminancia en la zona umbral del túnel sea el porcentaje deseado de la luminancia exterior, que según la curva CIE, y la normativa vigente, se sitúa en torno al 6% en el inicio y el 2,5% en el final del umbral del túnel.

Gracias a este sistema, el explotador del túnel queda liberado de la obligación de medir con luxómetro el nivel de luminancia exterior y de adaptar en todo momento el régimen de trabajo de los proyectores existentes en el umbral del túnel, para alcanzar el porcentaje de luminancia exigido por la normativa.

Tras diversos cálculos y ensayos, el patrón de malla elegido para el revestimiento de la bóveda es un patrón de tipo hexagonal-triangular con orificios circulares de 2 centímetros de diámetro, con lo que se produce una disper-

Tabla 1: Cálculo de la distancia de parada

		Tiempo de reacción = 1s. (CIE - UNE)	
		Velocidad = 80 km/h	
		Pav. Seco	Pav. Húmedo
Distancia de parada	SD (m)	<b>64,52</b>	<b>101,37</b>
Límite Velocidad Túnel	u (km/h)	80	80
Tiempo de reacción	t0 (s)	1	1
Aceleración de la gravedad	g (m/s <sup>2</sup> )	9,81	9,81
Coefficiente de fricción	f	0,625	0,348
Pendiente	s (%)	-3	-3



Figura 13: Imágenes de la construcción de la maqueta de transición lúminica a escala 1/6. Ubicada en el Centro de Conservación y Explotación del sector de carreteras de Murcia 4.



Figura 14: Detalle de orificios del cubrimiento de la estructura.

sión adecuada de la luz natural y se impide la colmatación por acumulación de suciedad (véase figura 11).

Por ejemplo, para el tramo de 5%, el modelo de chapa metálica a escala real sería similar al mostrado en la figura 12.

La longitud de la estructura podría ser de 70 m, coincidiendo con la longitud de la zona umbral de un túnel con velocidad limitada a 80 km/h, en el que dicha zona umbral es la distancia de parada calculada con tiempo de percepción y reacción de 1 segundo como establece la CIE, para condiciones normales de fricción y humedad del pavimento. (véase tabla 1).

Es importante destacar que, en nuestra opinión, la prolongación del túnel mediante la estructura metálica no tendría la consideración de túnel propiamente dicho, porque al incluir aperturas laterales cada 10-15 m., no estaría completamente cerrada, y por

tanto, además de ventilar el habitáculo interior, estas aberturas servirían como salida de emergencia para usuarios, y evitarían el confinamiento de humos ante un eventual incendio.

#### 4. Modelo

Al objeto de comprobar fundamentalmente el grado de dispersión de la luz filtrada, realizando mediciones reales, se ha construido una maqueta a escala 1/6 imitando la zona umbral de un túnel unidireccional con velocidad máxima de 80 km/h (véanse figuras 13 y 14).

Las mediciones realizadas con luxómetro en el interior de la maqueta, han permitido comprobar que los resultados de luminancia en el interior del túnel, en cada uno de los diferentes tramos, se corresponden con los fijados en la curva CIE, y que la proyección sobre la calzada de la luz filtrada por los orificios exteriores no se percibe como "lunares" sobre el firme, y no tiene lugar el efecto Flicker, que induce al parpadeo de los conductores.

Por tanto, se considera que tales resultados son extrapolables a una es-

tructura a escala real, de manera que si económicamente resulta viable, estaríamos ante una alternativa consistente para el ahorro energético en el alumbrado de túneles carreteros.

#### 5. Análisis de Rentabilidad Económica

Para realizar el estudio de viabilidad económica de la ejecución de una bóveda de transición lumínica en túneles de nueva ejecución, se han calculado los indicadores económicos más relevantes.

Tales indicadores, y sus umbrales de rentabilidad como inversión pública, son:

- Tasa Interna de Retorno - TIR (> 3%)
- Valor Actual Neto - VAN (>0)
- Relación Beneficio (B) / Coste (C) (>1)
- Periodo de Recuperación de la Inversión (< 20 años)

Los datos de partida para el estudio han sido los siguientes:

- Coste de ejecución de la estructura metálica.
- Ahorro que supone la no necesidad de instalación de proyectores eléctricos de refuerzo en la

Tabla 2: Proyectores eléctricos instalados en la zona umbral (70 m.) del túnel Loma de Bas de la Autopista AP-7 en Murcia.

	TÚNEL LOMA DE BAS (70m.)	
	PROYEC.	POT. UNITARIA (W)
SOLEADO	26	600
NUBLADO	21	600

zona umbral (considerando por el contrario un mínimo de proyectores de baja potencia para la iluminación nocturna de la bóveda).

- Ahorro del consumo energético de los proyectores eléctricos de refuerzo en la zona umbral (considerando solamente la instalación del alumbrado base para periodo nocturno).

También se podría tener en cuenta el ahorro en el mantenimiento de los proyectores eliminados, y su coste de reposición al transcurrir su vida útil, pero no se han incluido en los cálculos.

los porque el impacto sobre la rentabilidad del proyecto es mínimo, y en todo caso darían mayor rentabilidad al proyecto.

## 5.1 Coste de ejecución de la estructura metálica.

Se ha realizado un anteproyecto de la estructura metálica con el objeto de tener una estimación del coste real de la estructura, que se ha estimado en 154.256,26 €.

## 5.2 Ahorro en ejecución de instalación eléctrica.

Para calcular el ahorro que se podría conseguir en instalación eléctrica, gracias a la bóveda de transición lumínica, se ha considerado la instalación real del túnel Loma de Bas de la Autopista AP-7 en Murcia, que cuenta con 47 proyectores de 600 W correspondientes al alumbrado de refuerzo (soleado y nublado) en la zona umbral, instalados en una disposición cenital (véanse tabla 2 y figura 2). Considerando un precio unitario para

Tabla 3: Cálculo del ahorro en el consumo energético de los proyectores instalados en la zona umbral

	TÚNEL DE LOMA DE BAS (70 m.)						
	PROYEC.	POT. UNITARIA (W)	POT.REACT (W)	POT. TOTAL (kW)	CONSUMO PUNTA (kWh/año)	CONSUMO LLANO (kWh/año)	CONSUMO VALLE (kWh/año)
SOLEADO	26	600	90	17,94	13289,50	44.969,30	68,62
NUBLADO	21	600	90	14,49	13482,95	49.189,93	2658,92
NOCTURNO	6	150	22,5	1,04	885,96	3.556,26	0,00

	CONSUMO PUNTA (kWh/año)	CONSUMO LLANO (kWh/año)	CONSUMO VALLE (kWh/año)
	27.658,41	97.715,49	2.727,54

COSTE MEDIO T° POT. (€/año)	<b>977,47</b>	
COSTE ENERGÍA PUNTA (€/kWh)	0,162126	4.484,15
COSTE ENERGÍA LLANO (€/kWh)	0,141086	13.786,29
COSTE ENERGÍA VALLE (€/kWh)	0,097701	266,48

COSTE ENERGÍA (€/año)	<b>19.514,38</b>
-----------------------	------------------

	ESTIMACIÓN COSTE DEL TÉRMINO DE POTENCIA (€/año)		
	0,22	0,76	0,02
	13,01	45,95	1,28
Pot. Instalada (W)	33,47	23,54	14,52
Pot. Cálculo (W)	60,24	306,18	667,06

TOTAL COSTE ILUMINACIÓN (€/año) (IVA INCLUIDO)	<b>23.026,97</b>
--	------------------

cada proyector de 600 €, se obtendría un ahorro de 28.200 € (47 uds x 600 €/ud). Además, la no instalación de dichos proyectores supone un ahorro en instalación de cableado, cajas de protección y bandeja de aproximadamente un 3 % sobre el precio de instalación, que suponen 1.236,54 €.

En definitiva se obtendría un ahorro estimado en instalación eléctrica de 29.436,54 €, por lo que el coste de la estructura menos el ahorro por la instalación eléctrica no necesaria sería de 124.819,72 €.

### 5.3 Ahorro en el consumo energético

El ahorro en el consumo energético es el producido por los 47 proyectores de 600 W del alumbrado de refuerzo menos el de 6 proyectores de 150 W del alumbrado base, los cuales estarían instalados en la estructura metálica, por lo que no se han tenido en cuenta en el cálculo del ahorro de la instalación eléctrica, y sólo funcionarían en periodo nocturno.

La tarificación corresponde a una

tarifa 3.1A, que tiene una discriminación horaria en 3 periodos (Punta, Llano y Valle). Los precios en €/kWh de cada periodo han sido tomadas de una oferta realizada por una compañía comercializadora a nivel nacional:

- Horas punta: 0,162126 €/kWh.
- Horas llano: 0,141086 €/kWh.
- Horas valle: 0,097701 €/kWh.

Con ello, y con la estimación de funcionamiento de los proyectores en cada periodo se obtiene un ahorro de 23.026,97 €/año (véase tabla 3).

### 5.4 Resultado del cálculo de los indicadores económicos

Tabla 4: Análisis de rentabilidad económica . Bóvedas de transición lumínica en túneles de carretera de nueva ejecución

	AÑO	COSTE DE INVERSIÓN (€)	AHORROS (€)	EXCEDENTES (€)
Año 1	2012	-154.256,00	29.436,54+23.026,97	-101.792,49
Año 2	2013	0	23.026,97	23.026,97
Año 3	2014	0	23.026,97	23.026,97
Año 4	2015	0	23.026,97	23.026,97
Año 5	2016	0	23.026,97	23.026,97
Año 6	2017	0	23.026,97	23.026,97
Año 7	2018	0	23.026,97	23.026,97
Año 8	2019	0	23.026,97	23.026,97
Año 9	2020	0	23.026,97	23.026,97
Año 10	2021	0	23.026,97	23.026,97
Año 11	2022	0	23.026,97	23.026,97
Año 12	2023	0	23.026,97	23.026,97
Año 13	2024	0	23.026,97	23.026,97
Año 14	2025	0	23.026,97	23.026,97
Año 15	2026	0	23.026,97	23.026,97
Año 16	2027	0	23.026,97	23.026,97
Año 17	2028	0	23.026,97	23.026,97
Año 18	2029	0	23.026,97	23.026,97
Año 19	2030	0	23.026,97	23.026,97
Año 20	2031	0	23.026,97	23.026,97

Con los datos de la tabla anterior se obtienen los siguientes indicadores:

Indicador	Valor
VAN	240.790,68 €
TIR	22,21%
B	395.046,68 €
C	154.256,00 €
B/C	2,56
PRI	4 AÑOS

## 6. Conclusiones

- Desde que un vehículo circula a la entrada de un túnel, hasta que lo hace por su interior, experimenta una reducción drástica en los niveles de iluminación, que puede descender desde 4.000 cd/m<sup>2</sup> hasta 3 cd/m<sup>2</sup>.
- Para realizar esta disminución en las adecuadas condiciones de seguridad y comodidad se disponen en la entrada del túnel una Zona Umbral, y una Zona de Transición, en las que se adapta la visión del conductor, siguiendo un modelo de reducción progresiva de la luminancia establecido por la CIE (Comité Internacional de Iluminación)
- En la Zona Umbral se consume habitualmente en torno al 30 % de la energía total destinada a la iluminación de todo el túnel.
- Cabe plantearse la construcción de estructuras metálicas permanentes, de bajo mantenimiento, ubicadas antes de la entrada del túnel, que permitan realizar la misma transición lumínica que los proyectores, pero a un coste inferior.
- Dichas estructuras garantizan que, en cualquier circunstancia de iluminación ambiental, se consigue en el portal del túnel el porcentaje deseado de la luminancia exterior, y se reproduce permanentemente la curva CIE.
- Adicionalmente, las bóvedas de transición lumínica pueden ofrecer una protección frente a desprendimientos en la zona de boquillas.
- Los estudios coste – beneficio preliminares muestran que la ejecución de estructuras de transición lumínica constituye una actuación energéticamente eficiente, así como sostenible ambientalmente y económicamente interesante a medio plazo.
- La bóveda de transición lumínica, cuyo coste se ha evaluado en 154.256,26 €, permite el ahorro de 29.436,54 € en primera implantación de proyectores de refuerzo que no serían necesarios, así como de 23.000 €/año, (actualizados), en energía eléctrica durante toda la vida útil de la bóveda.
- Según los indicadores económicos calculados, el proyecto sería muy rentable puesto que el Valor Actualizado Neto (VAN) sería de 240.790,68 €; la relación Beneficio/ Coste sería 2,56; la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto sería del 22,21 % y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) sería de 4 años.
- Como conclusión, se considera que en los túneles en fase de proyecto o de construcción, sería conveniente realizar un estudio económico de rentabilidad de este

tipo de estructuras, que pueden proporcionar una alternativa eficiente, sostenible y rentable, frente al alumbrado convencional.

- Cabría plantearse la colocación de este tipo de estructuras en túneles en servicio, pues, por su diseño, su instalación supondría una corta interrupción del tráfico de la vía.

## Referencias

- [1] Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento 1.999 – Instrucciones de Construcción
- [2] UNE-CR 14380 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles.
- [3] Comisión Internacional de la Iluminación CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores.
- [4] Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias.
- [5] Manual de iluminación de interiores y exteriores de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- [6] Manual de Explotación y Plan de Autoprotección del túnel de Lorca. Autovía A-7.
- [7] Manual de Explotación del túnel Loma de Bas. Autopista AP-7 tramo Cartagena-Vera.
- [8] Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría. Chapa, J. (1990). Limusa.
- [9] Proyectos de inversión en ingeniería: su metodología. Erossa, E. (1987). Limusa.
- [10] Principles of Optics. Born, M., & Wolf, E. (1973). Pergamon Press.
- [11] Visual Perception. Cornsweet, T. N. (1970). Academic Press.
- [12] Handbook of Applied Photometry. Decusatis, Casimer (1998). Springer-Verlag. ❖





## CONSTRUIMOS LOS CIMIENTOS DEL MAÑANA

Como una de las compañías líderes en todo mundo, diariamente nos enfrentamos a algunas de las obras de infraestructuras más importantes y reconocidas. Retos tan difíciles como exigentes, que asumimos a través de los procesos más innovadores y la utilización de nuevos materiales.

Porque creemos que el respeto medioambiental es un fin,  
pero también una herramienta.

INFRAESTRUCTURAS COMPROMETIDAS CON EL FUTURO.



## Entrevista a :

### Esteve Comes Simona

Director de Ordenamiento Territorial del Gobierno de Andorra



La Redacción

**E**l Ingeniero de Caminos D. Esteve Comes Simona, Primer delegado de Andorra de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC) y Vicepresidente del Comité Organizador del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal concedió la siguiente entrevista a *Rutas*. Desde 1983, ha desempeñado distintos cargos en el Ministerio de Economía y Territorio de Andorra y actualmente es Director de Ordenamiento Territorial del Gobierno de Andorra.

#### ¿Qué expectativas tiene del próximo Congreso Internacional de Viabilidad Invernal, que tendrá lugar en Andorra (2014)?

Como muchos de vosotros ya sabéis, del 7 al 11 de febrero del 2014, Andorra acogerá el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal. Por primera vez nuestro pequeño país, situado en el corazón de los Pirineos entre Francia y España, será el anfitrión de esta importante cita internacional, y por primera vez también, el Congreso visitará los Pirineos, un emplazamiento atractivo y al mismo tiempo de especial interés para un Congreso de estas características y dimensiones. No hace ni 70 años que nuestro país ha pasado de quitar la nieve de las carreteras de manera manual y una vez al año, a ser uno de los

países con mayor número de máquinas quitanieves y equipamientos técnicos de última generación por kilómetro de carretera. En relación al Congreso, nuestras expectativas son que Andorra se convierta por unos días en un escaparate mundial en el campo de la vialidad invernal, y por este motivo pondremos todos los medios necesarios para que este Congreso sea una oportunidad para todos los participantes, para compartir experiencias y conocimientos en el mundo de la vialidad invernal.

Como he dicho anteriormente, es la primera vez que el Congreso visita los Pirineos. Si bien es cierto que el Congreso tiene lugar en Andorra, se trata de un Congreso del que también participarán de manera activa tanto España como Francia. En este sentido nos sentimos totalmente apoyados tanto por la Asociación Técnica de Carreteras, con la que venimos colaborando estrechamente desde hace años, como por el propio Ministerio de Fomento y esperamos una amplia participación tanto del sector público como privado español.

#### ¿Qué novedades cree que aportará en cuanto a la Gestión de la Vialidad Invernal, (por ejemplo, en temas como la reducción de accidentes, utilización de materiales o impacto medioambiental)?

Está previsto que el Congreso abarque ocho grandes temas de interés, que son los siguientes:

- Vialidad invernal y cambio climático.
- La vialidad invernal en un contexto de contención presupuestaria.
- Eventos extremos en invierno.
- Gestión de la vialidad invernal.
- Aproximaciones operacionales, equipamientos y materiales para la vialidad invernal.
- El usuario en condiciones invernales.
- Túneles de carretera en condiciones invernales.
- Puentes de carretera en condiciones invernales.

Estos grandes temas servirán para aportar novedades en el entorno y la coyuntura actuales. Creemos que es una buena ocasión para plantear cuestiones que hasta la fecha no se habían tratado en profundidad. En este sentido confiamos plenamente en que las aportaciones que se hagan en el Congreso sirvan para reducir el nivel de accidentes en un entorno de mayor respeto medioambiental y por aplicación de nuevos materiales y tecnologías.

#### El emplazamiento de este congreso en Andorra, ¿qué aporta respecto al anterior, ubicado en Québec?

Quiero recordar de nuevo que es la primera vez que un Congreso Internacional de Vialidad Invernal se celebrará en los Pirineos. Se trata, de entrada, de un rasgo diferencial no solo respecto al congreso de Quebec sino también en relación a todos los congresos anteriores.

También es la primera vez que un Congreso Internacional de esta índole se realiza en un país de las dimensiones y de la población de Andorra. En este sentido el Congreso de Andorra será el congreso de un país entero, no solo de una ciudad, de una comarca o de una provincia.

Nuestra larga experiencia en la gestión de las infraestructuras viarias, la aplicación de los últimos avances tecnológicos en sistemas de control del tráfico y la viabilidad invernal en un país con territorio de cota media de 2.000 metros de altura, que convive durante más de 5 meses al año con la nieve, convierten a Andorra en un referente internacional en este ámbito.

Confío en que los participantes sabrán apreciar las características que siempre han definido Andorra y que constituyen sus valores más preciados: un entorno natural privilegiado, unas calles comerciales atractivas y competitivas, una riqueza histórica de más de 800 años, y una máxima seguridad ciudadana, en conjunto, un país hospitalario con sus visitantes.

### Entre las obras de los últimos años en Andorra destaca la del túnel del pont Pla, ¿qué balance puede hacer de su funcionamiento?

Con toda seguridad, uno de los más grandes aciertos de Andorra ha sido impulsar el crecimiento continuado de nuestra red viaria, destinando notables recursos para la ampliación, modernización y mejora de la seguridad de las carreteras. Actualmente todas nuestras actuaciones están programadas en el Plan Sectorial de Nuevas Infraestructuras Viarias aprobado

por el Gobierno en el año 2003 con el objetivo de definir una red viaria del principado a medio y largo plazo en diferentes fases de actuación.

El referido Plan contempla la ejecución de un buen número de túneles, de los que ya están en funcionamiento el túnel de Envalira y el túnel del pont Pla. El programa EuroTAP, programa de evaluación de la seguridad en túneles europeos, valoró el año 2008 el túnel del pont Pla como de factor de riesgo bajo y le otorgó la calificación global de muy satisfactorio, otorgándole además la valoración de "MEJOR TÚNEL DE EUROPA 2008". Esto supone un reconocimiento internacional a la capacidad de Andorra en la ejecución de infraestructuras de esta naturaleza, en competencia con países de una larga tradición en construcción de túneles como pueden ser Suiza, Austria o Francia.

Siguiendo esta política de túneles, el pasado 31 de julio entró en funcionamiento el túnel de las Dos Valires, túnel doble unidireccional de 2 carriles por tubo, de una longitud cercana a los 3 kilómetros y de paso obligado para los vehículos pesados y de mercancías peligrosas, y está previsto que a finales de este año entre en funcionamiento el túnel de Rocafort como parte integrante de la Desviación de Sant Julià de Lòria. El balance que hacemos tanto del Plan Sectorial en un sentido más amplio como de los túneles a que me he referido anteriormente es totalmente satisfactorio ya que se ha mejorado de manera notoria la movilidad interior del conjunto del país y se ha incrementado el nivel de seguridad y de servicio de los usuarios.

### Han transcurrido 2 años desde el último Congreso de Vialidad Invernal, para la preparación de éste ¿están teniendo en cuenta la evolución del cambio climático?

Bajo el lema "Conciliar seguridad de la carretera y desarrollo durable

con el cambio climático y la crisis económica", este evento invita a expertos de todo el mundo, responsables y administradores, a un intercambio sobre los retos técnicos, sociales y económicos relacionados con el mantenimiento de la vialidad en un contexto de condiciones climáticas extremas.

El Congreso ofrecerá un foro de discusión único para la presentación de los avances tecnológicos, del estado de las principales investigaciones y de las mejoras prácticas en materia de vialidad invernal. El hecho de ofrecer una movilidad persistente y centrada en la seguridad en condiciones invernales representa todo un reto para un buen número de países y de administraciones.

### ¿Cómo se prepara un Congreso de estas características con la crisis económica mundial como telón de fondo?

La crisis económica mundial, como su propio nombre indica, nos afecta a todos en general y a los países del ámbito europeo en particular. En el ámbito andorrano y desde el departamento que dirijo, acabaremos las grandes obras ya iniciadas y desarrollaremos una nueva planificación en sintonía con la realidad y las necesidades actuales. Ahora que la red viaria ya ha llegado a un nivel de desarrollo y madurez elevado, constituye un objetivo prioritario para los próximos años la optimización de la gestión en el mantenimiento y conservación de nuestras carreteras en general y en el apartado de la vialidad invernal en particular, dentro de unos estándares de calidad y sostenibilidad.

Los valores de la vialidad invernal se pueden percibir con más claridad desde un país que como Andorra ha sufrido un tradicional aislamiento con un territorio de una altura media superior a los 2.000 metros y con unos medios económicos que en muchos momentos de nuestra historia han sido más bien escasos. ❖

# ACEX premia un año más los trabajos que contribuyen a la seguridad

Un Robot segador para trabajos en márgenes y taludes gana en la categoría de Asociados mientras que en la tipología general ha sido galardonado el Sistema de Gestión Web de Carreteras



12 de junio 2012 - Madrid  
La Redacción

D. Fernando Ónega junto a la Mesa Presidencial compuesta por (izda. a dcha.): Dña. Olga Fdez., D. Juan Antonio Santamera, D. Jorge Urrecho, D. Javier Segovia, D. Federico Fdez. y D. Juan Fco. Lazcano.  
FOTOGRAFÍA: María José Sánchez.

La Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX) celebró el pasado 12 de junio la octava edición del Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación, en la que se reconoció la labor innovadora de los dos proyectos principales galardonados, por contribuir a la seguridad en las carreteras.

El acto tuvo lugar en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Este año se han presentado 16 candidaturas entre las dos categorías que determina esta asociación: una sólo para empresas y trabajadores asociados de ACEX y otra general, que admite tanto la participación de empresas, organismos e investigadores como de trabajadores en carretera o medios de comunicación.

El proyecto ganador en la categoría Asociados ha sido un *Robot segador* para trabajos en márgenes y taludes con importante desnivel de autovía, que minimiza los riesgos para los operarios en estas tareas así como la afectación al tráfico, recogido por Sergi Nieto

Ruiz, de la empresa UTE Conservación Lleida (Alvac, S.A.- Marcor Ebro, S.A.).

En la categoría General ha sido galardonado el *Sistema de Gestión Web de Carreteras*, de Iternova S.L. Este sistema está especialmente diseñado para facilitar la gestión eficiente de los trabajos que se realicen en las operaciones de Conservación (ordinaria y extraordinaria), con el objetivo de garantizar tanto la seguridad de los operarios como la de los usuarios de la vía. D.César Hinojosa Luna, Director General de la empresa galardonada, recogió el premio.

## Mención Honorífica

Asimismo, la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación concedió la Mención honorífica a "la Comisión de Fomento del Congreso de los Diputados por ser el punto de encuentro de diálogo y búsqueda de consenso entre los grupos parlamentarios, tendentes a optimizar las inversiones en las infraestructuras, su control y los cambios legislativos que permitan que éstas sean el motor económico de

la recuperación, del crecimiento y del empleo". El encargado de recoger el premio fue D. Celso Luis Delgado Arce, presidente de la Comisión de Fomento del Congreso de los Diputados. No obstante, en el auditorio le acompañaban otros destacados miembros de la Comisión: D. Joan Ruiz i Carbonell (Grupo Socialista, secretario segundo de la comisión); los portavoces: D. Andrés José Ayala Sánchez (Grupo Popular); D. Rafael Simancas (Grupo Socialista); Dña. Leire Iglesias Santiago, (Grupo Socialista) y D. Pere Macias i Arau (GC-CiU); la portavoz adjunta, Dña. M<sup>a</sup> de la Concepción de Santa Ana Fernández (Grupo Popular) y la letrada de la Comisión, Dña. Sylvia Martí Sánchez.

El periodista D. Fernando Ónega fue el encargado de presentar la entrega de Premios de ACEX, como ya es habitual en la celebración de este acto anual. La finalidad de este Premio Nacional a la Seguridad en Conservación, es como afirma la propia asociación, promover la seguridad, tanto laboral como vial, y la innovación. Para elegir a los galardonados, la Asociación

establece un doble sistema de votación: por un lado, los usuarios de internet votan y establecen unos finalistas entre los premios presentados y por otro, hay un jurado de expertos que falla el premio en ambas categorías, con total independencia y libertad, sin que les influya la selección previa de los internautas, como explicó el representante del jurado en el acto D. Germán Bastida Colomina. Pero antes de que el representante del jurado interviniera, el Presidente del Colegio de Caminos, Canales y Puertos, D. Juan Antonio Santamera, dio la bienvenida a los presentes y agradeció que se pensara en el Colegio para este tipo de actos. Asimismo, suscribió lo que ya había comentado Ónega previamente, que "la conservación es algo que tendríamos absolutamente que mantener".

Por su parte, D. Germán Bastida Colomina, expresó su satisfacción ante la calidad de los trabajos presentados, que pasó a continuación a describir. Presentó a los candidatos por el orden que aparecen en internet, empezando por los asociados, y en segundo lugar por la categoría abierta. De esta forma, los premios finalistas fueron:

- *Acondicionamiento de un vehículo ligero* (Furgón doble cabina, caja abierta) para la colocación y retirada de cortes de carril de forma inequívoca, ordenada y rápida, de la empresa Innovia Coptalia S.A., que obtuvo la mayoría de votos en internet: 1.034.

- *Programa Conducta Responsable*, cuyo objetivo es minimizar los riesgos considerados como normales, debido a la convivencia diaria de los trabajadores con los mismos, y que pasan inadvertidos o son asumidos por el trabajador, como se explica en la página web de ACEX. La empresa galardonada, que ha recibido 724 votos de parte de los internautas es Collosa, Construcciones y Obras Llorente.

- *Puntero marcador láser en camiones quitanieves*, de la empresa Alvac, S.A, que ha obtenido 704 votos y tiene la finalidad de evitar los choques a los conductores de estos vehículos.

En cuanto, a los finalistas elegidos por



El periodista D. Fernando Ónega presentado el acto.  
FOTOGRAFÍA: María José Sánchez.



Finalistas del Premio Nacional ACEX y público asistente.  
FOTOGRAFÍA: María José Sánchez.

el jurado, los seleccionados fueron:

- *Robot segador para trabajos en márgenes y taludes*, de D. Sergi Nieto (de la empresa UTE Conservación Lleida).

- La empresa Postigo, Obras y Servicios S.A., que presentó el proyecto *VELOMET*, consistente en un sistema para regular en tiempo real y de forma automatizada la velocidad para zonas de riesgo.

- Por último, Sacyr Vallehermoso también quedó finalista por el diseño y desarrollo de un sistema de detección y alarma antiatropellos.

D. Juan Marín Díez, Secretario del Colegio de Ingenieros Técnicos de

Obras Públicas, fue el encargado de entregar a los anteriores trabajos finalistas, de entre los que resultó ganador el *Robot segador*, los diplomas correspondientes. En su intervención, D. Juan Marín dejó claro: "Estamos apostando por la conservación", que resulta especialmente importante en estos momentos de crisis".

### De sistemas de drenaje a guías de señalización

A la categoría General se presentaron 10 trabajos, cuyas características se explicaron el pasado día 12 de junio

cuando se les fue nombrando, en el orden en que aparecen en la página web de la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras :

- *Canal de Drenaje de agua Escoorrentía ACO Monoblock*, de D. Borja Rivero Batle, procedente de la empresa ACO Productos Polímeros.

- D. Joan Pujal Laborda (empresa Oteese) presentó el *project Adrow*, cuyo objetivo es evitar los casos de circulación en contra dirección y los accidentes que se derivan.

- *Balizamiento posterior de señalización vertical*, presentado por D. Daniel García Alcaraz (AUDECA-IN-DAXA).

- D. Mario Fuster Pedro (de Fumoso Industrial S.A.) ha presentado *Drenotube*, un drenaje todo en uno sin gravas.

- Utilización del UAV denominado *Elfo II* en operaciones de conservación, de Recursos Técnicos Madrid, S.L. También considerado finalista por el jurado.

- *Sistema de Control de vigencia de operaciones en carreteras en tiempo real*, de D. José Antonio Martos ( Infonorte Tecnología, S.L.).

- *Guía práctica de señalización en trabajos de conservación de carreteras (autovías)*, presentado por D. Jesús Martínez Alcántara y D. Antonio

Manuel Zamora Pelegrín, de la empresa Atenea.

- *Informe Seguridad y Salud*. Cumplimiento de la intensidad lumínica de los elementos empleados en la señalización móvil de obras, de Dña. Cristina Cabello Tobar y D. Iker Portela Hernández (BPG Coordinadores de Seguridad S.L.). Éste fue el más votado en internet con 723 votos.

**Aunque se hayan reducido en un 40% los accidentes laborales en el último año hay que seguir trabajando por reducir aún más las cifras de siniestralidad**

- Sistema de alto rendimiento para la medida de la drenabilidad del pavimento y de la proyección de agua *Splash and Spray*, de D. Leonardo Bounatian Benatov Vega (Euroconsult), el 2º más votado con 707 votos en la red.

El ganador en esta categoría fue considerado finalista por el jurado. Es el proyecto de Iternova S.L., representado por D. César Hinojosa Luna (*Sistema de Gestión Web*).

Tras las presentaciones de los distintos trabajos, el representante del jurado, D. Germán Bastida Colomina, invitó a los finalistas a que se acercaran a recoger sus diplomas. Previamente, Dña. Olga Fernández, directora del Centro Nacional de Nuevas Tecnologías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, dirigió unas palabras al auditorio: "todos somos conscientes de los accidentes de tráfico y de que sus consecuencias humanas, sociales y económicas constituyen un problema de primera magnitud", a lo que añadió que "entre todos hemos descubierto que no son casuales, sino que pueden evitarse y poco a poco estamos obteniendo resultados razonables en este campo". En este sentido, afirmó que aunque los accidentes laborales se hayan reducido en un 40% en el último año (ya que en el 2010 los 34,8% de los accidentes mortales de trabajo fueron accidentes de tráfico) hay que seguir trabajando por reducir aún más estas cifras de siniestralidad .

El comunicador D. Fernando Ónega mantuvo el hilo conductor durante la celebración de los premios, presentando a los componentes de la Mesa Presidencial que intervenían. Asimismo, le tocó el turno a D. Juan Francisco Lazcano, Presidente de la Confederación Nacional de la Construcción, quien afirmó lo siguiente: "Desde la Confederación y desde la Fundación laboral de la Construcción, que tengo el honor de presidir, tenemos como prioridad la necesidad de que se dote a la conservación y explotación de nuestra red de carreteras de los recursos técnicos y económicos necesarios para su mejor funcionamiento, para lo que es obligado contar con la mejor tecnología y los profesionales mejor preparados". Y continuó con unas palabras sobre la prevención en carreteras: "Es una prioridad para nosotros el papel esencial que la seguridad y la prevención debe desempeñar en nuestro país. Seguridad y prevención para los que trabajan a menudo en duras condiciones ambientales y



(Izqda.) D. Jorge Urrecho Corrales, Director General de Carreteras; (centro) D. Celso Luis Delgado Arce, presidente de la Comisión de Fomento del Congreso de los Diputados; (drcha.) D. Federico Fernández Alonso, subdirector general de Gestión de la Movilidad (DGT). (FOTOGRAFÍA: ACEX).

conviviendo con maquinaria pesada, pero también para los usuarios de la red de carreteras, de modo que esa meta de llegar a la seguridad total no sea esa utopía que consideramos inalcanzable”.

El Director General de Carreteras, D. Jorge Urrecho Corrales, expresó el apoyo del Ministerio de Fomento a las actividades de Conservación y despidió el acto: “Una vez que tenemos una red de carreteras madura, tenemos claro que el Ministerio de Fomento debe enfocarse a la conservación”, afirmó. En esta línea añadió que el sector de la construcción en obra civil está acometiendo una reestructuración

muy importante sobre todo debido a la drástica reducción de inversión de todas las Administraciones Públicas en los últimos años y lo que es más importante, expresó que en sus opinión probablemente no se trate de una situación coyuntural sino que cuando salgamos de esta crisis, “aún recuperándose la actividad constructora, difícilmente alcanzaremos los niveles de inversión anteriores, pues gran parte de las infraestructuras que España necesita para funcionar, afortunadamente, ya están en servicio o en estado de ejecución muy avanzadas. Aún habiendo carencias cada vez será más importante conservar lo que tenemos

frente a crear nuevas infraestructuras, como ocurre en el resto de países desarrollados”.

Para terminar, D. Jorge Urrecho Corrales señaló: “Desde la Dirección General de Carreteras me gustaría poder contar con un presupuesto más generoso dedicado a las carreteras pero los ajustes son necesarios para cumplir con el ejercicio de déficit público marcado por este Gobierno”. Es decir, incidió en la importancia de una meta de estabilización adjunta a Obras Públicas para sentar las bases de recuperación duradera lo que a largo plazo será beneficioso para todos los sectores, incluido el de infraestructuras. ❖

## ENTREVISTA AL GANADOR DEL PREMIO ACEX EN LA CATEGORÍA GENERAL

### D. CÉSAR HINOJOSA LUNA



D. Juan Francisco Lazcano Acedo (izqda.) y D. César Hinojosa Luna (drcha.) FOTOGRAFÍA: ACEX.

- ¿En qué consiste exactamente el proyecto *Sistema de Gestión Web de Carreteras*? ¿Qué características novedosas aporta en el ámbito de la Seguridad o la Conservación?

El *Sistema de Gestión Web de Carreteras* es una plataforma web desarrollada para gestionar de una forma eficiente e integral todas las actividades relacionadas con la conservación y explotación de las carreteras.

Permite conocer el estado de cada elemento de las vías, disponer en un mismo entorno de toda la información de los dispositivos de obtención de datos (cámaras, aforos, paneles, etcétera) y organizar el trabajo en función de las necesidades, entre otras muchas funcionalidades.

- ¿Por qué se presentaron a esta octava edición de los Premios ACEX?

Al tratarse de unos premios a la “seguridad en la conservación de las carreteras”, entendimos que nuestro sistema web cumplía exactamente este requisito, al ofrecer un binomio de seguridad muy importante: seguridad para los usuarios de las vías, gracias a que éstas se encuentran en mejor estado porque se gestionan mejor los recursos, y seguridad para los trabajadores, porque conocen en todo momento las acciones que deben realizar y el modo más apropiado.

- ¿Esperaban este resultado? ¿Se habían presentado ya a otras ediciones anteriores?

La verdad es que, aunque el *feedback* que hemos recibido estos años de las implantaciones del sistema web de carreteras en numerosas empresas y demarcaciones de carreteras del país ha sido enormemente positivo, uno nunca se espera ser el premiado, sobre todo por la gran calidad de los trabajos que se presentan a estos premios. Sin embargo, sí que es cierto que sabíamos que presentábamos un sistema innovador y con una enorme utilidad para los responsables de las carreteras, y esto nos animaba a creer que tendríamos opciones de ganar, aunque fuera la primera vez que nos presentábamos.

## - ¿Cómo surgió este proyecto?

El proyecto surge ya en los inicios de Iternova, hacia el año 2004-2005, al comprobar que en España, un sector como el de las carreteras, cuya gestión requiere administrar un importante número de recursos (humanos y materiales), no cuenta con los medios tecnológicos necesarios, lo que conlleva una pérdida

de eficiencia. Esto nos llevó a analizar a fondo las necesidades del sector, y a plantear una ambiciosa herramienta que facilite al gestor de la carretera conocer en todo momento, y en un entorno integrado, lo que ocurre en las carreteras.

## - ¿Qué supone ganar en la categoría general el Premio Nacional

## ACEX a la Seguridad?

Supone un gran orgullo recibir uno de los premios más importantes del sector de la carretera, y un impulso adicional para continuar el desarrollo de un producto innovador, que año a año va incluyendo nuevas funcionalidades para mejorar el servicio que ofrece. ❖

## ENTREVISTA AL GANADOR DEL PREMIO ACEX EN LA CATEGORÍA ASOCIADOS :

### D.SERGI NIETO



D. Javier Segovia Irujo, Presidente de ACEX, y D. Sergi Nieto Ruiz, ganador en la categoría Asociados. FOTOGRAFÍA : ACEX.

## -¿En qué consiste exactamente el proyecto Robot Segador para trabajos en márgenes y taludes?

Consiste en un tractor equipado con un motor diésel de 40 CV, que se desplaza mediante cadenas de goma y dispone en el frontal de un cabezal segador/desbrozador de 1,30 m, con apertura a distancia, totalmente hidrostática.

Permite trabajar en pendientes de 55°, ampliándose a 65°, en el caso de montar cadenas con anclajes de acero. Todos los accesorios se accionan a través del mando a distancia con un alcance de 300 m, permitiendo al operario permanecer en zona segura, mientras la máquina trabaja en cualquier punto del margen o talud.

## -¿Esperaban este resultado? ¿Se habían presentado ya a otras ediciones anteriores?

No. Era la primera vez que nos presentábamos, aunque teníamos conocimiento de la existencia de sus premios desde su creación. El pasado año asistimos al acto de entrega y bro-

meábamos sobre la conveniencia de presentarnos a esta edición, sobre si disponíamos de un proyecto convincente. El apoyo del Departamento de Prevención de Alvac y la convicción y entusiasmo de nuestro gerente, D. Miguel Roucher Iglesias, en la calidad del proyecto, fue lo que propició la candidatura.

## -¿Cómo surgió este proyecto?

El sector L-4, de la provincia de Lleida dispone de conservación integral desde el año 1994. Yo formo parte de ella desde el año 1999. La experiencia en un determinado sector de carretera y el día a día en él, hace que siempre valores cómo puedes mejorar la forma de ejecutar las operaciones más rutinarias de la conservación, tanto desde el punto de vista de la prevención de riesgos, como de las afectaciones a los usuarios o productivos. Nuestro sector incluye el tramo de la autovía A-2 que discurre por la provincia de Lleida, con una alta IMD y un importante porcentaje de pesados, lo que nos obligaba por razones de seguridad a ejecutar

los trabajos de siega mediante tractor con brazo segador, procediendo al corte del carril derecho, puesto que el arcén no resultaba suficiente. A pesar de ello, la propia ejecución de la operación de montaje y desmontaje de la señalización de restricción de carril, resulta una de las operaciones de conservación que supone una mayor exposición y, por tanto, un mayor riesgo de atropello para los operarios.

El pasado de año se adjudicó el nuevo contrato de mantenimiento del sector, por lo que consideramos que era el momento de encontrar la forma de ejecutar las operaciones de siega y desbroce en taludes que, fuera del periodo invernal, se realizan diariamente, sin tener que afectar a la circulación en calzada.

## -¿Lo han puesto ya en práctica?

Sí, actualmente este robot trabaja diariamente en el sector y permite que la UTE conservación Lleida no realice ningún tipo de afectación a la calzada para la ejecución de los trabajos de siega y desbroce en márgenes



y taludes, con las consecuencias que esto supone de menor exposición para los operarios, menor afectación a la capacidad de la vía y reducción de riesgos tanto para los operarios como para los usuarios.

**-¿Qué supone ganar en la categoría Asociados el Premio Nacional ACEX a la Seguridad?**

El sector de la conservación per-

mite pocas alegrías y pocos reconocimientos. En general, solamente solemos ser noticia en las grandes nevadas y cuando la actuación no ha resultado satisfactoria para la opinión pública. Tampoco los usuarios de la vía suelen valorar nuestro trabajo, ni suelen conocer de nuestra existencia, salvo cuando por causas de trabajos en calzada generamos restricciones que les incomodan o retienen. Por

ello, el hecho de que reconozcan nuestro proyecto como el merecedor de este galardón, máxime cuando el jurado reconoce la calidad de las seis candidaturas presentadas, creo que supone, aunque sea hablar en nombre de todos, la satisfacción del reconocimiento al trabajo bien hecho y un incentivo a seguir trabajando en esta línea. ❖

## ENTREVISTA A D. LUIS BARONA BOJ, FINALISTA EN LA CATEGORÍA ASOCIADOS

**-¿En qué consiste exactamente el proyecto VELOMET? ¿Qué características novedosas aporta en el ámbito de la Seguridad o la Conservación?**

Este proyecto consiste en informar sobre las incidencias meteorológicas que modifican las condiciones de seguridad vial para el usuario de la carretera, información ofrecida en tiempo real mediante paneles de mensaje variable (niebla, todo tipo de precipitaciones, viento y posibilidad de hielo).

**-¿Por qué se presentaron a esta octava edición de los Premios ACEX?**

Somos socios fundadores de ACEX, nuestra compañía siempre ha estado vinculada al sector de la seguridad vial y desde hace 10 años estamos invirtiendo en innovación enfocada a la tecnología de la información y comunicación, lo que nos permite hoy aportar soluciones a la gestión del tráfico.

**-¿Se habían presentado ya a otras ediciones anteriores?**

Nuestra actividad innovadora en el ámbito de las tecnologías de la información estaba más enfocada, inicialmente, al área del equipamiento de infraestructuras que hacia la gestión del tráfico. Hoy en día el usuario reclama unas nuevas necesidades relacionadas con la información en tiempo real, en consonancia con los tiempos en que vivimos y con las posibilidades tecnológicas actuales, por lo que pusimos nuestros esfuerzos de I+D+i

en productos como el que hemos presentado en esta convocatoria.

**-¿Cómo surgió este proyecto?**

El proyecto surgió de una necesidad concreta y real de anticipar la información sobre los puertos de montaña a los usuarios de la vía.

**-¿La idea del proyecto ha sido suya?, es decir, ¿es usted el autor intelectual o lo es la empresa Grupo Postigo?**

La idea surgió dentro de un equipo pluridisciplinar de la empresa formado por técnicos especialistas en conservación y mantenimiento de carreteras, ingenieros de telecomunicaciones e informáticos desarrolladores de software más la participación de la empresa asociada SISTEMAS DE CONTROL C.V. "SICO", la cual aportó la solución de los sensores meteorológicos necesarios para el proyecto.

**-¿Qué supone para usted, como autor o qué ha supuesto para la empresa quedar finalista en la categoría de Asociados del Premio Nacional ACEX a la Seguridad?**

Un reconocimiento a nuestro esfuerzo innovador y una motivación para continuar con la investigación tecnológica de nuevas soluciones.

**-¿Cómo está funcionando, ya que se ha implantado por primera vez en España para la Demarcación de Carreteras del Estado de Teruel?**

Los resultados hasta la fecha son plenamente satisfactorios: dos paneles de leds de mensaje variable anticipan las alertas 9 km antes de llegar al puerto de montaña, los sensores están en el mismo puerto y un software específico analiza los datos y comunica inalámbricamente con los paneles para mostrar la información prevista, para cada tipo de incidencia. ❖



Público asistente al acto. FOTOFRAFÍA: ACEX.

## Presentación del libro: *Andalucía, Guía de Obras Públicas*



El autor D. Antonio de las Casas.  
FOTOGRAFÍA: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

### Entrevista al autor: D. Antonio de las Casas

Madrid / La Redacción

El ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e historiador D. Antonio de las Casas presentó el pasado 18 de junio *Andalucía, Guía de Obras Públicas*, una obra que se enmarca dentro de la colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. La guía se gestó durante la Exposición de Obras Públicas en Andalucía en el 2002, para conmemorar el 50 aniversario del Colegio de Caminos en esta comunidad. El autor D. Antonio de las Casas ya está preparando las guías de Murcia y Castilla La Mancha.

#### ¿Cómo surgió la idea de hacer este libro?

El libro tiene dos orígenes: uno, el CEHOPU (Centro de Estudios Históricos y Obras Públicas), donde había una preocupación por tener una guía o inventario de Obras Públicas mientras que otra fuente de inspiración han sido las guías de arquitectura. Curiosamente, hay muchas guías de arquitectura y sin embargo en nuestro campo no había ninguna. Por eso, yo

digo en broma que es la mejor guía de obras públicas ya que no había otra. De la misma forma, seguramente, se podrían rastrear las características de esta guía de Obras Públicas en las guías de arquitectura, porque consciente o inconscientemente he tenido en mente ese modelo.

#### ¿Por qué ha elegido Andalucía para hacer esta guía? ¿Se trata de algo circunstancial?

En el 2002 inauguramos una exposición sobre las Obras Públicas en Andalucía para conmemorar los 50 años de la creación del Colegio de Caminos en Andalucía. En esa inauguración se pensó en la posibilidad de hacer una guía recogiendo y completando material recopilado para la muestra. Desde entonces, han sido casi 10 años de trabajo y en los últimos además con las vicisitudes de la crisis económica en el colegio

Parece que *Andalucía, Guía de Obras Públicas* ha abierto camino para continuar con el resto de autonomías. Hasta ahora, también están en pro-

ceso de elaboración sendas guías de Murcia y Castilla La Mancha.

Parece obvio que una vez hecha una autonomía haya que continuar con el resto. Para mí, sería un éxito que en un futuro no muy lejano hubiera 17 guías.

Tenemos muy avanzada la guía de Murcia y relativamente avanzada la de Castilla La Mancha. Y con el resto, me gustaría que hubiera alguien que recogiera el testigo, y ojalá lo haga siguiendo un modelo parecido.

#### Después de Murcia y Castilla La Mancha, ¿cuál es la siguiente que le gustaría hacer?

Me gustaría que fuera Extremadura, siempre y cuando tenga un cierto eco y no haya alguien de la propia autonomía que lo haga.

#### ¿Cuál es el proceso de elaboración de estas guías?

Las guías nacen al principio de la recopilación de libros, que se juntan a su vez en otros libros. Pero después

con el paso del tiempo se completan en parte importante con material recogido de internet. Con lo cual, el siguiente reto sería entonces cómo llevar este libro a la red. Si pretendemos dar a conocer la labor de los ingenieros a lo largo del tiempo, el que esto salga en internet es importantísimo. Tenemos la experiencia de la *Revista de Obras Públicas*. Al meter una publicación en internet, ésta se multiplica exponencialmente. No deja de ser novedoso, puesto que hay campos donde se ha filtrado mucha información en internet, mientras que en éste no es así, hay muy poca información. Esto supone una ventaja frente a las crisis económicas, puesto que este sistema reduce costes en la publicación.

**Usted es historiador, licenciado en filosofía e ingeniero de Caminos, ¿cómo ha combinado estas facetas aparentemente contradictorias en su vida profesional?**

Obedece a una serie de circunstancias y también a una evolución personal o intelectual. He ido de lo más abstracto a lo más concreto. Empecé haciendo Filosofía, lo encontré demasiado abstracto y de ahí me pasé a la Historia. Me dedicaba a la enseñanza y acabé enseñando Geografía y Arte y después estudié Ingeniería. Pude trabajar en el CEHOPU (Centro de Estudios Históricos y Obras Públicas y Urbanismo del CEDEX- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), que integraba tanto la Historia como la Ingeniería. Una vez jubilado dedico el tiempo a los temas de Historia de la Ingeniería, por afición y porque es lo que está a mi alcance.

**Al hilo de esto último, actualmente, cuando los estudiantes de Ingeniería se enfrentan a cambios en los planes de estudio con la implantación del Plan de Bolonia, ¿cree que se debería tener en cuenta mucho más a la Historia de la Ingeniería?**

Por un lado es una línea que va un poco en contradicción con las tendencias generales, que fomentan una línea más práctica. Por otro lado, hoy en día, el trabajo del ingeniero se facilita mucho con los programas de ordenador y así los profesionales pueden dedicar más tiempo a los aspectos más humanistas. Se trata de un campo muy poco cultivado en España. Este país es de los pocos junto con Francia donde se estudia algo de Historia.

Yo pienso que es un tema que tiene su importancia.

De hecho, si observamos dentro de los ingenieros los hay muy aficionados a la Historia. Ésta enriquece el papel del ingeniero, para tener una visión general de los problemas, no exclusivamente técnica.

## “La Historia enriquece el papel de los ingenieros”



D. Antonio de las Casas.  
FOTOGRAFÍA: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

**¿A quién le va a gustar más la guía: a ingenieros, historiadores o público en general?**

El propio nombre de guía ya da una orientación. De alguna manera pretende ayudar a visitar las obras que a día de hoy son muy desconocidas. Así como hay turismo de todo tipo, aún no existe por ejemplo un turismo de ingeniería. Éste es un aspecto que pretende cubrir la guía. Deberían leerla los ingenieros pero no es sólo para ellos.

Puede interesarle a un público variopinto, como amantes del Patrimonio o de los paisajes.

**De las obras que trata el libro ¿cuál le ha gustado más? ¿a cuál le tiene especial cariño?**

Yo he introducido dos aspectos que encajarían mal en el título de guía.

Por un lado, en la guía se habla de las obras que ya no existen y por otro, de obras que nunca se han llegado a construir: unas que nunca se construirán y otras que en mi opinión de llevarán a cabo alguna vez. A mí me atraen los dos tipos, que enlazan con temas muy profundos de la ingeniería. Por ejemplo, cuando un puente desaparece por el motivo que sea y se construye otro, normalmente se hace en el mismo lugar y no es fácil distinguir si es el mismo puente transformado o es otro.

Y en cuanto a las obras que no se han construido, en cuanto a la gestión de las Obras Públicas a mí me resulta apasionante. Cómo se han tardado 3, 4 ó 10 siglos en construirse y en muchos casos ha habido un visionario que empezó a pensar que aquello se podía hacer.

Hay un caso conocido que es el Canal de Panamá, que nace en 1518 y se construye cuatro siglos después en 1914.

En la guía aparece recogido el enlace con el estrecho de Gibraltar que creo que algún día se hará, ya sea un túnel o un puente, dependiendo de la evolución de la ingeniería.

**Para finalizar, ¿tiene algún otro proyecto literario en mente?**

Hay un proyecto de un libro sobre los acueductos mejicanos, que en España son muy poco conocidos. Muchos de ellos además fueron construidos por españoles. Los hay que se pueden considerar obras artísticas, equiparables a los acueductos romanos o a los que se hicieron posteriormente en el siglo XVI en Turquía. ❖

# XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica



D. Faustino Menéndez Pidal (Vicedirector de la Real Academia de Historia), D. Gonzalo Anes Álvarez de Castrillón (Director de la Real Academia de la Historia), D. Manuel Criado de Val (Presidente de la Asociación Internacional de Caminería), D. Juan Antonio Santamera (Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos), D. Jean Paul Le Flem (profesor de la Universidad La Sorbona de París) y D. Jacobo Díaz Pineda (Director de la Asociación Española de la Carretera).

El pasado 25 de junio de 2012 tuvo lugar la inauguración del XI Congreso de Caminería Hispánica en la sede del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Durante cinco días, ponentes de distinta procedencia, sobre todo españoles e iberoamericanos, se dieron cita para tratar aspectos relacionados con la Historia de la Ingeniería, es decir, para ahondar en las raíces y el pasado de caminos, puentes y otras grandes Obras Públicas.

Madrid/ La Redacción

La Asociación Internacional de Caminería organizó el XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica, con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), en concreto el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU), la Real Academia de la Historia, el Instituto Geográfico Nacional y la Asociación Española de la Carretera.

Es preciso aclarar la definición del término Caminería, que la Asociación

Internacional de Caminería explica de la siguiente forma en su página web: "Al cabo de seis congresos internacionales y del establecimiento de cátedras permanentes universitarias, se va abriendo paso el propósito principal: la investigación de los sistemas de comunicación en todos los aspectos, físicos, históricos y literarios".

De esta forma, como afirmó el Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D. Juan Antonio Santamera, al presentar este evento: "Este Congreso Internacional de Caminería es fundamental en la formación de nuestros ingenieros porque

recoge la sabiduría y el conocimiento del pasado, ya que la caminería hispánica se inscribe en un marco histórico de valor incalculable y por lo tanto es un referente que hay que tener en cuenta por todos los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos".

Dentro del programa del Congreso destacó especialmente la presentación del *Atlas de Caminería Hispánica* y tuvo lugar la entrega del Premio Hernando Colón. En esta edición, fue galardonada la Real Academia de la Historia y por tanto, el premio recayó en el director de la institución, D. Gonzalo Anes Álvarez de Castrillón, Marqués

de Castrillón. D. Juan Antonio Santamera presentó la Mesa Presidencial que inauguró el Congreso. De ella, formaban parte: D. Manuel Criado de Val, Presidente de la Asociación Internacional de Caminería y director del Congreso; D. Miguel María Muñoz Medina, Presidente de la Asociación Española de la Carretera; D. Jean Paul Le Flem, profesor de la Universidad la Soborna, en París; el director de la Real Academia de la Historia, D. Gonzalo Anes Álvarez de Castrillón y el Vicedirector de la misma, D. Faustino Menéndez Pidal.

Tras esta presentación de la Mesa Presidencial tuvieron lugar las ponencias inaugurales, de la mano de D. Jean Paul Le Flem y D. Manuel Criado de Val.

### Los ingenieros del siglo XVIII

El profesor universitario de La Soborna, en París, centró sus palabras en la caminería de la ciencia y los científicos en tiempos de Carlos III, es decir en la segunda mitad del siglo XVIII. De su intervención cabe resaltar los diferentes tipos de ingenieros que existen ya en tiempos de Felipe V, como los ingenieros militares que se dedicaban a las fortificaciones, al ferrocarril, a la artillería y al urbanismo; y la división que realiza después Carlos III de estos ingenieros militares en tres cuerpos: El cuerpo de fortificaciones, el de las academias y el que sería el origen de los ingenieros civiles: los ingenieros de urbanismo.

Finalmente, D. Jean Paul Le Flem, explicó que alrededor de 1716 van destacando los ingenieros de puertos, canales, caminos y edificios públicos y después en los años 80 surgen los ingenieros de los montes y bosques y finalmente los agrónomos.

Posteriormente, D. Manuel Criado de Val, analizó el título de una obra literaria del siglo XVI que en su opinión es fundamental y no ha sido bien tratada: *Descripción y Cosmografía de España* del cosmógrafo Hernando Colón, una figura clave para la colonización y el descubrimiento, como indicó el director de este Congreso. D. Manuel

Criado de Val definió a Hernando Colón como “un investigador nato, que se anticipa a su tiempo, al que realmente hoy día lo podríamos comparar con cualquier otro equipo de investigación”. D. Manuel Criado de Val analizó el título de la obra de Colón. De las palabras que lo forman “Descripción” hace referencia precisamente a esa labor de investigación y en cuanto a la palabra “Cosmografía” merece la pena detenerse en lo que el ponente explicó: “La Cosmografía que nace en esos años era una suma extraña de astronomía astrológica”, - indicó - , “con la tesis aún de que la tierra era un punto inmóvil, rodeado de astros, estrellas, sol, luna que giraban alrededor de ese punto esencial, lo que dio lugar a consecuencias extraordinarias hacia la orientación de los viajes al Nuevo Mundo”.

Por tanto, Cosmografía sería entonces, en palabras de D. Manuel Criado de Val, la definición de un mundo enorme que luego se justificaba cuando llegaban los últimos descubrimientos y Magallanes descubría que España tenía la posesión de un inmenso y desconocido territorio. Y ésta era la idea, según D. Manuel Criado de Val, que Hernando tenía de España, que había pasado de ser el nombre de una ciudad al nombre de un inmenso im-

**“Considero que este Congreso internacional de Caminería es fundamental en la formación de nuestros ingenieros porque recoge la sabiduría y el conocimiento del pasado”**

perio. D. Manuel Criado de Val afirmó que si Hernando Colón hubiera podido escribir el Atlas de Caminería Hispánica, a éste le hubiera llamado *Atlas de Cosmografía Hispánica*.

### El legado romano

Tras una pausa, comenzaron las comunicaciones que completaron la mañana de la primera jornada inaugural del Congreso.

El primero en hablar fue el académico de la Real Academia de la Historia, D. José María Blázquez, quien con su comunicación “Minas y calzadas romanas en la Hispania antigua” explicó cómo la península ibérica era rica en minerales y junto a la proyección



Auditorio presente en la sala del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, donde tuvo lugar el XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica.

de un mapa fue explicando zona por zona, de tal manera que estas minas fueron dando lugar a calzadas por las que transportar los minerales. Así comentó que en el noroeste había oro y en el Levante (Sagunto), minas de hierro. Por allí, pasaba la “calzada romana utilizada en la conquista de los escipiones”, afirmó D. José María Blázquez.

Asimismo, explicó también cómo el estaño era uno de los minerales más codiciados por el Mundo Antiguo, ya que es necesario para el bronce (cobre y estaño), por lo que la calzada pegada a la costa de Lusitania y la vía de la Plata se utilizaban para su extracción.

Tras su comunicación fue D. Martín Almagro Gorbea, también académico de la Real Academia de la Historia, el que participó con la exposición “Caminos y arqueología en la Hispania Prerromana”. El experto explicó cómo evolucionan aquéllos caminos básicos de la Prehistoria, caminos naturales, que más tarde serán las vías romanas”.

## Desde los antecedentes del Canal de Panamá a las pirámides de Egipto

Más tarde, le tocó el turno al Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Luis Laorden, quien con “El Camino de Cruces y los castillos que quedaron bajo las aguas del Canal de Panamá”, profundizó en el significado de los caminos más allá de simples vías de comunicación. Muestra de ello son los rituales que se hacían en ellos, como tirar piedras “para evitar que las ánimas molestaran a los que pasaban”; además de comentar la evolución del territorio que hoy en día constituye el Canal de Panamá desde la época del descubrimiento, en el siglo XVI.

Es decir, D. Luis Laorden explicó como la conocida entonces como “Panamá la vieja” fue saqueada y destruida por el pirata Morgan; y cómo los restos de los fuertes españoles o ciudades de aquellos conquistadores quedaron sumergidas por las actuales aguas del Canal de Panamá. Finalmente, D. Guillermo Cornero, de la Asociación



Ponencia de D. Luis Laorden (Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).



Ponencia de D. Guillermo Cornero.

para la preservación del patrimonio cultural (Argentina) expuso la última comunicación de la mañana: “Origen y transporte de los materiales con que construyeron las pirámides de Egipto desde su fuente de provisión hasta los sitios funerarios”. En ella, el experto explicó tanto la estructura de una pirámide como el sistema de canales que, junto con el puerto y la calzada ceremonial, le permitían al faraón recorrer el río Nilo hasta el templo, donde descansarían sus restos mortales. D. Guillermo Cornero analizó esta compleja estructura, mediante la proyección de fotografías que lo ilustraban.

El XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica continuó hasta el viernes 29 de junio con ponencias sobre puentes, caminos y vías que revelan que las grandes obras de

D. Luis Laorden:

“Se trata de un Congreso muy importante con historiadores, dirigido a todo tipo de personas que les interesen los caminos; pero los caminos del espíritu, los literarios, es decir, el significado de los caminos en la conducta del hombre. La carretera es sólo el soporte. Éste es el mérito de este Congreso, que es una visión completa, humanista.”

ingeniería no son sólo un conjunto de construcciones sino que forman parte de la cultura y de la historia. ❖

FOTOGRAFÍA: M<sup>a</sup> José Sánchez

# La ATC impartirá en septiembre y octubre el Curso de Firmes



## CURSO DE FIRMES

MATERIALES, DISEÑO Y  
REHABILITACIÓN

Asociación Técnica de Carreteras

Comité Nacional Español de la  
Asociación Mundial de la Carretera

### TEMARIO:

1. Marco normativo.
2. Áridos y capas granulares.
3. Suelos estabilizados y capas tratadas con ligantes hidráulicos.
4. Pavimentos de hormigón. Diseño, construcción y rehabilitación.
5. Ligantes bituminosos.
6. Mezclas bituminosas.
7. Diseño de mezclas bituminosas. Fórmulas de trabajo.
8. Fabricación, transporte y extendido de mezclas bituminosas.
9. Visita a planta/obra.
10. Firmes de nueva construcción.
11. Rehabilitación superficial de firmes.
12. Dimensionamiento analítico de firmes.
13. Drenaje de firmes.
14. Auscultación de firmes.
15. Pavimentos sostenibles. Reciclados. Mezclas semicalientes. Mezclas con caucho.
16. Patologías de pavimentos.
17. El proyecto de rehabilitación estructural de firmes.
18. Conclusiones

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

### PARTICIPAN:

- D<sup>a</sup> Mercedes Gómez, Ministerio de Fomento.  
 D. Baltasar Rubio, Centro de Estudios del Transporte (CEDEX).  
 D. Jesús Díaz Minguela (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones).  
 D. Andrés Costa, Elsan S.A.  
 D. Adolfo Güell, Ministerio de Fomento.  
 D. Alberto Bardesi, Repsol Lubricantes y Especialidades S.A.  
 D. José del Cerro, Ministerio de Fomento.  
 D. Javier Payán de Tejada, Ministerio de Fomento

El campo de la ingeniería de firmes se encuentra actualmente apoyado por una gran base de conocimientos científicos, tecnológicos y normativos, pero existe, sin embargo, una laguna en cuanto a la aplicación práctica de esos conocimientos.

Por ello, la ATC impartirá en su sede el *Curso de Firmes. Materiales, diseño y rehabilitación*, dirigido por el Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, D. Roberto Alberola García. La Dirección Técnica corre a cargo de D. Javier Payán de Tejada González (Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento) y de D. Adolfo Güell Cancela (Jefe de la Unidad de Carreteras del Estado en Ourense -Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento).

La construcción de firmes es una tarea práctica que utiliza medios y materiales, en ocasiones muy sofisticados, cuyo empleo en condiciones inadecuadas puede arruinar todo el esfuerzo

previamente realizado. Por otra parte, la tecnología de firmes, especialmente en lo relativo a los materiales bituminosos, se encuentra en un momento de cambio, con la incorporación a la práctica de nuevas tecnologías y materiales que aportan, manteniendo el mismo nivel de prestaciones que las tradicionales, mejoras evidentes en cuanto al desarrollo sostenible, reduciendo la emisión de contaminantes (mezclas semitempladas y semicalientes), valorizando residuos de la propia carretera (reciclados en caliente y a baja temperatura) u otros (mezclas con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso), y reduciendo la contaminación acústica (mezclas de baja sonoridad).

Es por tanto un buen momento para poner en común las peculiaridades de fabricación y de puesta en obra de estos materiales. Este curso pretende poner el acento en los aspectos que hay que tener en cuenta en el empleo y aplicación

de materiales, maquinaria y procedimientos, tanto los tradicionales y habitualmente utilizados como los de última generación, así como en las condiciones de contorno en que se encuentran, especialmente en cuanto a su sostenibilidad.

Dirigido a ingenieros e ingenieros técnicos dedicados a la construcción de carreteras, aeropuertos u otras infraestructuras viarias, se busca como objetivo que una vez finalizado el curso cualquiera de los alumnos consiga una visión clara de qué materiales se deben emplear, con qué medios y cómo aplicarlos para conseguir el mejor resultado, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Para ello, se cuenta con un profesorado experto compuesto por personas dedicadas durante muchos años a la construcción de firmes desde distintas facetas: administración y empresa privada, normalización, tanto nacional como internacional e investigación. ❖

# Nota sobre la reunión de la Junta directiva del 26 de junio de 2012

D. Francisco Caffarena, Secretario de la Junta Directiva de la ATC/Madrid

El pasado 26 de junio tuvo lugar en la sede de la ATC la reunión que tradicionalmente celebra la Junta Directiva por estas fechas. El objetivo principal es la aprobación de las cuentas auditadas del pasado ejercicio 2011. Las cuentas, que mejoraron el resultado previsto dentro de los criterios de austeridad adoptados, fueron aprobadas por unanimidad. Después de dar la bienvenida a los nuevos miembros de la Junta D. Carlos Estefanía (Diputación Foral de Bizkaia), D. José M<sup>a</sup> Fernández (Diputación Provincial de León) y D. Gustavo Armijo (Geocisa), el Presidente, D. Roberto Alberola, informó a la Junta sobre los hechos más importantes acaecidos desde la reunión anterior. Entre estos temas y en relación con los trabajos de remodelación de las oficinas que la Asociación llevó a cabo a finales del pasado año, destacó el prometedor inicio del Área Formativa de la ATC que ya ha realizado tres cursos en las nuevas aulas, estando previstos otros seis para el resto del año. Las ventajas ofrecidas a los socios unido a las bonificaciones en cuotas de la SS y las acreditaciones universitarias y técnicas de estos cursos garantizan esta nueva línea de actividad de la Asociación.

**En otro orden de cosas, la Junta aprobó la actuación del Presidente respecto a la Revista Rutas que ha pasado a ser gestionada directamente por la Asociación lo que garantiza su estabilidad y calidad, tan importante después de haber conseguido su inclusión en el catálogo Latindex, lo que la acredita como revista técnica de prestigio reconocido internacionalmente. Teniendo**



**en cuenta, además, que las 112 revistas españolas de naturaleza técnico-profesional registradas en el Directorio Latindex, sólo 21 han ingresado en el Catálogo, lo que supone un orgullo para la revista Rutas y para la ATC.**

Dentro del tradicional programa de actividades, la ATC ha seguido con su política de seguir organizando Jornadas de corta duración sobre temas específicos que hasta el momento han tenido una buena aceptación entre los técnicos de la carretera. En el primer semestre del presente año se han realizado cinco y se espera llevar a cabo otras tantas para el segundo.

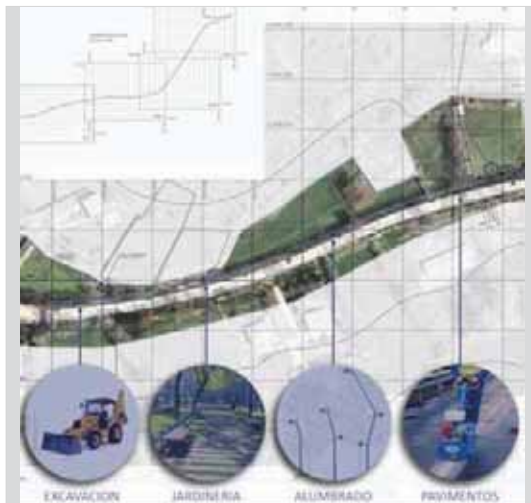
Se acordó nombrar a D. José M<sup>a</sup> Morera, como coordinador de los Comités Técnicos en la ATC, en sustitución de D. José Polimón. Asimismo, D.

José M<sup>a</sup> Morera fue nombrado Vicepresidente de la Junta Directiva. En el ámbito internacional la participación de la ATC en la elaboración de la página web de la Asociación Mundial es cada vez mayor y, por otro lado, pero también en este mismo ámbito, la ATC está muy comprometida en el buen fin del Congreso Mundial de Vialidad Invernal que tendrá lugar en Andorra en el año 2014.

Finalmente y como viene siendo habitual, se otorgaron los nombramientos de miembros de Honor y Socios de Mérito de la Asociación que en éste año recayeron en D. Pedro Gómez, D. Jordi Follia i Alsina y D. Luis Alberto Solís Villa los primeros y en D. Carlos Delgado Alonso-Martirena y D. Alberto Bardesi Orue-Echevarria, los segundos. ❖



# La ATC apuesta por los sistemas gráficos en el sector de la ingeniería



2ª CONVOCATORIA

## CURSO DE DISEÑO DE SISTEMAS GRÁFICOS

APLICADOS AL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE CARRETERAS

Asociación Técnica de Carreteras

Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera

### TEMARIO:

1. Definición de sistemas gráficos:  
Análisis de un sistema gráfico.
2. Tipos de imagen planas y modos de color:  
Conceptos generales de teoría del color y su aplicación informática a la generación de imágenes planas.
3. Entorno de trabajo Photoshop:  
Parámetros generales, barras de herramientas y la organización de su ventana de trabajo
4. Obtención de imágenes técnicas y Parámetros de imagen.
5. Edición de imágenes.
6. Retoque fotográfico:  
Reparación y filtrado.
7. Planificación de presentaciones gráficas.
8. Generación de sistemas gráficos:  
Crear, imprimir y exportar.

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

### DIRECTORA DEL CURSO:

D<sup>a</sup> Belén Monercillo Delgado.  
Directora de la Asociación Técnica de Carreteras.

### DIRECCIÓN TÉCNICA DEL CURSO:

D. José Manuel González Izquierdo.  
Arquitecto Municipal. Profesor de Infografía del FORCEM.

El medio profesional en el que nos encontramos nos exige ser capaces de transmitir información técnica utilizando sistemas gráficos sencillos que posean la capacidad de transmitir datos adecuadamente estructurados y presentados.

El objetivo del curso de *Diseño de Sistemas Gráficos en entorno Photoshop* es aprender el proceso de generación y edición de imágenes y sistemas de información visuales que refuercen la transmisión de información técnica en un entorno gráfico.

Trabajaremos para ello con un conjunto de imágenes técnicas, profundizando en el establecimiento y la modificación de sus propiedades utilizando Photoshop y otros programas técnicos de entorno gráfico, utilizando herramientas de edición, corrección y filtrado que nos permita modificar las imágenes y adecuarlas a nuestras necesidades. El método de aprendizaje

se centrará en utilizar conceptos teórico generales y herramientas prácticas en relación a las imágenes y su estructura, que a su vez nos sirvan como marco para conseguir presentaciones visuales efectivas como medio para la transmisión de información.

Utilizaremos ejemplos extraídos del trabajo diario de las oficinas técnicas, tales como paneles de presentación, planos que combinen datos vectoriales con imágenes o diagramas de organización, utilizando esos elementos para poner en práctica las herramientas que nos harán posible transmitir la información técnica de manera más directa y sencilla.

Al final del curso, el asistente será capaz de obtener, ordenar y editar imágenes técnicas adecuadas a su finalidad y a la vez, de generar un sistema gráfico de comunicación que facilite la transmisión de información técnica en un entorno visual.

Para favorecer el aprendizaje, se facilitará a todos los asistentes al curso versiones demostrativas de los siguientes programas:

- Adobe Photoshop (CS6)
- Adobe Acrobat (CS6)
- Autocad

Asimismo, para el óptimo aprovechamiento del curso el alumno puede traer su propio ordenador portátil (entorno Windows). ❖





# Juntos Se Puede

## REPSOL ASFALTOS



**R**epsol es una compañía integrada de petróleo y gas que desarrolla su actividad en más de 30 países y que emplea a más de 23.000 personas. Está presente en todas las fases de la cadena del negocio, incluyendo la exploración, producción, refinación, transporte, química, estaciones de servicio y nuevos tipos de energía. Su filial Repsol Lubricantes y Especialidades se ocupa del desarrollo, producción y comercialización de betunes y sus derivados, entre otros productos, con el apoyo del Centro de Tecnología Repsol, con un área de investigación enfocada específicamente a los asfaltos. La compañía cuenta con un equipo

formado por más de 100 profesionales dedicados al negocio del asfalto, con clara orientación al servicio al cliente, a la creación de valor y a la excelencia empresarial.

La actividad investigadora es elemento básico y fundamental del negocio, generando nuevos productos especiales diseñados y adaptados a las necesidades de nuestros clientes. Los resultados de estas investigaciones se hacen tangibles gracias a la aportación del servicio de asistencia técnica y desarrollo, y la estrecha colaboración de éste con los servicios técnicos de nuestros clientes y proveedores, así como con el equipo comercial, trabajando

en asesoramiento previo a la venta, asistencia durante la ejecución y diseño de productos a medida. De igual modo, la capacidad de las refinerías y los centros productivos de Repsol, son la mejor garantía de suministro y servicio a nuestros clientes.

Repsol fabrica y comercializa una amplia gama de productos asfálticos, tanto de emulsiones bituminosas como de betunes: convencionales, modificados, pigmentables, así como otros betunes especiales de características mejoradas (multigrado, anticarburante) y favorables con el medio ambiente (betún baja temperatura, betún polvo de neumático fuera de

uso, ligantes para reciclado...). Igualmente produce y comercializa ligantes para aplicaciones industriales.

A partir de una cuidadosa selección de los crudos, los ligantes son producidos con un riguroso control de calidad que garantiza el cumplimiento de las especificaciones reguladas por la normativa europea vigente. Todos nuestros productos susceptibles de regulación europea tienen Marcado CE, siendo la primera compañía europea productora de betunes en obtenerlo en el año 2010. Se trabaja con un completo sistema de gestión que integra la calidad (ISO 9001), Medioambiente (ISO 14001) y Seguridad (OSHAS 18001)

Repsol también fabrica betunes modificados con polímeros de tecnología propia, obteniendo una gama de productos que permiten obtener mezclas asfálticas de mayores prestaciones que las conseguidas con betunes convencionales. Además, en su interés por obtener betunes tecnológicamente innovadores, Repsol ha desarrollado betunes modificados de alta viscosidad. Con estos betunes se consiguen propiedades que en gran medida superan a las obtenidas con los betunes modificados tradicionales, aportando a las mezclas asfálticas una excelente cohesión y durabilidad.

Las emulsiones bituminosas, son dispersiones coloidales de glóbulos de betún dentro de una fase acuosa, compuesta normalmente por agua y un agente emulsionante de carácter aniónico o catiónico, con el fin de favorecer la dispersión, mezclado y adherencia a temperatura ambiente. Las emulsiones posibilitan la aplicación del ligante bituminoso en frío, evitando de este modo el calentamiento de áridos y betunes. En muchos tipos de aplicaciones bituminosas como en tratamientos superficiales, riegos de adherencia convencionales y termoadherentes, lechadas y mezclas en frío se evidencian las ventajas que aportan las emulsiones bituminosas: facilidad de empleo y flexibilidad estructural en los firmes.



Centro de Tecnología Repsol.



Con ligantes sintéticos RECOFAL se colorean mezclas.



Emulsiones Termoadherentes para riegos de adherencia.



Ensayo de Penetración.



Mezcla Templada con Emulsión Bituminosa.



Lechadas Bituminosas. Soluciones a problemas.

Los betunes convencionales son ligantes hidrocarbonados obtenidos por procesos de destilación directa del petróleo en todas nuestras refinerías. Una cuidadosa selección de crudos y un eficiente sistema de "blending" nos permite asegurar betunes de máxima calidad, de acuerdo a las normativas más exigentes.

Los ligantes sintéticos pigmentables son productos aglomerantes de propiedades similares a los betunes, y que se obtienen a partir de una mezcla de resinas, aceites y polímeros. Son incoloros en película fina y mediante la incorporación de pigmentos minerales se les puede conferir la coloración deseada. Con estos ligantes se pueden conseguir pavimentos de todos los colores con una nitidez y luminosidad excelentes. Además permiten su utilización sin pigmento, resultando el color de la mezcla sensiblemente igual al del árido, ideal para conseguir tonalidades naturales y plenamente integrados con el entorno. Se aplican en zonas especiales como carriles para bicicletas, zonas peatonales, pistas deportivas, pistas y caminos pavimentados en zonas protegidas, zonas especiales con fines de seguridad, etc.

La preocupación social existente por los temas medioambientales y el aprovechamiento de los recursos naturales, hace que cada vez sea más aconsejable el reciclado de los

materiales de pavimentación. Repsol, acompañado por empresas de reconocido prestigio técnico nacional e internacional, ha desarrollado ligantes para reciclado en caliente y para reciclado en frío de altas prestaciones iniciales que permiten optimizar la técnica de regeneración de las capas del firme envejecidas. Se trata de productos diseñados específicamente para cada obra que aportan los componentes que se han perdido en el betún como consecuencia del envejecimiento, devolviéndole las características originales perdidas. Ya es posible aprovechar el 100% de los materiales deteriorados, y reutilizarlos

fabricando mezcla nueva íntegramente, empleando nuevas tecnologías y sistemas de producción.

La gama de productos de baja temperatura está constituida por ligantes medioambientalmente atractivos, debido a que permiten la disminución de fabricación y extendido entre 20°-40° C respecto a las técnicas tradicionales. Además, se reducen emisiones a la atmósfera, supone un ahorro energético en la fabricación, y las condiciones de los operarios durante el extendido mejoran. Estos nuevos ligantes se han desarrollado de manera que no pierdan sus cualidades mecánicas y de durabilidad.



Laboratorio de Investigación de Asfaltos Centro de Tecnología Repsol.

En la misma línea de compromiso con el medioambiente, y conscientes de las dificultades de la eliminación de los neumáticos usados, Repsol ha desarrollado diferentes modalidades de betunes a los cuales se les incorpora en central de fabricación polvo de neumático fuera de uso, con arreglo a la tipología de productos existentes en la especificación y normativa española. Estos ligantes, dan solución al problema de acumulación de neumáticos usados en vertederos, permitiendo su reutilización. Con carácter genérico, estos aportan ventajas técnicas respecto a los betunes convencionales: mayor cohesión, resistencia a la fatiga, resistencia a deformaciones plásticas, etc

Los betunes multigrado son ligantes que presentan una menor susceptibilidad térmica que los betunes convencionales, es decir, son menos frágiles a baja temperatura, y más consistentes a altas temperaturas. Son aplicables a cualquier tipología de mezclas, cobrando un gran sentido su empleo en carreteras sometidas a extremas condiciones climáticas y fuertes solicitaciones de tráfico.

Los ligantes industriales van enfocados fundamentalmente a su empleo como impermeabilizante en edificios y diferentes estructuras. Se trata de betunes que presentan una alta compatibilidad en su composición química.

Las líneas estratégicas de Repsol Asfaltos están en sintonía con los requerimientos de la sociedad y las administraciones públicas de carreteras. Recorreremos ese camino junto a nuestros clientes y proveedores, en el marco de la legislación técnica vigente, en el convencimiento de que para abordar la consecución de los objetivos, en un entorno económico complejo, nada mejor que la cooperación y aprovechamiento de sinergias y conocimientos. Así, seguridad, medioambiente y eficiencia, constituyen los pilares básicos de nuestra actividad en esta área, desde la que con la filosofía de "Juntos, se puede", tratamos de aportar las mejores soluciones a la sociedad. ❖



Los neumáticos fuera de uso pueden reutilizarse y mejorar las mezclas bituminosas.



Nuevo Campus de Repsol.



Planta de Betunes y Emulsiones Repsol en Cartagena.



## INNOVAR está en nuestros genes

---

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

Y todo ello gracias a la confianza y colaboración de nuestros clientes.

---

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

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

---



# El Gobierno de Canarias redistribuye los fondos del convenio de carreteras

La consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial del Gobierno de Canarias presentó el pasado 9 de julio, en rueda de prensa, la nueva distribución de fondos entre las obras que se encuentran en ejecución, una vez que el Estado confirmó la reducción de su aportación al convenio de carreteras Canarias-Estado, desde los 207 millones de euros previstos para la anualidad de este año a sólo 68,54 millones.

El pasado jueves, el consejero del área, Domingo Berriel, se reunió en Madrid con el secretario general de Infraestructuras, Gonzalo Ferre, para analizar la posibilidad de asignar al menos 20 millones de euros más a las carreteras canarias, para paliar en alguna medida los efectos de la decisión estatal sobre el ritmo de ejecución de las obras. En el encuentro, el Estado ratificó a la Comunidad Autónoma que

no habría incrementos en la partida al menos hasta el próximo mes de octubre, cuando el Ministerio de Hacienda podría aprobar una ampliación de los créditos para este fin, siempre condicionada a una mejora en las circunstancias económicas que atraviesa el país.

Ante este escenario presupuestario, la Comunidad Autónoma ha tenido que proceder a una redistribución de los fondos para la ejecución de las obras en 2012, que sufre una merma aún mayor, puesto que de los 68,54 millones del convenio, 20 ya se habían invertido en expropiaciones cuando se conoció la importante reducción en la partida para Canarias, en el mes de abril.

Durante la rueda de prensa, Berriel explicó que "el primer criterio que se ha empleado para asignar fondos a las obras es el de la seguridad, tanto por el fin que cumplirán las nuevas vías

en sustitución de otras más peligrosas, como por la seguridad de las propias obras, donde la paralización en la construcción de algunas estructuras podría haber producido graves riesgos y pérdidas económicas". Una vez garantizada esa seguridad en las obras, los fondos restantes se han distribuido además atendiendo al interés general que aportaría la puesta en marcha de las vías con una fecha de finalización inminente, y a otros condicionantes por los que la ralentización o paralización de los trabajos desembocaría en pérdidas económicas de importancia.

Además, se ha trabajado para encontrar líneas de trabajo alternativas, como la utilización este mismo año de los fondos adelantados a las empresas constructoras para acopio de material, que permitirían mantener la ejecución de las obras en funcionamiento durante lo que queda de 2012.

Una vez confirmado el recorte de fondos previsto para la anualidad de 2012 desde los 207 millones de euros previstos a 68,54, la Comunidad Autónoma se ve forzada a recortar las partidas de todas las carreteras en ejecución



Adeje-Santiago del Teide (Tenerife). Fotografía: Gobierno de Canarias.

Tabla 1: Asignación Provisional de recursos (Obras Convenio de Carreteras 2012).

Obra	Inicial	AJUSTADA	Amortización de anticipos	Total Anualidad 2012
Circunv. Las Palmas Fase IV	19.000.000,00	7.362.492,51	7.152.446,46	14.514.938,97
Pagador - Guía	4.636.292,08	4.536.292,08	709.458,68	5.245.750,76
Agate - La Aldea. Tramo La Aldea - El Risco	15.000.000,00	6.313.664,78	8.686.335,22	15.000.000,00
Eje Insular Fuerteventura. Tramo La Caldereta - Corralejo	9.172.087,00	430.972,63	7.000.000,00	7.430.972,63
Costa Calma-Pecenescal	12.301.492,55	5.010.000,00	5.000.000,00	10.010.000,00
Circunvalación de Arrecife	10.000.000,00	5.000.000,00		5.000.000,00
Yaiza-Arrecife 1ª Fase. Gta. de Mácher - Gta. de Playa Quemada	2.858.962,01	1.000.000,00		1.000.000,00
Santiago del Teide-Adeje	14.328.404,04	241.043,45	10.087.360,59	10.328.404,04
TF-5. Avda. Tres de Mayo-Guajara 2ª Fase. Ofra-El Chorrillo*	1.500.000,00	1.700.000,00	2.051.442,26	3.751.442,26
Vía Litoral S/C de Tenerife. Vía de Servicio Portuaria	5.390.995,22	789.375,87		789.375,87
Adeje-Santiago del Teide. 2º Tubo del túnel del Bicho	6.751.750,29	317.619,99		317.619,99
Mejora recuperación ambiental y paisajística de la TF-1. Fase B	4.572.000,00	4.472.000,00		4.472.000,00
LP-1 Norte. San Andrés y Sauces - Barlovento-Cruz Castillo *	2.000.000,00	6.896.900,00		6.896.900,00
LP-2. Bajamar-Tajuya. Tramo San Simón-Tajuya	12.250.000,00	3.145.743,88		3.145.743,88
LP2. Los Llanos-Tazacorte. Tramo: Acceso al Puerto de Tazacorte	5.486.140,82	1.114.749,32		1.114.749,32
Travesía de Hermigua. La Gomera (modif y comple)	4.610.955,79	1.670.800,47		1.670.800,47
Vallehermoso - Arure (1ª Fase)		100.000,00		100.000,00
HI-50 La Frontera - Sabinosa	1.000.000,00	100.000,00		100.000,00
<b>TOTALES</b>	<b>130.859.079,80</b>	<b>50.201.654,98</b>	<b>40.687.043,21</b>	<b>90.888.698</b>

- La anualidad de 2012 se completa con 22,4 millones de euros para expropiaciones.
- Además de la partida presupuestaria asignada por el Estado se ha logrado obtener 5 millones de Fondos FEDER.
- En este listado faltan las tres obras del "método alemán": Icod-El Tanque (120,9 M€); Vía Litoral de S/C de Tenerife (40,2 M€) y Puerto Rico Mogán (111,7 M€).

\* El aumento en la anualidad de estas obras se debe a la aprobación de proyectos complementarios necesarios para el desarrollo del proyecto.



# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS REVISTA RUTAS DIGITAL

www.atc-piarc.com

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

**Revista Rutas ONLINE:** Descarga de los tres últimos números de la revista, disponibles para suscriptores nacionales e internacionales

**Revista Rutas DIGITAL:** Todos los artículos de la revista, desde su primera edición en 1986, están disponibles de **FORMA GRATUITA, (LOS DOS ÚLTIMOS AÑOS SOLO PARA SOCIOS Y SUSCRIPTORES)** en una BASE DE DATOS, con un buscador de texto avanzado que permite encontrar toda información publicada en la revista de forma rápida y ordenada.

## Revistas publicadas

Última publicación de Rutas



Nº 149 - Año 2012

Buscar números anteriores Año: 2012 Nº

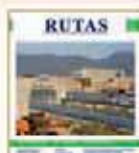
Buscar

Revista bimestral técnica e informativa de la AIPCR Española, con artículos y noticias sobre las carreteras y vías de circulación, abierta a la colaboración de los técnicos y autoridades relacionadas con el sector.

Puede consultar en nuestro histórico los números editados desde el año 2002, además de reseñas y extractos de artículos incluidos en la Revista Rutas.

Si desea suscribirse a la Revista Rutas, pulse aquí. Si desea enviar un Artículo Técnico para su publicación, pulse aquí.

Publicaciones anteriores más recientes



Nº 148 - Año 2012



Nº 147 - Año 2011



Nº 146 - Año 2011



Nº 145 - Año 2011

## Buscador de artículos

Buscador Avanzado

Introduzca el término que desee buscar:

Filtrar en: Todos los campos

(\*) Mínimo 3 caracteres. Para buscar en palabras claves, sepárelas con "comas" (,)

Sección:

--- Seleccione ---

Colección:

--- Seleccione ---

Entre los años: (\*)

--- Seleccione --- y --- Seleccione ---

Buscar

\* Introduzca los años cronológicamente. (Ejemplo: 1990, 1991...)

Buscador Avanzado

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
Comité Nacional de la Asociación Mundial de Carreteras



asociación técnica  
de carreteras  
comité español de la  
asociación mundial de carreteras



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa y digital, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ I.V.A. respectivamente) rellene sus datos en el formulario de abajo y envíelo por Fax o por correo postal a la sede de la Asociación: **C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.**

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:  
Tel.: 913082318 Fax: 913082319

**info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com**

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

## FE DE ERRATAS Nº 150:

- Págs. 32-33: Se publicó erróneamente el cargo de D. Juan Francisco Lazcano. Apareció como Vicepresidente del Colegio de Caminos Canales y Puertos de Madrid cuando debía aparecer como Presidente de la Confederación Nacional de la Construcción.

Para más información:  
puede dirigirse a:

**Asociación Técnica de Carreteras**  
Tel.: 913082318 Fax: 913082319  
**info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com**



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

Forma de pago:

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

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa

NIF

Dirección

Teléfono

Ciudad

C.P.

e-mail

Provincia

País

Fecha

Firma



# SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

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

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

Antes

**Ingeniería  
Sin Fronteras**  
Asociación para el Desarrollo

**ONGAWA**  
INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO

ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Auditores. ONGAWA cumple todos los Principios de Transparencia y Buenas Prácticas de la Fundación I+D+I+D+I (ONGAWA móvil), en 2005, la certificación ante la AECID como ONGD Calificada en el sector Tecnología.



# Vialidad invernal en tiempos de crisis



## XIV CONGRESO

INTERNACIONAL DE VIALIDAD INVERNAL

del 4 al 7 de febrero del 2014



[www.aipcrandorra2014.org](http://www.aipcrandorra2014.org)