



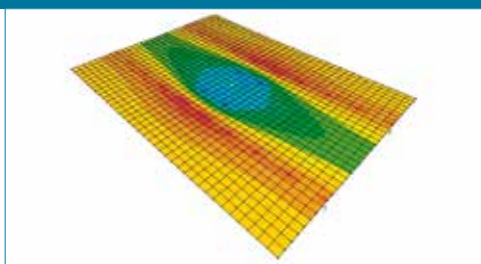
## ENTREVISTA



### D. Luis Alberto Solís

Director General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León

## RUTAS TÉCNICA



El riesgo geotécnico en la conservación de obras viarias

Recomendaciones para el dimensionamiento de la rehabilitación estructural de firmes

Recomendaciones para ampliación de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada

## ACTIVIDADES DEL SECTOR



XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014

Premio Acueducto de Segovia

Jornadas FIDEX sobre ingeniería y eficiencia

# XIV CONGRESO ESPAÑOL SOBRE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE MADRID, 6 AL 8 DE MAYO DE 2014

**COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**  
**C/ ALMAGRO 42, 28010 MADRID**

## PROGRAMA

### Martes 6 de mayo

- 09:00 Recepción y entrega de documentación
- 10:00 Apertura
- 12:00 Peaje sin barreras en España y en el mundo
- 16:15 ITS en la Infraestructura
- 17:30 El pago por uso en España

### Miércoles 7 de mayo

- 09:00 ITS para la Seguridad Vial
- 10:00 Fusión de datos de tráfico
- 12:00 Los ITS en las Smart Cities
- 16:15 ITS en el tráfico interurbano
- 17:30 Sistemas Cooperativos en la Infraestructura
- 21:00 Cena de Gala

### Jueves 8 de mayo

- 09:00 ITS para la gestión de la movilidad
- 12:00 ITS en el transporte público
- 16:15 ITS en el vehículo
- 18:00 Premios ITS España 2014 y Clausura

## INFORMACIÓN E INSCRIPCIONES

### SECRETARÍA TÉCNICA

#### ITS ESPAÑA

C/ Serrano 216, 1º Dcha. 28016 Madrid  
Tel: 91 353 13 43 Fax: 91 359 56 99  
[www.itsspain.com](http://www.itsspain.com)  
e-mail: [congresos@itsspain.com](mailto:congresos@itsspain.com)

Organiza



Con la colaboración de



## Tribuna Abierta

- 03 Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014**  
Luis Azcue Rodríguez



## Entrevista

- 04 D. Luis Alberto Solís**  
Director General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León

## Rutas Técnica

- 10 El riesgo geotécnico en la conservación de obras viarias**  
*Geotechnical Risk in the Maintenance of Roadworks*  
Carlos Oteo Mazo
- 32 Recomendaciones para el dimensionamiento de la rehabilitación estructural de firmes con pavimento bituminoso mediante metodologías racionales**  
*Recommendations for the design of structural rehabilitation of asphalt pavements through mechanistic methodologies*  
Ricardo Bardasano González



- 42 Recomendaciones para ampliación de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada**  
*Recommendations for widening of masonry bridges through cantilever slabs*  
Javier Martínez Cañamares  
*Ganador II Premio Jóvenes Profesionales de la Asociación Técnica de Carreteras*



## Rutas Divulgación

- 54 Al rescate de las vías terciarias de la República de Colombia. Gestión vial sostenible**

## Actividades del sector

- 61 Premio Acueducto de Segovia**
- 63 XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica**
- 65 Primeras Jornadas FIDEX sobre ingeniería y eficiencia**
- 68 XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014**
- 73 Entrega de diplomas a la promoción de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del curso 2012 - 2013**
- 74 Juan Antonio Santamera defiende la colegiación universal en el Senado**



## Eventos ATC

- 75 La ATC convoca el III Premio Jóvenes Profesionales**

## Socios ATC

- 76 Nuevas herramientas del Siglo XXI aplicadas a la conservación de redes de carreteras**
- 84 Socios de la Asociación Técnica de Carreteras**





**asociación técnica  
de carreteras**  
comité nacional español de la  
asociación mundial de la carretera



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

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



**Edita:**

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

**Comité Editorial:**

**Presidente:**

**Roberto Alberola García**

**Vicepresidente:**

**José María Izard Galindo**

**Directora:**

**Belén Monercillo Delgado**

**Miembros del Comité Editorial:**

José Alba García	Urbaconsult-Tecniberia (España)
Alfredo García García	Universitat Politècnica de València (España)
Oscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez	Centro de Estudios del Transporte CEDEX, Ministerio de Fomento (España)
Ana Isabel Blanco Bergareche	Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS (España)
José María Izard Galindo	Asociación Nacional de Empresas Constructoras de Obra Pública, AERCO (España)
Carlos Oteo Mazo	Catedrático de Ingeniería del Terreno (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	HOF Consultores (Colombia)
Clemente Poon Hung	Dirección General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura (México)
Sandro Rocci	Universidad Politécnica de Madrid (España)
Manuel Romana García	Universidad Politécnica de Madrid (España)
Julio José Vaquero García	Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento (España)

**Comité de Revisores Adicionales:**

Rafael López Guarga	Presidente del Comité Técnico Túneles de Carreteras de la ATC
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Presidente del Comité Técnico Conservación y Gestión de la ATC
Luis Azcue Rodríguez	Presidente del Comité Técnico Vialidad Invernal de la ATC
Gerardo Gavilanes Gimeres	Presidente del Comité Técnico Financiación de la ATC
Álvaro Navareño Rojo	Presidente del Comité Técnico Puentes de Carreteras de la ATC
Roberto Llamas Rubio	Presidente del Comité Técnico Seguridad Vial de la ATC
Antonio Sánchez Trujillano	Presidente del Comité Técnico Carreteras y Medio Ambiente de la ATC
Andrés Costa Hernández	Presidente del Comité Técnico Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC

**Edición:**

Directora:  
Belén Monercillo Delgado  
Redacción y Maquetación:  
Mª José Sánchez Gómez de Orgaz  
Víctor Domingo Encinas

**Redacción, Diseño, Producción,  
Gestión Publicitaria y Distribución:**  
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
comites@atc-piarc.com

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

**Foto Portada:**  
Mª José Sánchez Gómez de Orgaz

**Arte Final e Impresión:**  
Diseño Gráfico A2colores  
Tel.: 914 308 228 ♦ info@a2colores.es  
Avenida de la Albufera, 5 2º C ♦ 28038 Madrid

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

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

**Precio en España: 18 euros +IVA**

© Asociación Técnica de Carreteras

**REVISTA RUTAS**

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

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

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



Nº 158 ENERO - MARZO 2014

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

**Enlace de descarga del  
Código de Conducta de la Revista Rutas:**  
[www.atc-piarc.com/codigoconducta.pdf](http://www.atc-piarc.com/codigoconducta.pdf)

## Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014

**D**urante el pasado mes de febrero, de los días 4 al 7, tuvo lugar el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR), que se celebró en el vecino país de Andorra bajo el lema general de "Vialidad Invernal en tiempo de crisis".

Este importante Congreso, que se celebra tras cuatro años de intensos preparativos por parte del Comité Organizador Andorra 2014, con el apoyo del Comité Técnico 2.4 de Vialidad Invernal de la AIPCR, ha servido como punto de encuentro y foro de intercambio de conocimientos relacionados con el mundo de la vialidad invernal para profesionales de los cinco continentes.

A la hora de repasar lo que ha supuesto la celebración de este Congreso debemos empezar por resaltar que, al igual que en todos los congresos de carácter internacional organizados por la AIPCR, profesionales del sector de todo el mundo hemos tenido la oportunidad de intercambiar ideas sobre los últimos avances, discutir sobre los principales retos a los que nos enfrentamos, informarnos acerca de los últimas tecnologías y compartir innovaciones operativas de gran relevancia e interés.

Pero, sin lugar a dudas, ha habido algo que ha hecho especial a este Congreso frente a todos los demás. Este hecho que lo hace diferente es la destacada participación española, tanto en lo que se refiere a asistentes en general como en lo que se refiere al número de autores españoles que han presentado una ponencia en el mismo.

Empezando por los fríos números, hay que destacar que, de cerca de un millar de congresistas que han participado, más de doscientos han sido españoles, siendo la representación española la más numerosa con mucho de entre los cuarenta y siete países representados. En cuanto a las personas que han tenido una participación "más activa" en el Congreso, ha habido doce ponencias españolas de las cerca de ciento cincuenta presentadas. Además, de los veinticuatro conductores presentados al Campeonato Internacional de Conducción de Maquinaria Quitanieves, una iniciativa inaugurada en el Congreso de Quebec 2010, a la que se le dio continuidad en Andorra, tres fueron españoles.

Aunque la cercanía del lugar ha ayudado, estas cifras, que a todas luces resultan ya de por sí llamativas, lo son más cuando contextualizamos el entorno económico en el que se ha desarrollado el Congreso.

De todos estos números se concluye por un lado la importancia que en este país ha llegado a alcanzar la vialidad invernal. Es decir, el importante peso que los trabajos para el mantenimiento de la vialidad en época invernal tienen en el conjunto de los trabajos de conservación ejecutados. Por otro lado, es también muestra del importante grado de desarrollo que estos trabajos han alcanzado, situándonos a la altura de los países de nuestro entorno y, por qué no decirlo, por encima en algunos casos concretos. Otra muestra más de este fenómeno es el hecho de que, aún siendo todas las ponencias presentadas de elevada calidad, el premio a la mejor ponencia ha recaído sobre un autor español.

Esto se ha conseguido en gran parte gracias al interés mostrado en los últimos años por las empresas que se dedican a la conservación de carreteras por conocer nuevas técnicas y tecnologías para mejorar la eficacia de los trabajos para el mantenimiento de la vialidad invernal y, por otro, al impulso y al gran esfuerzo presupuestario realizado en general por las distintas Administraciones de Carreteras en España para mejorar el servicio prestado a los usuarios. El nivel alcanzado y la eficacia del servicio permite afrontar, de cara al futuro, un nuevo reto como es el de la mejora de la eficiencia en la ejecución de estos trabajos.

Mirando hacia atrás, parece que queda muy lejos aquella época en la que sólo unos pocos asistían a los congresos internacionales de vialidad invernal y en la que la representación española en cuanto a ponentes era casi nula. Es, por tanto, el momento de estar satisfechos por el nivel alcanzado tanto en lo que se refiere a la participación como en lo que se refiere al nivel técnico.

Esa satisfacción ha de ir acompañada por un sincero reconocimiento al esfuerzo realizado por todos aquellos que han apoyado la celebración del Congreso y especialmente a la Asociación de Empresas Conservación y Explotación de Infraestructuras (Acex).



## D. Luis Alberto Solís

### Director General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León

La Redacción

**F**uncionario de Carrera del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Luis Alberto Solís Villa inició su carrera profesional en 1981, como Jefe de la Sección de Planeamiento y Proyectos del CEAT (Centro de Estudios y Apoyo Técnico de la Dirección General de Carreteras) en Zaragoza hasta que más tarde se convirtió en Jefe de la Sección de Conservación y Explotación de la Jefatura de Carreteras de Ávila.

Luis Alberto Solís ocupó este cargo hasta enero de 1982. Desde este año a mayo de 1984 ejerció las funciones de Jefe de Carreteras de Ávila. Dos años más tarde, fue nombrado Delegado Territorial en Ávila de la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio, hasta el 28 de agosto de 1987.

Así, la carrera de este Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, con la especialidad de Transportes, Puertos y Urbanismo (por la Escuela

Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid) se fue ligando a la Junta de Castilla y León, ya que el 6 de febrero de 1992 se convirtió en Jefe de la Sección de Proyectos, del Servicio Territorial de Fomento de Ávila. El 26 de julio de 1995 fue nombrado Director General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Fomento de la Junta de Castilla y León (fusionada posteriormente

con la Junta de Medio Ambiente), cargo que ocupa en la actualidad.

Por otro lado, Luis Alberto Solís pertenece a la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) como vocal en representación de los órganos de dirección de las comunidades autónomas, formando además parte del Comité de Firms, así como del Comité Internacional de este mismo tema de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR - PIARC).

Esta asociación reconoció su labor otorgándole la distinción de Socio de Honor el 27 de noviembre de 2012, de manos del Consejero de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, Antonio Silván Rodríguez.

La trayectoria profesional de Luis Alberto Solís se completa con su participación como ponente en numerosas Jornadas Técnicas y Congresos y la publicación de artículos en revistas especializadas.

**¿Cómo se organiza la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León? ¿Cuáles son sus principales competencias?**

Como consecuencia de la fusión de las Consejerías de Fomento y de Medio Ambiente en una única Consejería, la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras tiene dos áreas perfectamente diferenciadas. Por un lado, está la Gestión de la Red Autónoma de Carreteras y por otro, un área relacionada con el Abastecimiento y el Saneamiento.

En cuanto a la gestión de las carreteras, esta Comunidad es un tanto especial, ya que la componen nueve provincias y muchos kilómetros (más de 11.250). Se organiza a través de cuatro Servicios en la Dirección General: Planificación, Proyectos y Obras, Conservación y Explotación, y otro de Gestión. Además de

nueve Servicios Territoriales en cada provincia, donde se atiende directamente la red viaria inscrita en la misma, coordinados desde la Dirección General.

Por lo que respecta al ámbito de "las aguas" las competencias de la Comunidad son las que le transfirió el Estado en su día. Éstas se concretan en el auxilio a los Entes Locales en el ejercicio de sus atribuciones, principalmente a los Ayuntamientos ejecutando obras.

**“Evidentemente la conservación de nuestra red de carreteras es la verdadera prioridad. El motivo es claro, pues la seguridad vial depende de esta conservación”**

**¿Cómo interactúa la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras con el resto de Direcciones Generales que forman parte de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León?**

La coordinación de las Direcciones Generales de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente, como no puede ser de otra manera, la realiza el Consejero a través del Consejo de Dirección.

Sin embargo, sí puedo indicar que existe perfecta sintonía con el resto de departamentos, aunque en realidad las materias que tiene asociadas la Dirección General que dirijo son tan específicas que nos

permiten trabajar de manera muy autónoma. Por citar las dos Direcciones Generales con las que se tiene una colaboración más estrecha, tenemos las de la Agencia de Protección Civil, por cuestiones asociadas a la vialidad de las carreteras, y la de Calidad y Sostenibilidad Ambiental, ya que de ella depende más directamente la tramitación ambiental de los proyectos de obras.

**¿Con qué presupuesto cuenta esta Dirección General para este año?**

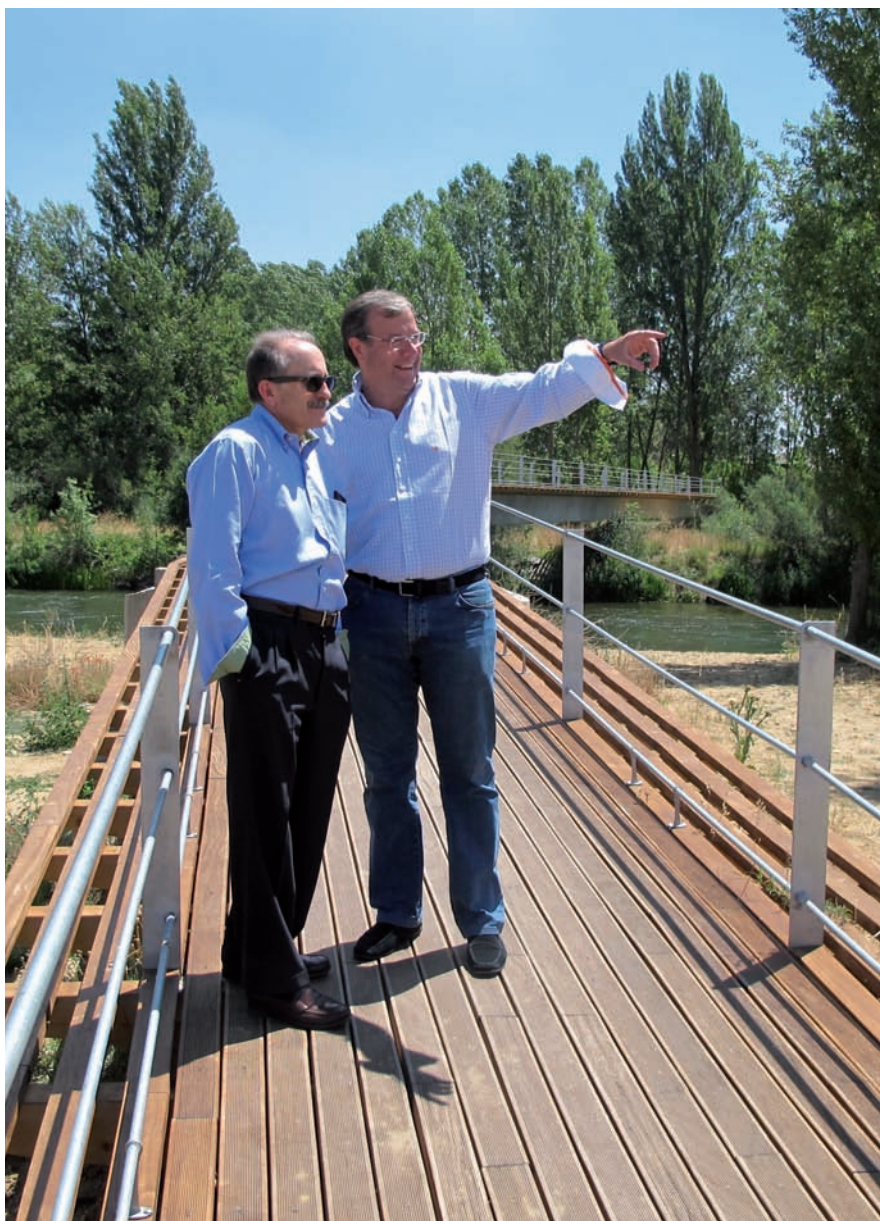
Evidentemente, los Presupuestos de estos últimos años no tienen nada que ver con los que desarrollábamos antes de 2010. Sin embargo, para 2014 se han mantenido en la misma línea que en 2013, estando en torno a los 130 millones de euros.

**La red de carreteras de Castilla y León es conocida por ser la más extensa de las redes autonómicas de España, ¿cómo se mantiene su buen funcionamiento?**

En primer lugar, agradezco la pregunta y que aprecie los esfuerzos que hacemos para mantener las carreteras. La Comunidad de Castilla y León, con sus prácticamente 11.300 km de carreteras, es la región con más kilómetros para atender a una población de unos dos millones y medio de habitantes dispersos en más de 6.000 núcleos de población, sobre una superficie más extensa que Portugal.



D. Luis Alberto Solís en su despacho.



D. Luis Alberto Solís (izqda.) junto a D. Antonio Silván.

Todo pasa por un perfecto conocimiento de nuestra red, algo que se tiene en todo momento a través del trabajo diario de los técnicos de los Servicios Territoriales a los que antes me refería. De este conocimiento, surgen las necesidades que son las que se han plasmado en varios Planes Regionales, en los que inicialmente, además de la conservación, se impulsó la modernización de las carreteras que constituían la red básica (2.500 km), hasta llegar a la situación actual, en la que prácticamente en la totalidad de ésta y de la red complementaria preferente se ha actuado. Ambas

soportan aproximadamente el 86% del tráfico. Por tanto, la fórmula es sencilla: magníficos técnicos, trabajo diario y planificación. Nada que sea nuevo.

**En el primer número del 2013 entrevistamos al Consejero de Fomento y Medio Ambiente de esta comunidad autónoma, Antonio Silván Rodríguez, quien explicaba a la revista RUTAS que la prioridad de esta consejería es mantener y conservar el patrimonio viario. Un año después, ¿continúa siendo ésta la prioridad? ¿En qué se manifiesta?**

Evidentemente, la conservación de nuestra red de carreteras es la verdadera prioridad. El motivo es claro, pues la seguridad vial depende de esta conservación. Pero existe un segundo matiz, y es el relacionado con la situación de la propia red.

Sin pretender restarle importancia a las obras de mejora de carreteras, lo cierto es que, como indiqué en la respuesta anterior, en las redes básica y complementaria preferente ya se ha actuado (trazados, secciones, firmes...) por lo que, sin descartar que todo en la vida puede ser mejorado, no sería ésta la prioridad, sino conservar el patrimonio viario que con tanto esfuerzo de recursos públicos se ha ido consiguiendo en los años anteriores a la crisis.

**A lo largo de los años que lleva al frente de esta Dirección General de Carreteras ¿cómo ha evolucionado, en su opinión, la red de carreteras autonómicas de Castilla y León? ¿Cuál considera que ha sido el mejor avance?**

La red actual no es lo que era. Pero no sólo por la materialización de infraestructuras tan relevantes como la autovía Burgos-León, la de Palencia-Magaz, la autovía de Ponderada-Toreno, y la más nueva la de Valladolid-Segovia (estando al frente de la Consejería el actual Consejero) sino por una modernización continua de nuestras carreteras, que nos ha permitido afrontar estos tiempos de escasez de recursos con los "deberes hechos".

Por lo que respecta al mejor avance por el que me pregunta, no puedo destacar nada concreto realmente, sino una modernización equilibrada y realista. Quizás sea lo más relevante el esfuerzo continuo en cuanto a carreteras que la Junta de Castilla y León lleva haciendo desde finales del siglo pasado. Es decir, la perseverancia en querer mejorar nuestras carreteras y en prestar el mejor servicio posible.



¿Podría comentar a esta revista cómo se está llevando a cabo el Plan Regional Sectorial de Carreteras de 2008 – 2020? ¿Hay alguna actuación que esté prevista acometer en este plan o ya se esté acometiendo, y que le gustaría destacar?

Del Plan Regional de Carreteras 2008-2020 son múltiples las actuaciones que se han realizado. De hecho, la conservación, a la que nos hemos referido con anterioridad, no dejan de ser trabajos incluidos dentro de esta planificación. No obstante, es evidente que la crisis, como no podía ser de otra manera, ha afectado a su desarrollo.

Desde su punto de vista ¿qué necesidades en cuanto a infraestructuras tiene aún pendientes esta comunidad autónoma?

Esta pregunta sólo la puedo responder desde la perspectiva de las carreteras autonómicas. Otras facetas van más allá de mis responsabilidades como Director General. Como comentaba con anterioridad, mejorar la red básica y la complementaria preferente ha sido el objetivo prioritario de los Planes de Carreteras anteriores. No en balde, por ella circula prácticamente la totalidad del tráfico que lo hace por carreteras regionales, como ya he dicho. Es en la red complementaria local en la que habrá que hacer mayor hincapié en los próximos años, con actuaciones proporcionadas al tráfico que atienden.

¿Cómo se ha desarrollado la última campaña de vialidad invernal en Castilla y León? ¿Podría hacer ya algún balance?

La campaña realmente no ha terminado, pues se inició el 1 de noviembre y finalizará el 30 de abril. Hasta ahora se ha desarrollado de la mejor manera posible para un

Director General de Carreteras. Es decir, sin incidencias reseñables. En este aspecto es donde se hace realidad el dicho de que “la mejor noticia es que no exista noticia”.

¿Cómo se contempla la seguridad vial en la red de carreteras de Castilla y León?

Las carreteras autonómicas de Castilla y León no son especiales respecto a las de otras comunidades. En el fondo, como decimos muchas veces, todas las actuaciones que se realizan, sean de la naturaleza que sean (señalización, conservación, mejoras, variantes...) están dirigidas a la seguridad vial. Es decir, todo nuestro trabajo es

“Podemos decir con alegría, pero con prudencia y humildad, que se ha reducido a más de la mitad desde 2004 el número de fallecidos en nuestra red, pasando de 125 a 45 fallecidos en 2013 ”



D. Luis Alberto Solís (izqda.), con D. Carlos Delgado, ((Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Madrid)) distinguido también como Socio de Honor, D. Antonio Silván Rodríguez (Consejero de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León) y D. Jorge Urrecho Corrales (Director General de Carreteras).



D. Antonio Silván Rodríguez entrega la distinción de Socio de Honor de la Asociación Técnica de Carreteras a D. Luis Alberto Solís.

## “Los Presupuestos de la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, para 2014 se han mantenido en la misma línea que en 2013, estando en torno a los 130 millones de euros”

seguridad vial. La preocupación por la seguridad vial para la Consejería y para su Consejero se demuestra con la puesta en marcha de la Estrategia de Seguridad Vial desde 2004. En ella se exploran los tres factores que influyen en la accidentalidad. Es decir, la infraestructura y su entorno, vehículo y usuario.

Se ha pretendido buscar un punto de encuentro en el que los diversos departamentos de la Administración Regional puedan

desarrollar una acción eficaz y coordinada con la que afrontar la realidad de los accidentes. Se trata de buscar una óptica multisectorial.

Nuestra red regional no ha sido ajena al descenso de la mortalidad de las carreteras en España. Podemos decir con alegría, pero con prudencia y humildad, que desde el año 2004 el número de fallecidos en nuestra red se ha reducido en prácticamente 2/3, pasando de 125 a 45 en el año 2013. Pero queda mucho por mejorar para que la “Visión Cero” no sea una utopía sino un objetivo alcanzable.

**El 27 de noviembre de 2012 la Asociación Técnica de Carreteras le entregó la distinción al Socio de Honor y quien le hizo entrega de este reconocimiento fue el Consejero de Fomento y Medio Ambiente, Antonio Silván. ¿Cómo vivió este momento?**

Fue para mí un momento especial. Además de un honor recibir esa distinción de manos del propio Consejero. Los sentimientos se acumulan, pero el que más destacaría

es el de agradecimiento por haber tenido la fortuna de estar al frente de la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras y, en definitiva, de un magnífico grupo de personas que son las que realmente dedican todos sus esfuerzos a las carreteras.

**¿Qué opina de la labor que realizan las asociaciones de carreteras, en general, y en concreto la de la Asociación Técnica de Carreteras? ¿Y de la Asociación Mundial de la Carretera, de la que la ATC es su Comité Nacional Español?**

Se trata de una labor inestimable. Absolutamente necesaria y en el momento actual más que nunca, ya que en esta era de la información, la labor divulgativa y de transferencia de tecnología de carreteras se convierte en algo imprescindible. Qué otra opinión puede tenerse de un foro neutral, objetivo e independiente, en el que puedan tratarse de manera directa los problemas técnicos, sociales y económicos que afectan a las carreteras. ❖

Con PROAS  
vuelve a estrenar  
carretera.

*Nuestra amplia gama de productos cuida y conserva el buen estado de las carreteras. Desde masillas sellantes hasta la gama ELASTER, última generación de betunes modificados con polímeros. Sea cual sea tu necesidad elige PROAS y estarás apostando por productos de última tecnología pensados para alargar la vida de la carretera.*

Más información en [www.proas.es](http://www.proas.es)

 **CEPSA**

# El riesgo geotécnico en la conservación de obras viarias



## Geotechnical Risk in the Maintenance of Roadworks

**Carlos Oteo Mazo**

*Profesor Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

### Resumen

En el presente trabajo, fruto de una conferencia impartida en la ATC, se analiza el concepto general de “riesgo” y de su adaptación al concepto de “riesgo geotécnico”. Se analizan los posibles factores de riesgo que pueden afectar a infraestructuras viarias, así como los posibles sistemas de análisis. Se entra en detalle en la comparación entre “riesgo” y “seguridad” y se incluye algún ejemplo de cuantificación estadística del riesgo geotécnico. El trabajo incluye un listado de “amenazas” en obras viarias, así como la forma de elaborar mapas de riesgo y el análisis de riesgos geotécnicos en concesiones de infraestructuras.

**PALABRAS CLAVES:** riesgo geotécnico, prevención, problemas geotécnicos en carreteras, estabilidad de taludes, daños en carreteras.

### Abstract

In this paper, the result of a lecture at the ATC, the general concept of “risk” and its adaptation to the concept of “geotechnical risk” are analyzed. Potential risk factors that may affect road infrastructure, as well as potential systems analysis are analyzed. It goes into detail on the comparison between “risk” and “safety” and an example of statistical quantification of geotechnical risk is included. This work includes a list of “hazards” in road works and how to develop risk maps and analysis of geotechnical risk in infrastructure concessions.

**KEY WORDS:** geotechnical risk, prevention, road geotechnical problems, slope stability, road damages.

## 1. Introducción

La palabra “riesgo” es, según algunos diccionarios, de origen incierto y puede provenir de “risco”, que, a su vez, proviene del latín “resecare” (cortar, peñasco alto cortado, etc.). Puede, gramaticalmente, interpretarse como la contingencia o proximidad de un daño y, desde otro punto de vista, puede significar “cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguros”. Y, a su vez, “contingencia” (del latín, *contingencia*) viene a ser “posibilidad de que una cosa suceda o no suceda”. El concepto “riesgo” puede, así oponerse a “necesidad”. Todo ello puede tener una doble apreciación:

- Posibilidad de que algo suceda.
- Probabilidad de que suceda una cosa.

El primer caso implica algo subjetivo, en que el observador, con su experiencia y, quizás, con datos exteriores, puede apreciar que un suceso negativo se pueda presentar poco o muy frecuentemente (y ahí es donde entra el término objetivo).

La segunda apreciación ya puede tener una definición matemática, expresable con una integral aplicada a un cierto volumen de sucesos o datos, a fin de establecer la probabilidad de encontrar en ese volumen un determinado suceso:

$$\int_{vol} (\psi)^n dx$$

Si es un sistema simple de un acontecimiento y se desea saber cuál es la probabilidad de que exista uno de cierta clase (que ya ha aparecido un número  $m$  de veces en  $n$  casos), la probabilidad sería:

$$p = \frac{m}{n}$$

Lo que sería medible numéricamente.

Esto es lo que se hace en diversos campos de la ingeniería:

- Tomar datos de sucesos (con magnitudes diferentes) a lo largo del tiempo.

- Estudiar su distribución respecto a magnitudes y tiempo de repetición.
- Extrapolar a períodos en que no se tiene medida.
- Establecer leyes de probabilidad de que se superen ciertas magnitudes en función del período de recurrencia o, establecido ese período, cuál es la magnitud máxima que cabe esperar.

Se hace así en diversos casos:

- **Inundaciones:** a partir de los datos pluviométricos se establecen caudales máximos en función de períodos de recurrencia. Es decir, se parte de series temporales de datos y se extrapola (con las funciones que mejor ajusten a los datos disponibles) a períodos mayores de tiempo (100 y 500 años). En España la primera estación de este tipo se instaló en la Isla de San Fernando (Cádiz), a principios del Siglo XIX.
- **Terremotos:** también se van registrando, o definiendo con datos históricos, los sismos que se producen y su intensidad y/o magnitud (estimando energía liberada y/o tipo de daños producidos). A partir de datos históricos (archivos municipales), descripciones de literatos y científicos (como los de Darwin, a bordo del “Beagle”, al llegar a Valparaíso, un día después del maremoto de mitad del siglo XIX), se añaden terremotos importantes en una escala temporal hacia atrás. Con ello se puede establecer también la probabilidad de que, a lo largo de un cierto período de tiempo, se produzca un terremoto de determinada intensidad.

- **Tsunamis:** lo mismo pero aplicado a terremotos generados en alta mar.
- **Accidentes:** en que los datos de partida se basan en las denuncias, descripciones de daños, causas de los mismos, etc., con lo que pueden determinarse zonas de peligro en carretera, daños ocasionados por dichos accidentes a lo largo de determinados períodos de tiempo, probabilidad de daños ocasionados por viento, rotura de cristales, etc.

El Comité C-12 de la AIPCR indica (2004) que el gasto de reparaciones geotécnicas (principalmente basados en tratamiento de taludes) fue, en la década de los 90 del siglo pasado, de 4.400 millones de dólares por año en Japón, de 2.000 en Estados Unidos y de unos 220 en España (aunque aquí sólo gastos directos). Hay que señalar que las reparaciones de los años 97-99 sólo en Andalucía fueron de 20 veces mayores.

En la Tabla 1 se reproducen datos del Consorcio de Compensación de seguros (correspondiente al decenio 1987-1997), sobre las cuantías pagadas por catástrofes naturales en España.

Como puede verse el riesgo por terremotos puede decirse que es bajo, aunque ello es relativo, ya que en la última década el terremoto de Lorca ha cambiado esta cifra, aunque solo la ha aumentado unas 10 veces. Sin embargo, las indemnizaciones por inundaciones siguen alcanzando en la última década valores similares o incluso superiores (según donde se incluyan los daños por lluvias en Andalucía entre finales de 1996 y 1998).

En estos casos de catástrofes naturales (inundaciones y terremotos) las series históricas existentes permiten evaluar (de mejor a peor manera)

Tabla 1. Indemnizaciones por catástrofes naturales en España, (1987-1997). Fuente : Consorcio de Compensación de Seguros.

Causa	Cuantías pagadas aproximadas (millones de euros)
Inundación	686,00
Terremoto	3,26
Tempestad ciclónica atípica	3,14
Caída de cuerpos siderales y aerolitos	0,04

las intensidades del fenómeno, según diferentes períodos de recurrencia. Entonces basta fijar el período que se decida, con cierta lógica, para diseñar las obras correspondientes. Por ejemplo, en el momento presente se está elaborando una nueva normativa de drenaje superficial por parte de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. En ella se va a fijar, posiblemente, que el caudal de diseño de cunetas sea el de período de recurrencia de 10 años para cauces secundarios y de 50 años para cauces primarios.

Sin embargo, hay que tener en cuenta, como indican otros autores, que el riesgo es, en realidad, la suma o confluencia de una "amenaza" (probabilidad de un evento con cierta magnitud) y de una "vulnerabilidad" (grado de destrucción, que es una función de la magnitud del evento y del tipo de elemento bajo riesgo), tal como indica Van Westen (2007) [22].

El riesgo, según dicho autor, es un problema espacial multidisciplinario, para cuyo estudio hay que:

- Evaluar la amenaza (según él, a realizar por hidrólogos, sismólogos, etc.).
- Definir los elementos bajo riesgo (realizado por geógrafos, ingenieros civiles, planificadores urbanos, etc.).
- Hacer una estimación de costos (realizado por economistas).
- Estudiar la vulnerabilidad (realizado por ingenieros civiles).
- Evaluar el riesgo (ejecutados por expertos en Sistemas de Información geográfica).

Se determinan así mapas de amenazas, mapas de elementos bajo riesgo, mapas de vulnerabilidad y mapas de riesgos.

Está claro que estas recomendaciones corresponden a temas como los de daños por inundaciones, sismos o por inestabilidad de laderas naturales, pero parecen de difícil aplicación (salvo cierta información general) para analizar el riesgo de cimentaciones concretas de edificios, cimentaciones de puentes, etc.

Muchos de estos conceptos se aplican a los que se viene en llamar "riesgos geológicos" y/o "catástrofes naturales":

- Inundaciones.
- Terremotos.
- Tsunamis.
- Vulcanismo.
- Movimientos de laderas naturales.
- Hinchamiento y colapso de formaciones naturales.
- Efectos del oleaje en ámbitos costeros y portuarios, etc.

A ello se le ha prestado atención especial en nuestro país: desde la creación de una comisión especial sobre la prevención y asistencia en situaciones de catástrofe (1997, con jornadas parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua, 2002),

hasta diversas jornadas organizadas por el Consorcio de Compensación de Seguros (1999, 2001, etc.). En estos casos el agua y las acciones sísmicas han sido los protagonistas. Existen diversos mapas de tipo hidrogeológico, sísmico Figura 1, etc., hoy implementados sobre el sistema GIS. El ITGE ha elaborado también mapas de riesgo por expansividad de arcillas (en colaboración con el CEDEX), el riesgo por carst, etc.

Sin embargo, por razones de espacio y tiempo se prestará poca atención al tema de las inundaciones (por salirse del campo geotécnico, aunque se tendrá en cuenta la influencia del agua en el terreno y el tema del drenaje se trata en otras clases) y al tema de terremotos.

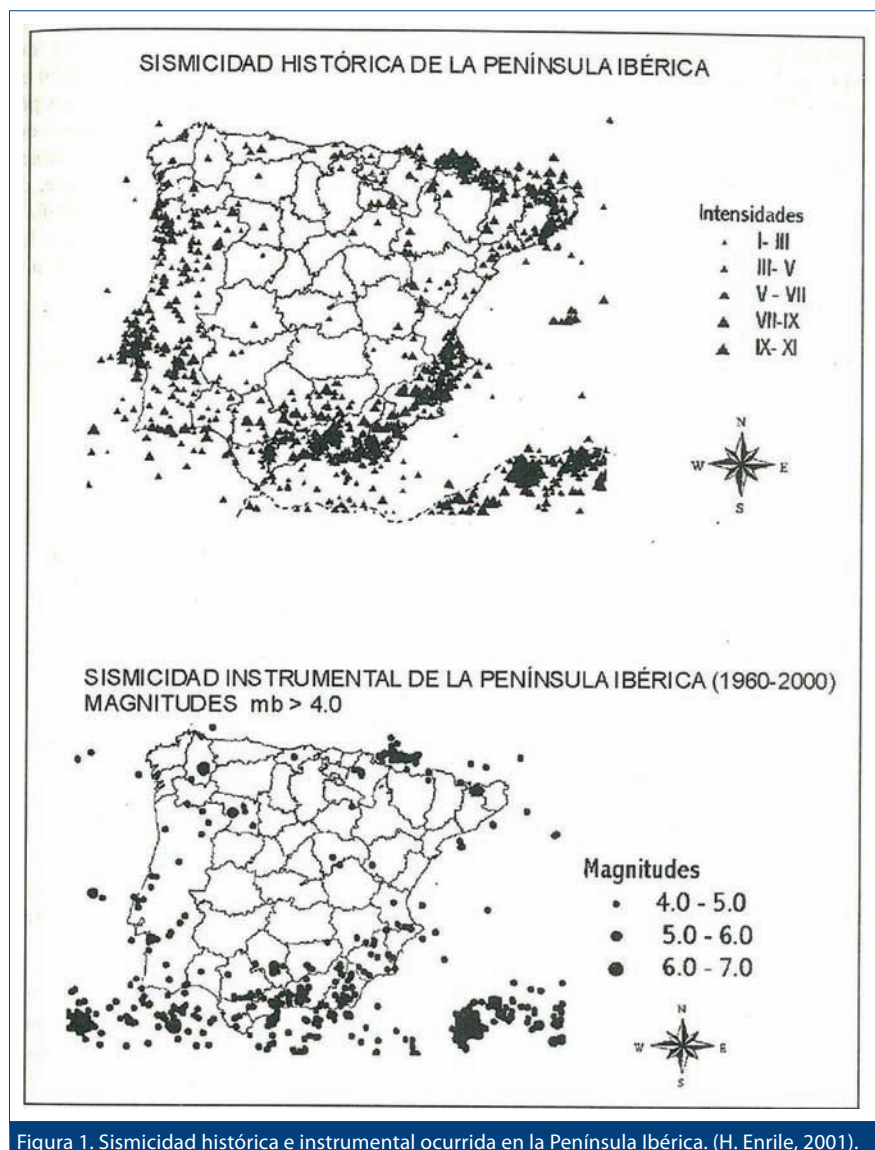


Figura 1. Sismicidad histórica e instrumental ocurrida en la Península Ibérica. (H. Enrile, 2001).

## 2. Posibles sistemas de análisis

Estos sistemas de análisis han de contar con un número importante de datos, unas leyes que puedan ajustarse a esos datos y con una extrapolación verosímil en el tiempo, que, a pesar de todo, no siempre se cumple. Ya hemos visto, en más de una ocasión, que la avenida de quinientos años viene dos-tres veces en menos de cincuenta.

En el caso geotécnico también podría establecerse, con técnicas estadísticas adecuadas, la probabilidad de fallo de una zapata, por ejemplo. Para ello se necesita:

- Un modelo de fallo de la zapata. Si consideramos que es un suelo puramente coherente, este modelo podría ser la fórmula clásica de Prandtl (suponiendo la zapata corrida):

$$P_h = C_u N_c + q \cdot N_q$$

en que:

$P_h$  = carga de hundimiento de la zapata.

$C_u$  = cohesión sin drenaje.

$q$  = sobrecarga alrededor del terreno.

$\gamma_h$  = densidad aparente del terreno.

$h$  = profundidad de apoyo de la zapata.

$N_c$  y  $N_q$  = factores de capacidad de carga (5,14 y 1,0 respectivamente).

- Ya que en esa fórmula solo influyen los parámetros geotécnicos  $C_u$  y  $\gamma_h$ , necesitaríamos determinar la distribución estadística de sus valores (en el espacio y tiempo, aunque, de forma simple, al menos en el espacio). Eso obligaría a tomar una serie importante de muestras (por encima y debajo de la zapata) para determinar esa variación de  $C_u$  y  $\gamma_h$ .
- Definida estas distribuciones y suponiendo una determinada dimensión,  $B$ , del ancho de la zapata, la carga exterior de fallo,  $P$ , a aplicar sería:  $P = B \times P_n$ , por unidad de longitud de la zapata. Si se desea aplicar una carga dada  $P_{ext}$ :

$$(C_u N_c + \gamma_h) B / F \geq P_{ext}$$

$F$  = coeficiente de seguridad

- Fijado un valor mínimo aceptable para  $F$ , podría comprobarse cuáles son los valores  $C_u$  y  $\gamma_h$  que cumplen y compararlos con su distribución, lo que permitiría hablar de probabilidad de alcanzar un valor de la carga exterior que sea mayor que la dada.
- Si suponemos  $\gamma_h$  fija (su variación es pequeña, generalmente), sólo habría que estudiar el efecto de variación de  $C_u$ .

De esta forma puede llegar a deducirse que, si se elige bien el valor de  $B$  y  $P_{ext}$ , la probabilidad de fallo de una zapata será pequeña. Pero si también se introduce  $B$  y  $P_{ext}$  como variable

en el tiempo, la probabilidad de fallo puede aumentar.

Supongamos que tenemos una variación de  $C_u$  como la definida en la Figura 2. Si se diseña con el valor medio de  $C_u$  ( $C_{u,med}$ ) y se considera un coeficiente de seguridad del orden de 3 para  $F$ , el resultado normalmente es aceptable. Si se considerase, sin embargo, que en una zona de ese terreno el valor de  $C_u$  es  $C_{u1}$ , concretamente, el coeficiente de seguridad medio,  $F_{med}$ , y puntual,  $F_1$ , serían:

$$F_{med} = 3 = \frac{C_{u,med} \times N_c + \gamma_h}{P_{ext}/B \times 1}$$

$$F_1 = \frac{C_{u1} \times N_c + \gamma_h}{P_{ext}/B \times 1}$$

Si, simplificando,  $h=0$ , resultaría:

$$\frac{F_{med}}{F_1} = \frac{C_{u,med}}{C_{u,1}}$$

para, una carga exterior,  $P_{ext}$  dada.

Es decir, el coeficiente de seguridad, según esto, sería lineal con el valor de  $C_u$  considerado. Si considerásemos que  $C_{u1}$  es el valor que lleva a un coeficiente de seguridad 1 (o sea, al fallo), cualquier valor de  $C_u < C_{u1}$  produciría el hundimiento de la zapata. La probabilidad de que esto suceda (Figura 2) puede tomarse como la relación del área entre la curva de distribución y el eje de abscisas hasta  $C_{u1}$  y el área total, lo que podría llevar a una probabilidad de rotura para ese valor del orden del 4-5%. ¿Este valor sería admisible? Dependería de cómo esté determinada la distribución de la Figura 2: ¿Está determinada con valores a la misma profundidad? ¿Se puede definir claramente la situación de las muestras con  $C_u$  más bajo? ¿Podemos, en esa posible zona blanda aumentar  $B$ ?, etc.

En la práctica, lo que es habitual es utilizar valores medios del parámetro resistente eliminando extremos altos (lo que equivale a modificar la distribución de la Figura 2, achatándola y corriéndola hacia la izquierda) o, siendo conservador, eligiendo el 70 % de los valores inferiores y viendo lo que pasa con la media y extremos inferiores.

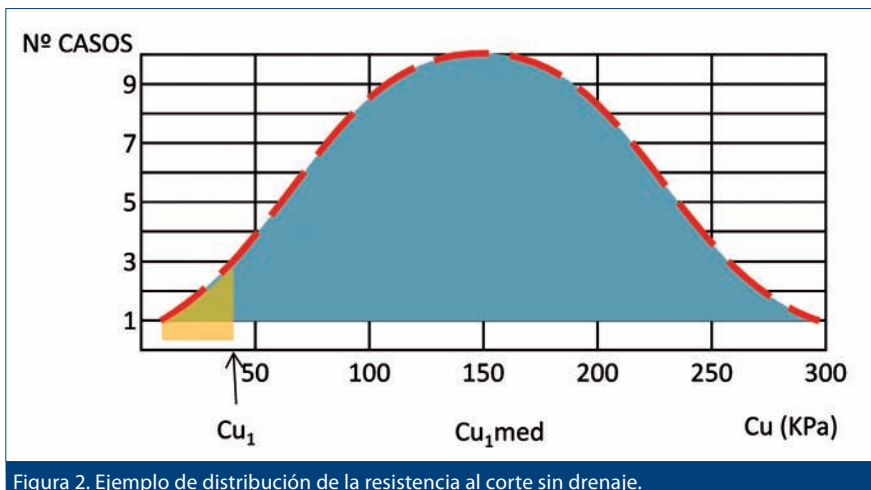


Figura 2. Ejemplo de distribución de la resistencia al corte sin drenaje.

Pero eso no siempre se hace, ni se dispone de series de muchas muestras que permitan hacer juegos estadísticos. Puede elegirse un “valor característico” como hace la Guía de Cimentaciones de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento [14], como se describe más adelante. A veces eliminamos tanto valores altos como bajos porque pensamos que no son representativos: a) Algunas muestras están mal tomadas. b) Las muestras tienen “manejos” en laboratorio que las hacen poco representativas (las pueden comprimir y mejorar o las pueden destruir “la estructura” y debilitar), etc.

En la práctica suele decirse que la probabilidad de fallo de una zapata es del orden de uno a mil e, incluso, uno a diez mil. O sea, más baja de lo que antes hemos obtenido, probablemente porque los valores B se unifican en un edificio y suelen ser, también, conservadores, porque no se tiene en cuenta  $h$  (término  $\gamma_h$ ) ni la resistencia del terreno por encima de la zapata, etc.

Este valor (un hundimiento de la zapata cada mil a diez mil casos) también resulta deducible en los casos reales, aunque no se disponga de una base concreta de datos, siempre que se introduzcan las distribuciones de  $P_{ext}$ ,  $B$ ,  $\gamma_h$ , etc.

También se puede estudiar la probabilidad de rotura de un talud, por desprendimiento de un bloque tetraédrico de roca. Aquí hay que introducir la distribución de presencia de la familia de diaclasas, la del rozamiento entre labios de diaclasa, la de cohesión aparente en esos labios, la del peso del terreno, etc. Esto ya lo hicieron los Profesores Alcibiades Serrano y Enrique Castillo hacia el año 1975. Sin embargo, quizás por su complejidad y problemas con los datos, esta vía de análisis estadístico ha tenido poca continuidad, a nivel internacional.

Sin embargo el problema es que el ingeniero civil está muy acostumbrado a hablar de coeficientes de seguridad (globales o, como es ahora la tendencia, parciales) y no de pro-

abilidad. Incluso los jueces que han de juzgar siniestros entienden mejor el concepto de coeficiente de seguridad que el de probabilidad. Si hay una probabilidad de nula a uno por mil de que una zapata se hunda, ¿por qué no se ha evitado y se ha disminuido a uno a un millón? Esto puede suponer aumentar mucho las dimensiones de una zapata, lo cuál no sería lógico, ni económico.

### 3. Seguridad y riesgo

Con el tema del coeficiente de seguridad también hay que tener cuidado. Recordamos cómo, hace bastantes años, en ámbito portuario, algunos proyectistas y administradores tomaban coeficientes de seguridad muy bajos (1,1-1,2), “ya que los geotécnicos se habían encargado, antes, de ser conservadores y habrían recomendado cohesiones (c) y rozamientos internos ( $\phi$ ) más bajos de los reales”.

No es lo mismo hablar de coeficientes de seguridad durante un pro-

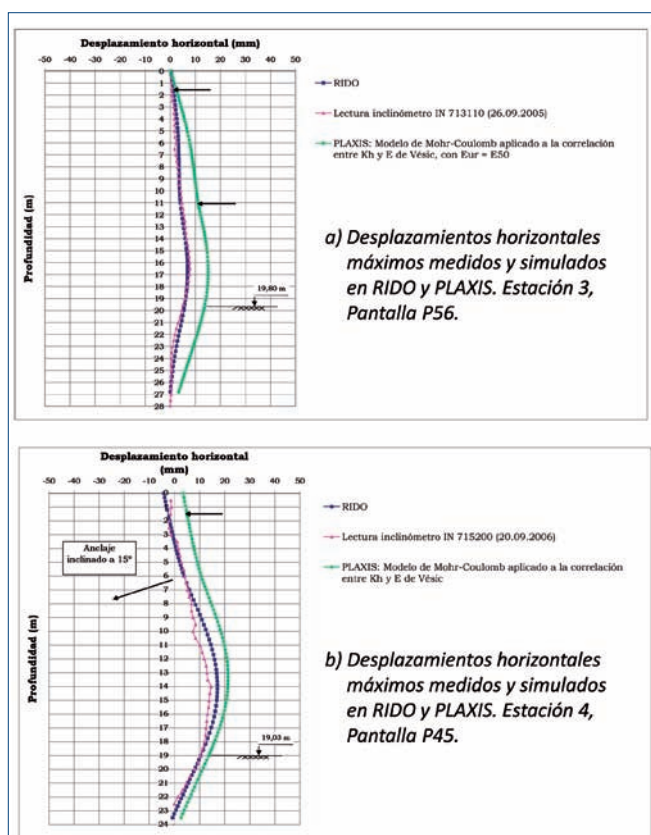


Figura 3. Resultados teóricos comparados con medidas en Metronorte, Madrid (Sanhueza, 2008).

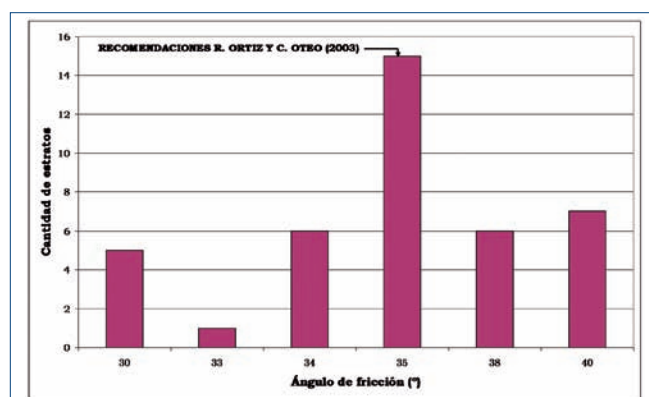


Figura 4. Estudio del valor del ángulo de fricción en la arena de mica (Sanhueza, 2008).

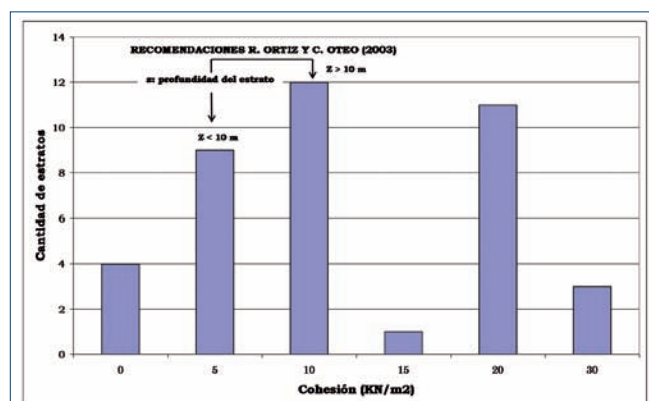


Figura 5. Estudio del valor de la cohesión en la arena de mica.



Tabla 2. Asignación de parámetros geotécnicos para los proyectos del Metro Sur (5-11-1999).

Causa	PESO ESPECÍFICO APARENTE $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN $c'$ (t/m <sup>2</sup> )	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO $\Phi'$ (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN (Subsid.) $E$ (t/m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE POISSON $\nu$	COEFICIENTE DE BALASTO $K$ (t/m <sup>3</sup> )
Rellenos antrópicos	1,80	0,0	28,0	800-1.000	0,35	2.000
Rellenos seleccionados, compactados	2,10	2,0	34,0	10.000	0,28	8.000
Aluviales	2,00	0,0	32,0	1.000-1.500	0,32	5.000
Depósitos arenosos de rampa	2,00	0,0-0,5	34,0	3.000-6.000	0,30	8.000
Arenas de miga	2,00	0,5-1,0	35,0	5.500-7.500	0,30	12.000-20.000
Arenas tosquitas	2,05	1,0-1,5	33,0	8.000-10.000	0,30	15.000-20.000
Toscos arenosos	2,08	2,0-2,5	32,5	13.000	0,30	25.000-35.000
Toscos	2,10	3,0-4,0	30,0	15.000-18.000	0,30	30.000-40.000
Toscos de alta plasticidad	2,06	4,0-8,0	28,0	20.000	0,28	40.000
Peñuelas verdes y grises	2,00	5,0-6,0	28,0	20.000	0,28	35.000-50.000
Peñuelas verdes o grises con yesos	2,10	5,0-8,0	30,0	25.000	0,27	40.000-55.000
Peñuelas reblandecidas con yesos o redepositadas)	2,00	0,0-1,0	28,0	1.000	0,35	5.000
Arenas micáceas en Mioceno	2,10	0,5-1,0	34,0	5.000	0,30	10.000
Sepiolitas	1,60	2,0	28,0	30.000-50.000	0,28	20.000
Caliches, niveles litificados	2,20	15,0	32,0	60.000	0,25	80.000-100.000
Yesos	2,30	7,0-10,0	28,0	40.000	0,26	60.000

NOTAS.- Cuando aparecen dos valores, el superior es para niveles profundos (> 10 m) o más consolidados o cementados. Estos valores deben considerarse orientativos, pudiendo ser modificados si lo justifican los resultados de ensayo obtenidos en cada caso.

yecto (1,5-1,6 puede ser suficiente para tener en cuenta el vuelco de un muro o la estabilidad de un talud de excavación) que cuando vamos a reparar algo que ya ha fallado (y que, por lo tanto, ha llegado a  $F=1$ ), en este último caso pueden aceptarse valores más bajos, del orden de 1,25 pero que se calculan después de un retroanálisis y que, por lo tanto, parten de valores de la resistencia intrínseca ( $c$  y  $\phi$ ) determinados en unas condiciones de verosimilitud y no a partir de recomendaciones, cuadros, fórmulas indirectas, ensayos con muestras poco representativas, etc.

Por eso es muy común que en el ámbito geotécnico el técnico se haya encaminado más hacia temas deterministas y menos estadísticos, quizás por falta de datos acumulados y por los problemas de definición de probabilidad admisible. Nuestro problema no está tanto en las acciones (aunque sí hay que tenerlas en cuenta) como en la respuesta del terreno. Es muy difícil establecer parámetros a partir de pocos datos y puede ser muy difícil cuando se dispone de un gran número

de ellos (si son poco homogéneos). Y cuando se dispone de estos, hay que analizar su procedencia (empresa que ha tomado las muestras, organización que ha realizado los ensayos, etc.), la calidad del muestreo (tomamuestras de pared delgada, testigo parafinado, tomamuestras de tubo triple, etc.), situación de la muestra (zona más descargada o decomprimida por la erosión, con menor afección por su profundidad, etc.), homogeneidad de las muestras ensayadas (que las tres muestras usadas, por ejemplo, en un triaxial tengan humedades y densidades similares), etc.

Hace más de veinticinco años se hizo un esfuerzo en el entorno madrileño para analizar un gran número de datos de sondeos y ensayos (GEOMADRID), pero las dificultades de análisis fueron tales que los resultados no pudieron utilizarse apenas. Sin embargo, hace unos quince años, a raíz de la ampliación del Metro de Madrid, junto con el Profesor Rodríguez Ortiz, establecimos unos valores tipo (análisis determinista) para la cohesión, el rozamiento interno, el peso específico

aparente y la deformabilidad horizontal de los diversos terrenos de Madrid, para ser usados en el diseño de pantallas continuas, con unos determinados programas de cálculo (Tabla 2). La comprobación de los desplazamientos de un gran número de pantallas instrumentadas ha permitido comprobar que los valores recomendados son razonablemente representativos, incluso estadísticamente, como ha mostrado la tesis doctoral de la Ingeniera Civil Carola Sanhueza, dirigida por el autor de este artículo (Figura 3 a la Figura 6). Para su elaboración se ha partido de:

- Experiencias locales de ingenieros.
- Experiencias personales de los autores de las recomendaciones y la confianza que la Administración depositó en ellos.
- La posibilidad de ir comprobando el resultado con la instrumentación de las obras.

De esa manera no parecía que se iba a correr un "riesgo inadmisibile".

Ello ha permitido diseñar casi 8 millones de metros cuadrados de pantalla en Madrid, con un "riesgo" aceptable (ninguna ha fallado) y con

unos movimientos similares a los de diseño (Figura 3 a la Figura 7). Y también ha permitido, cuando corresponde, ajustar mejor los parámetros de deformabilidad, incluso considerando las zonas de Madrid, lo que permite establecer figuras, como las 4 y 5 para estimar los parámetros de resistencia al corte que cabe esperar para diseñar pantallas continuas en Madrid. En conjunto, la comparación de resultados de campo y calculados han tenido una dispersión del orden del  $\pm 20\%$  en desplazamientos máximos (Figura 6 y Figura 7). Gracias a estos valores medidos puede distinguirse el Sur y el Norte de Madrid (Figura 8), al estar más cementada una zona que otra. Pero incluso en una figura como la 7 hay dispersiones de un  $\pm 20\%$  (si bien es cierto que, en general, en plan conservador) que es algo que siempre cabe esperar en el ámbito geotécnico, por muy buenas que sean las predicciones (las malas llevan, generalmente a dispersiones del 100-300%). En los parámetros resistentes, las dispersiones van en "plan" conservador (valores deducidos generalmente mayores que los recomendados, (Figura 9)).

Estas recomendaciones son totalmente deterministas pero, por un lado encierran un cierto carácter de valores característicos (los ensayos de laboratorio que dan magnitudes más bajas vienen a ser del orden de un 10-15%) y por otro, una constatación de que los resultados obtenidos son suficientemente correctos (medidas en deformaciones). Con esto queremos decir que los coeficientes de seguridad son aceptables (los empujes se calculan con los parámetros C y  $\phi$  de la Tabla 2 sin ser afectados por ningún coeficiente de seguridad). Este se aplica a los esfuerzos deducidos, momentos flectores y cortantes obtenidos al calcular las pantallas.

Puede hablarse de una posible relación entre coeficientes de seguridad clásicos, aplicados a problemas geotécnicos (globales y parciales) y las probabilidades de fallo. En la Tabla 3 puede verse una posible relación, que no ha de tomarse como algo fijo, sino sólo basado en algunos estudios estadísticos o estadísticas de empresas de seguros.

Tabla 3. Posible relación entre Coeficientes de Seguridad y Probabilidad de Fallo.

Problema	Coefficiente de Seguridad habitual (Determinista)	Probabilidad de Fallo
Cimentaciones superficiales	2,70-3,00 (global)	0,001-0,0001
	2,00	0,005-0,001
	1,50	0,010
Cimentaciones profundas	3,00 (global)	0,001-0,0001
	1,50-2,00 fuste 3,50-4,00 punta	0,0001
	2,00 (global)	0,005
Taludes	1,50 largo plazo	0,005 (*)
	1,30 provisional	0,05 (*)
	1,10-1,50 sismo	0,01
	1,20 reparación	0,005
Muros	1,50-1,75 (vuelco y deslizamiento)	0,005 (*)
	1,30 provisional	0,05 (*)

(\*) Generalmente, con lluvias.

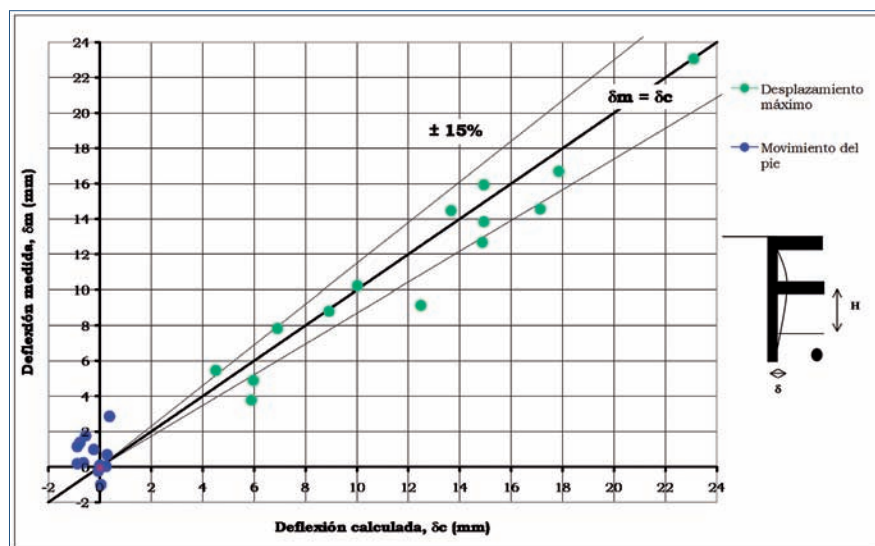


Figura 6. Comparación de resultados medidos en campo y calculados en RIDO para la tercera fase de excavación (vaciado losa contrabóveda) en varias estaciones de Metro Norte (Sanhueza, 2008).

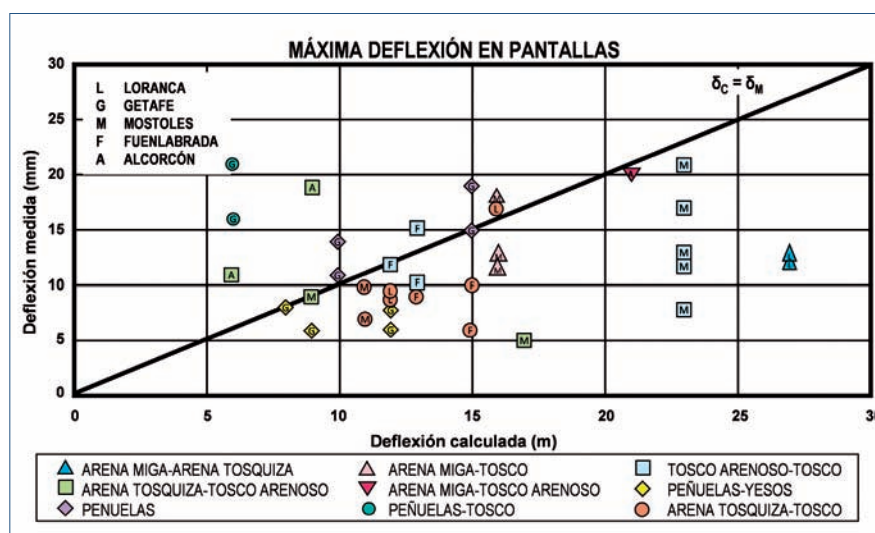


Figura 7. Comparación entre las flechas máximas medidas y calculadas en varias obras de Metro (Oteo y otros, 2003).

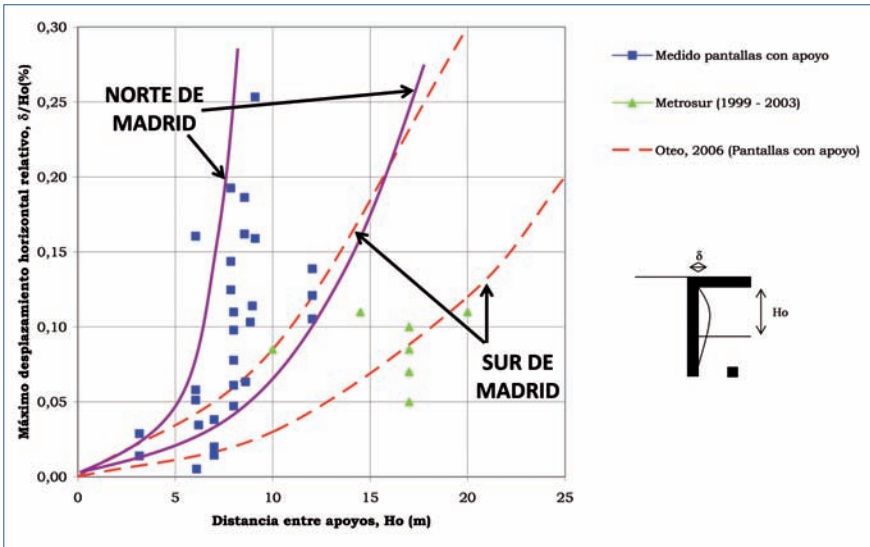


Figura 8. Distribución del desplazamiento horizontal máximo relativo en función de la distancia entre apoyos (Sanhueza, 2008).

## 4. Ejemplo de cuantificación estadística de riesgo geotécnico

### 4.1. Metodología

Hace veinticinco años el ITGE y el CEDEX se unieron para hacer un mapa de presión de riesgos por expansividad de arcillas en España, a escala 1:1.000.000. En él se aplicó una metodología que se basa en los siguientes conceptos.

La capacidad expansiva de los suelos está condicionada por numerosas variables. En último término depende de características intrínsecas de los mismos, de las condiciones en que se encuentran y, más especialmente, de las modificaciones que se introduzcan a su estado natural, lo que determina que esa capacidad pueda o no desarrollarse. Cualquier intento de valoración de la expansividad de un suelo debe, pues, recoger esas alternativas.

La Figura 10 resume los criterios seguidos para llevar a cabo la clasificación de suelos expansivos de España (Ayala y otros, 1987), que comprende dos líneas concurrentes de actuación:

- Definición de unidades cronolíticas y vinculación al clima.
- Revisión sectorial de ensayos de expansividad, contrastados con eventuales problemas derivados de la misma, y adscripción a las diferentes unidades cronolíticas.

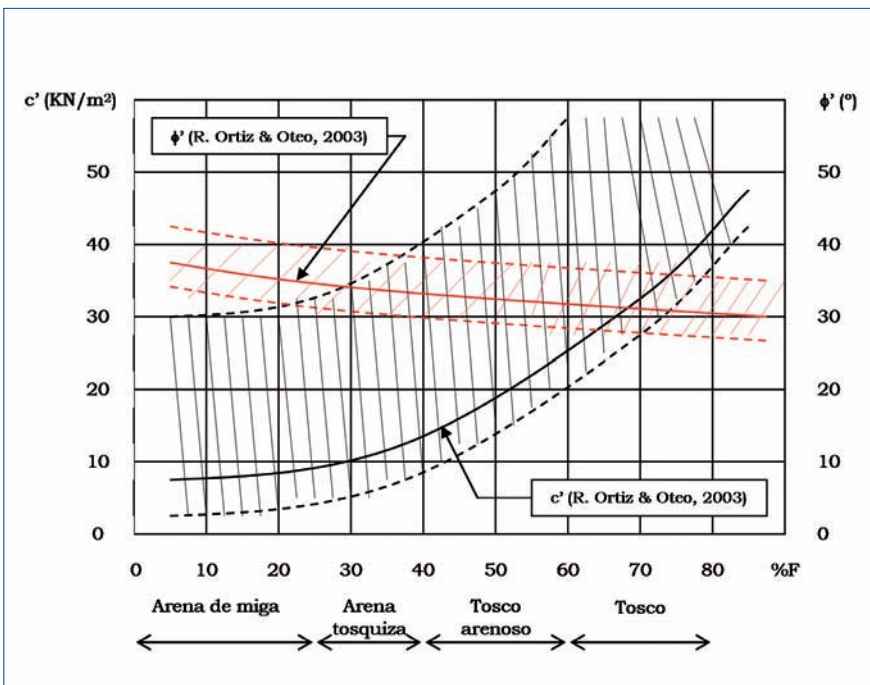


Figura 9. Rango de variación de  $c'$  y  $\phi'$  empleado en las modelaciones.

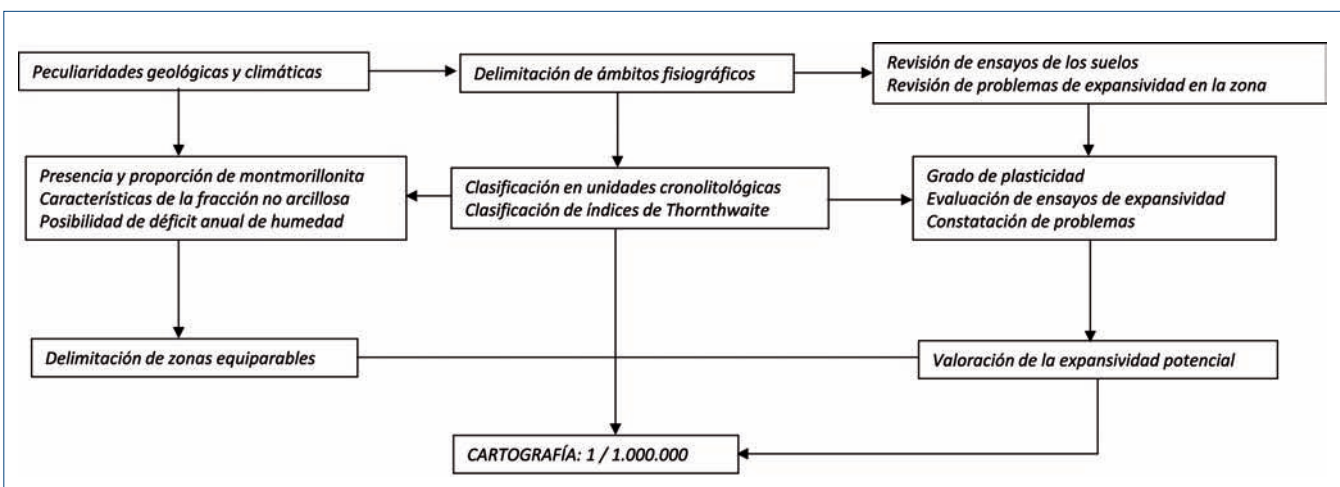


Figura 10. Metodología para la clasificación de arcillas expansivas en España.

La primera línea de actuación tiende a asegurar una clasificación de suelos donde coexistan unas características mineralógicas, texturales y estructurales equiparables (facies e historia geológica equivalentes). Esto conlleva una capacidad expansiva específica de la formación sedimentaria, que, a nivel global, permite ser relacionada con otras similares. Esa capacidad expansiva específica se matizará después de acuerdo con el índice climático de la zona en que se localizaba.

Al mismo tiempo, se llevó a cabo la adscripción de los resultados de ensayos de expansividad, completados eventualmente con otros de plasticidad para disponer de un mayor número de datos, permitió valorar las alternativas expansivas inherentes a cada formación sedimentaria y, consecuentemente, evaluarlas. En el caso de existir referencias a problemas constructivos concretados a un tipo de suelo, la formación se definió obviamente como el máximo riesgo de expansividad.

Estos criterios han facilitado la posterior integración de todos los datos disponibles, tanto de naturaleza geológica del suelo como de su expansividad, evitando en lo posible los errores de correlación a formaciones litológicas de las que no se disponía de datos geotécnicos.

Finalmente, hay que señalar que, como base de partida y para facilitar una mejor integración de datos, se juzgó útil referirlos a ámbitos territoriales con unas características relacionables. Para ello se clasificó el territorio en estudio en zonas de actuación que compartieran unas ciertas generalidades geológicas, morfológicas y climáticas (peculiaridades en parte coincidentes con cuencas hidrográficas).

## 4.2. Clasificación de arcillas por riesgo de expansividad.

En la Figura 11 aparece, reducido, el Mapa Previsor de Riesgos de Expansividad en España, que, a escala 1:1.000.000, ha sido realizado por el ITGE y el CEDEX y publicado por el primero de estos organismos (1987).

Tabla 4. Distribución porcentual de los suelos expansivos en España.

ÁMBITOS TERRITORIALES	RIESGO DE EXPANSIVIDAD DEL SUSTRATO ARCILLOSO (% DEL TOTAL)			
	NULO A BAJO	BAJO A MODERADO	MODERADO A ALTO	ALTO A MUY ALTO
CORNISA CANTÁBRICA	15,1	84,9	0,0	0,0
CUENCA DEL EBRO	8,4	61,9	29,7	0,0
FRANJA EXTREMEÑA	1,0	62,6	36,4	0,0
MESETA NORTE	6,5	73,9	19,6	0,0
MESETA SUR	12,3	66,5	15,7	5,5
FRANJA LEVANTINA	5,5	80,0	10,9	3,6
FRANJA ANDALUZA	5,1	39,3	24,5	31,1
<b>TOTAL DEL TERRITORIO</b>	<b>7,4</b>	<b>64,2</b>	<b>21,3</b>	<b>7,1</b>

A pesar de los años que han pasado, consideramos válido este trabajo y cada vez que hemos estudiado algún problema de expansividad de arcillas, los resultados del estudio han coincidido con lo indicado en el mapa.

La Tabla 4 muestra la distribución porcentual de los suelos expansivos en España.

Los grados de expansividad establecidos en el mapa son los siguientes:

- I. Potencialidad expansiva del suelo nula a baja.
- II. Potencialidad expansiva del suelo baja a moderada.
- III. Potencialidad expansiva del suelo moderada a alta.
- IV. Potencialidad expansiva del suelo alta a muy alta.

La estimación del grado de expansividad de los suelos de una misma procedencia se realizó, básicamente, de acuerdo con la máxima capacidad expansiva encontrada, la frecuencia con que se ha manifestado y sus alternativas.

Por otra parte, como esa capacidad expansiva está relacionada con las características del suelo (definidas por su composición, textura y estructura), el grado de expansividad puede ser globalizado para formaciones arcillosas de características similares.

Complementariamente, la evaluación del riesgo de expansividad debería tener en cuenta las alternativas climáticas, puesto que si la unidad cronolitológica se encuentra emplazada

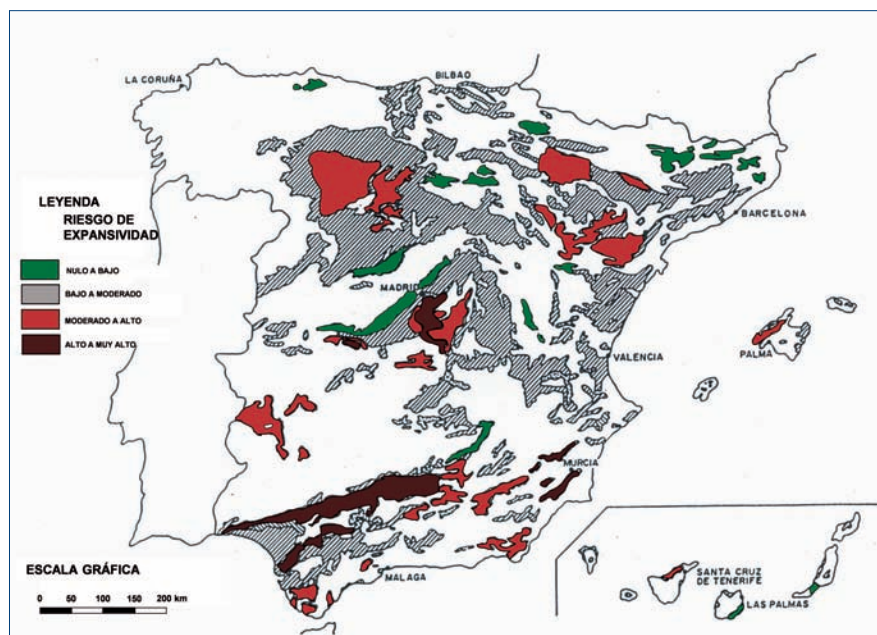


Figura 11. Versión simplificada del Mapa de Prevención de Riesgos por Expansividad en España.

en una zona climática deficitaria en humedad, su potencial expansivo podrá desarrollarse más fácilmente que si ese déficit no se produce. Estas alternativas se han clasificado mediante el índice de Thornthwaite, que establece si una zona es climatológicamente deficitaria en humedad.

La conjunción de todos estos criterios condujo a la siguiente clasificación de la capacidad expansiva de los suelos arcillosos, de acuerdo con las cuatro categorías anteriormente establecidas:

- I. Arcillas no expansivas o diseminadas en matriz no arcillosa.
- II. Arcillas expansivas subordinadas o emplazadas en zonas climáticas sin déficit anual de humedad.
- III. Arcillas expansivas localmente predominantes y emplazadas en zonas climáticas con déficit anual de humedad.
- IV. Arcillas expansivas zonalmente predominantes o emplazadas en puntos con problemas derivados de la expansividad.

Estas son las cuatro categorías de riesgo que se indican en la Tabla 4. Un resultado adicional de este trabajo, condujo a uno de sus autores a elaborar un nuevo criterio de expansividad (Oteo, 1986).

### 4.3. Comentarios sobre el trabajo estadístico.

El utilizar valores medios puede entrañar serios inconvenientes. Las clasificaciones de casi todos los autores suponen que el grado de peligrosidad se refiere a un intervalo de los valores del límite líquido o de cualquier otro parámetro. Pero en la realidad, las variaciones locales (alterabilidad superficial, drenaje, etc.) pueden hacer variar el resultado de aplicar uno de estos criterios.

En la Figura 12 se han representado diversos casos de valores del límite líquido relacionado con el hinchamiento libre, para determinadas franjas del contenido de humedad, distinguiendo su ubicación en la Península Ibérica. Todos estos datos fueron obtenidos

utilizando los archivos de ITGE y del CEDEX, así como los derivados de una encuesta a nivel nacional. En esa figura pueden verse varias cosas:

- En la Cuenca del Ebro (en que las arcillas se mezclan con yeso dihidratado y hemihidratado o anhídrito), se ve que la humedad natural es muy baja (clima semiárido a árido pero en que pueden alcanzarse hinchamientos libres altos (4-6 %) con plasticidad baja.
- En las Franjas Andaluza y Meseta Sur, con humedades más altas (23-33 %), la mayor parte de las veces se tienen hinchamientos libres inferiores al 1 %, incluso con límites líquidos de hasta 80.
- Sin embargo, en estas mismas zonas, con esas humedades y plasticidad. Pueden obtenerse hinchamientos libres del 3 al 8 % (aunque sólo sea en un 20 % de los casos). Precisamente por eso, estos materiales suelen considerarse con riesgo de expansividad alto, habitualmente, aunque sólo existan

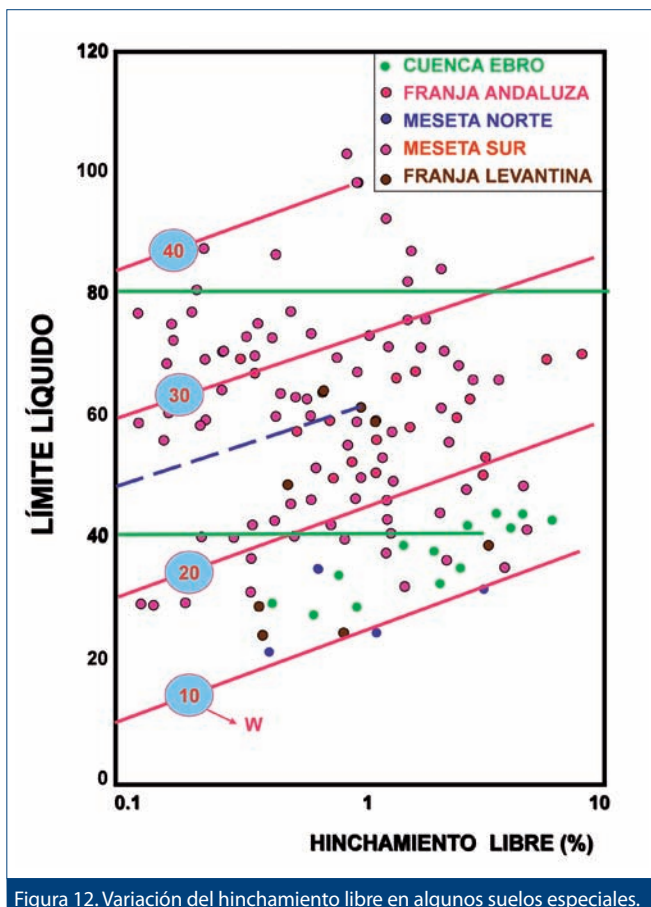


Figura 12. Variación del hinchamiento libre en algunos suelos especiales.

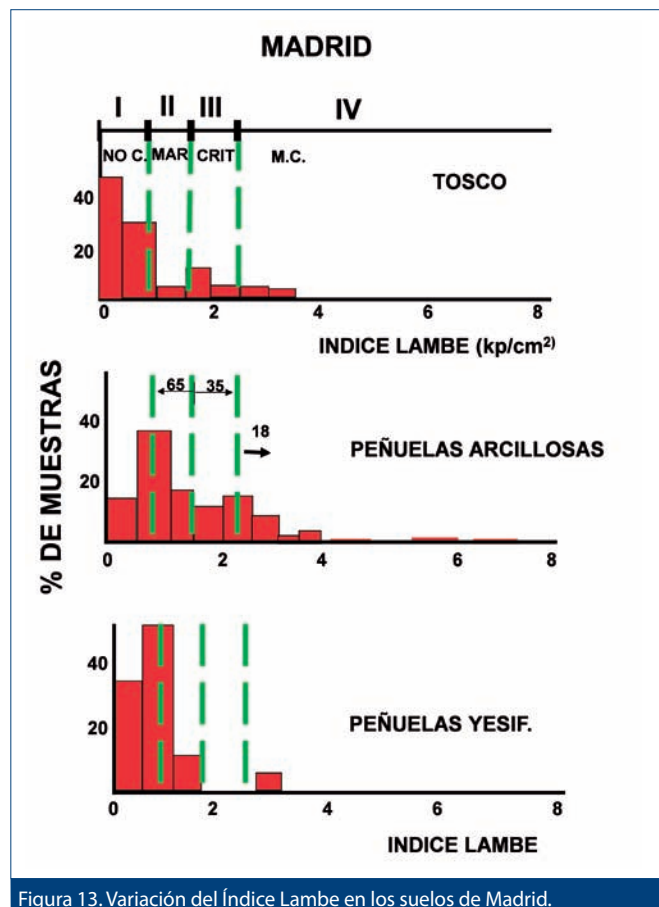


Figura 13. Variación del Índice Lambe en los suelos de Madrid.

datos claros de laboratorio en un porcentaje bajo de ensayos.

- Muchas veces esto puede explicarse por el hecho de que las muestras que se ensayan no son muy profundas y que la “alteración” y “degeneración” de las arcillas miocenas llegando sólo a los 3-4 m de profundidad, sino hasta los 8-9 m, con lo que esas zonas ya han sido saturadas y han expandido hace siglos, con lo que han sufrido expansiones y retracciones en múltiples ocasiones, alterándose su estructura.

En la Figura 13 se ha representado la distribución de los valores del índice Lambe en una serie de muestras ensayadas de los suelos de Madrid, indicándose en ella los intervalos de peligrosidad que, habitualmente, se usan con los resultados de los ensayos Lambe (no crítico, marginal, crítico y muy crítico). En esa Figura 13 puede verse que en el “tosco” (arcilla rígida, generalmente no expansiva) prácticamente todos los valores están en la zona de “no crítico”. En las “peñuelas arcillosas” (consideradas por los técnicos como con riesgo alto de expansividad) el 65 % de las muestras están en “marginal” y “no crítico”, con lo cual parecería que el riesgo sólo es ocasional. Sin embargo, la experiencia muestra que hay que tener cuidado con esa formación. También este ensayo da poco riesgo en las “peñuelas” yesíferas y, sin embargo, hemos tenido problemas en esta formación.

Es decir, según los resultados de la Figura 13, en las “peñuelas arcillosas” sería necesario hacer un importante número de ensayos en cada caso para tener la idea de que puede haber expansividad. Parecido resultado se obtiene si se emplean datos de hinchamiento libre, aunque el número de muestras utilizada es inferior que en el caso del ensayo de Lambe (unos 120).

Es decir, los valores medios son criticables y hay que pasar (como se hizo) a que si el 35-40 % de los valores son “peligrosos”, la formación lo es y se le considera un riesgo “alto” o “muy alto”, lo que es criticable.

## 5. El riesgo en sí

Como indica Romana (2010):

- Algún nivel de riesgo es aceptable (normalmente, el riesgo remanente cuando se cumplen por completo todas las reglas).
- Hay que insistir más en las personas que en las cosas (máquinas, materiales).
- Las personas que intervienen en los proyectos y obras necesitan formación y experiencia.
- Habrá una cultura de la seguridad, con un nivel alto de seguridad.
- El riesgo es responsabilidad conjunta de todos: empleados, empleadores, sociedad.
- ¿Somos capaces de imaginar todos los fallos posibles y de eliminar todas sus causas?
- ¿Aprendemos de los incidentes o sólo de los desastres?
- El futuro ¿quizá basado en resultados?

Tener en cuenta todos estos aspectos va más allá del nuevo concepto de coeficiente de seguridad, pasando a otro en que se cataloguen todos los riesgos (humanos, económicos y de plazo).

Existen ya catálogos de riesgos o de “amenazas” en algunos campos concretos de la técnica, que han sido elaborados por dos grandes motivos:

- El haberse producido accidentes importantes, con pérdidas humanas, (el fuego en túneles, por ejemplo).
- Haber tenido estos accidentes importantes repercusiones económicas.

Por eso, las compañías aseguradoras están, a veces, interviniendo en estos temas, como es el caso de riesgos en túneles, lo que les ha llevado a preparar un “Código de práctica profesional, para la gestión de riesgos de obras de túneles”, elaborado por el Grupo Internacional de Seguros en Túneles (ITIG, 2006), en el que han participado las empresas de seguros más importantes.

En dicho documento se indica que debe establecerse una “Gerencia de riesgo”, que debe:

- Identificar los perfiles y riesgos asociados.

- Cuantificar riesgos.
- Identificar acciones proactivas planificadas para elaborar o mitigar riesgos.
- Identificar métodos para el control de riesgo.
- Asignar riesgo a las diversas partes del contrato de asesoramiento.

Este Código define “riesgo” como la combinación de la consecuencia de un “peligro” y su probabilidad. Un “peligro” se define como un evento que tiene el potencial de afectar a materias relacionadas con un proyecto y que podría dar lugar a consecuencias asociadas con la seguridad y salud, el diseño y su planificación (así como su coste), el programa de construcción y sus costes asociados, servicios, etc. En el fondo, lo que indica el documento es que debe de establecerse un catálogo de situaciones de “riesgo”, ya sea en el diseño, en la construcción o en la obra, a fin de tenerlas en cuenta.

Así, se puede hacer una serie de entregas por el uso de los aseguradores. Por ejemplo, en la fase del contrato de construcción, deberían prepararse los documentos indicados en la Tabla 5.

Lo que no se indica es cómo llevar a cabo, con detalle, estos trabajos. Es decir que pueden elaborarse criterios de riesgo como el de la Figura 14 en que lo que se trata es de estar en la zona de “ALARP RISK” (riesgos tan bajos como realmente sea posible), lo que equivale nuevamente a estudiar las situaciones de riesgo, aunque no totalmente de forma estadística, pero sí de forma racional.

Es decir que el sistema de elaborar un catálogo de riesgos o amenazas parece, en la práctica, razonable y actuar en cada caso como parezca lógico. Para ello habrá que:

- Definir la fase de la construcción: reconocimiento geotécnico, diseño, construcción y mantenimiento.
- Enumerar, en cada fase, un catálogo de posibles riesgos. Por ejemplo, en el caso del reconocimiento geotécnico la posibilidad de que existan fallas importantes no detectadas (túneles interurbanos) o

vaguadas con rellenos antrópicos (túneles urbanos). Con el adecuado espaciado de sondeos, la cartografía geológica de superficie o la cartografía histórica de la ciudad puede acotarse el riesgo de problemas de magnitud máxima. Ello puede obligar a "cerrar" la malla de prospecciones (a 250 m por ejemplo, en túneles urbanos), lo cual puede aumentar el coste de la campaña, pero disminuir el coste de posibles incidentes. ¿Hasta dónde se debe de llegar?

- Evaluar económicamente el coste de las medidas de seguridad geotécnicas (paraguas, inyecciones, pilotajes, etc.) que se pueden ejecutar en función de algunos de los posibles riesgos detectados previamente y comparar ese coste con el de las posibles repercusiones.
- Asumir un cierto nivel de riesgo en cada operación, pero que sea justificable con los estudios y medidas de seguimiento y control adoptados. Ello puede ir acompañado de la instrumentación y observación adecuadas, así como de posibles instrucciones (en el proyecto inicial o en el proyecto de ejecución) para realizar instrucciones en el momento que se superen los márgenes de seguridad que se consideran adecuados. En el caso del hundimiento en el Barrio del Carmelo (Barcelona) hay que denotar que se registraron

movimientos apreciables durante varios meses previos al hundimiento, pero que no había previsiones de magnitudes límites; tipo ALARP, ni de previsión, al parecer, de actuaciones, con los correspondientes costes económicos, cuando esas magnitudes se aproximaban a los niveles de alarma.

Vemos, pues, que el camino es múltiple:

- En aquellos fenómenos repetitivos (inundaciones, terremotos, accidentes de tráfico), la toma de datos a lo largo de años permite estimar los problemas que en el futuro cabe esperar, a través de extrapolaciones estadísticas.
- En el caso geotécnico más puro (cimentaciones, túneles, etc.) no pueden existir series largas de datos (ni, a veces, cortas).
- Las acciones que actúan sobre cimientos deben definirse (tal como hace la Guía de Cimentaciones o las Recomendaciones para Obras Marítimas) y seguir su incidencia y ocasionalidad. Así se suelen distinguir las acciones permanentes (pesos propios, cargas muertas, empujes del terreno y subpresiones del agua), las variables (que pueden actuar o no y cuya intensidad o ubicación varía a lo largo del tiempo, como acciones climáticas, cargas de uso, aumentos transitorios de empujes por subida

ocasional del nivel freático, etc.) y las accidentales (que tienen escasa probabilidad de ocurrencia, como choques, sismos, avenidas extraordinarias, etc.). Para estimar estas acciones debe acudirse a su "valor característico" (principal valor representativo de una acción), que puede ser: a) La mejor estimación del valor medio (cargas permanentes). b) El valor cuya probabilidad anual de su excedido es del 2 % (acciones variables) o del 0,2 % (acciones accidentales). c) Definidas por alguna normativa.

- Además ha de tenerse en cuenta que los parámetros que caracterizan el terreno deben tener un valor representativo que sea una estimación prudente del valor medio que corresponde a la zona de interés en el problema que se analiza (Guía de Cimentaciones) y, a ser posible, deben determinarse por varios procedimientos ("in situ" y "laboratorio", por ejemplo). Debe analizarse cada parámetro geotécnico para estimar su variación, entendiéndose como valor  $X_k$  a aquel valor tal que solo hay un 5 % de probabilidades que las magnitudes medidas sean menores. Puede hablarse de un valor característico superior ( $X_{k\ sup} = X_m \cdot \xi$ ) y otro inferior ( $X_{k\ inf} = X_m / \xi$ ), siendo  $X_m$  el valor medio. Según las Recomen-

Tabla 5. Documentos a preparar en el contrato de construcción.

ENTREGA	PREPARADO POR	ALCANCE Y PROPÓSITO
Documentación del contrato	Cliente	Para evaluar el nivel de información proporcionado a los licitadores incluyendo la identificación de peligros y de riesgos asociados durante la fase de desarrollo del proyecto.
Las condiciones de referencia del suelo	Cliente o licitadores	Para evaluar el sitio y los peligros del suelo establecidos por las investigaciones.
Declaraciones de métodos	Licitadores	Para evaluar los métodos de la construcción, materiales y maquinaria identificada por los licitadores.
Apreciación de riesgo	Licitadores	Para evaluar las percepciones y disposiciones de los licitadores frente al riesgo.
Registro de riesgo del licitador	Licitadores	Demuestra como la oferta proporciona adecuadamente y apropiadamente riesgos identificativos para asignar al contratista.

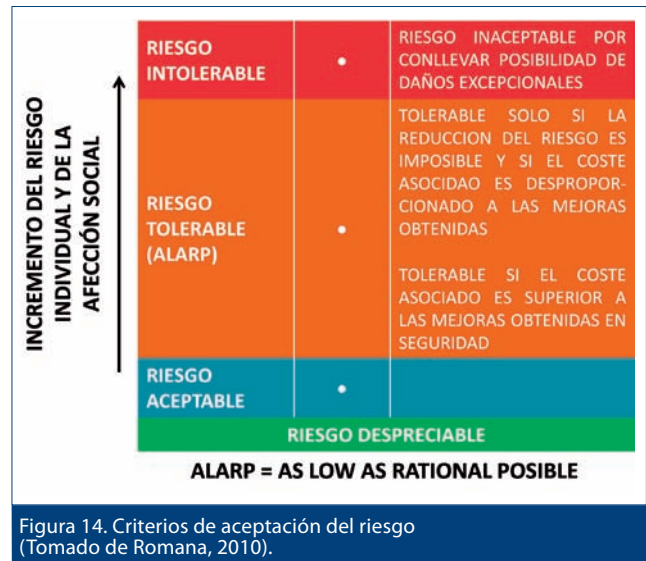


Figura 14. Criterios de aceptación del riesgo (Tomado de Romana, 2010).

daciones para Obras Marítimas, el factor  $\xi$  puede variar, según el número de datos de que se dispone y del parámetro geotécnico de que se trate, desde 1,05 (peso específico con muchos datos) a 50 (coeficiente de permeabilidad con pocos datos). El valor del parámetro de diseño  $X_d$  (si éstos son de resistencia del terreno) sería igual a:  $X_d = X_{k\min} / \gamma_m$ , siendo  $\gamma_m$  un coeficiente de minoración que vale 1,25 para la tangente del ángulo de rozamiento, 1,60 para la cohesión efectiva y 1,40 para la resistencia al corte sin drenaje y la compresión simple. Así puede introducirse un cierto carácter estadístico, práctico en la selección de los parámetros geotécnicos.

- Ha de elaborarse un catálogo de “riesgos”, o de situaciones de amenazas, los cuales deben

examinarse con criterios medibles (mediante cálculos matizados con los valores característicos y mínimo) y con criterios subjetivos (posibilidad de zonas blandas, por ejemplo).

- Ese catálogo de amenazas es, a veces, bastante subjetivo, por lo que no siempre es suficientemente representativo y debe incluir las repercusiones.
- Con el criterio de la Figura 14, el riesgo puede ser “aceptable”, “tolerable” e “inadmisible”. Ello depende de las consecuencias de esos riesgos. Si el tomar medidas económicas puede llegar a costar tanto como las consecuencias de un incidente (sin que haya riesgo de víctimas humanas) puede llegar a asumirse el riesgo como “tolerable”.

## 6. Ejemplo de listado de amenazas y de sistemas de elaboración de mapas de riesgo

A continuación incluimos, a manera de ejercicio académico, cómo se elaboraría el catálogo de “amenazas” en un caso concreto: El diseño y construcción de una infraestructura viaria en trinchera.

En este caso debemos contemplar riesgos en:

- Los taludes de desmontes (inestabilidad, arrastres, etc.).
- En la propia plataforma viaria.

Puede hacerse el catálogo que se incluye en la Tabla 6, el cual, puede, aún detallarse más. Con esas ideas pueden tenerse en cuenta muchos de los problemas geotécnicos que pueden ser predecibles. Estas “amenazas” están pensadas para sucesos en

Tabla 6. Análisis de riesgos en servicio de una obra viaria en trinchera.

Nº	Riesgo	Consecuencia	Probabilidad	Acciones preventivas
1	Taludes inestables (en masa) (Figura 15)	Corte tráfico	Media	Investigar mediante geología superficial y sondeos. Diseño adecuado (Figura 15). Dejar cuneta y bermas amplias (Figura 16) y otros refuerzos (Figura 17).
2	Caída de bloques de roca de los taludes (Figura 18)	Corte tráfico Daño personas	Baja	Investigar mediante geología superficial y estaciones geomecánicas. Cunetones amplios. Barreras dinámicas en el talud. Barrera rígida al pie. Mallas ancladas al talud. Bulonados y gunitados. Muros de gaviones o escolleras.
3	Erosión en los taludes	Corte tráfico Atasco carreteras	Baja-Media	Cunetas amplias. “Mantas y mallas protectoras”. Muros de gaviones.
4	Reblandecimiento de la plataforma por acumulación de agua (sobre todo en arcillas)	Irregularidades en el firme	Baja-Media	Zanjas drenantes al pie de taludes y/o cerca de arcnos. Impermeabilización mediana (incluso con dren) (Figura 19).
5	Hinchamiento en plataforma (arcillas expansivas y anhidrita)	Daños en el firme (circulación incómoda)	Baja-Media	Reconocimiento geotécnico adecuado. Zanjas drenantes junto a arcnos e impermeabilización, mediante: tratamiento con cal de 0,75 m del fondo de excavación (Figura 20).
6	Asientos en plataforma por fondo de desmonte en roca muy alterada	Daños en el firme (circulación incómoda)	Media-Alta	Sustitución del terreno natural por terraplén o pedraplén compactado. Zanjas drenantes. Posible adición de cal.
7	Presencia de cavidades bajo plataforma (carst yesífero) (Figuras 21 y 22)	Daños en el firme y hundimiento brusco	Media-Alta	Investigación geotécnica con detalle. Tomografía eléctrica. Refuerzo del firme con geotextiles o capa de hormigón con mallazo.
8	Presencia de cavidades bajo plataforma (carst calizo) (Figura 21)	Daños en el firme y hundimiento brusco	Media-Alta	Investigación geotécnica con detalle. Tomografía sísmica y eléctrica. Sobreexcavación. Refuerzo del firme con capa de hormigón con mallazo. Perforaciones sistemáticas para relleno de huecos.
9	Acción de lluvias directas excepcionales	Reblandecimiento terreno e inestabilidad de taludes (corte tráfico)	Baja-Media	Estudio pluviometría. Drenaje. Reexcavación. (Figuras 15, 16 y 17).



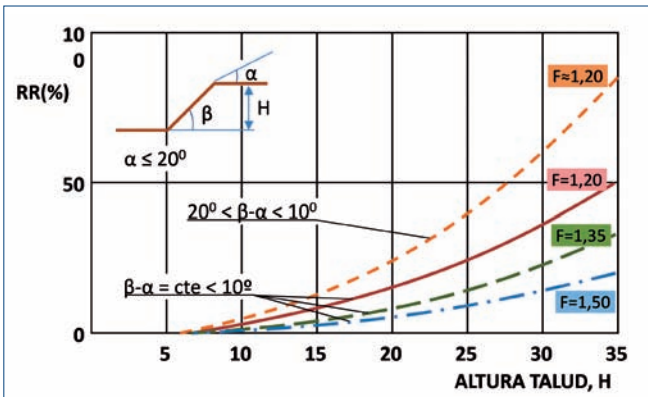


Figura 15. Posible variación del riesgo en taludes de desmonte en función del coeficiente de seguridad y la inclinación del talud y de la ladera natural.

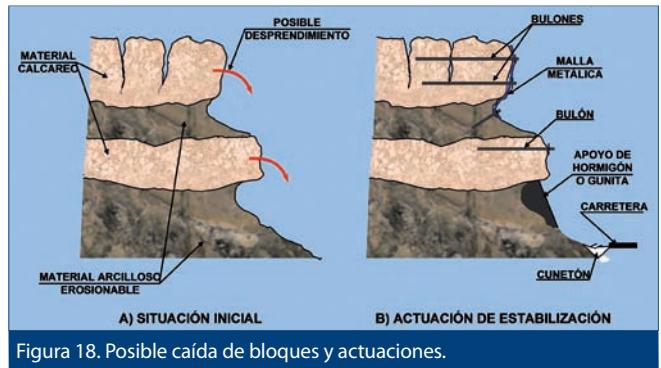


Figura 18. Posible caída de bloques y actuaciones.

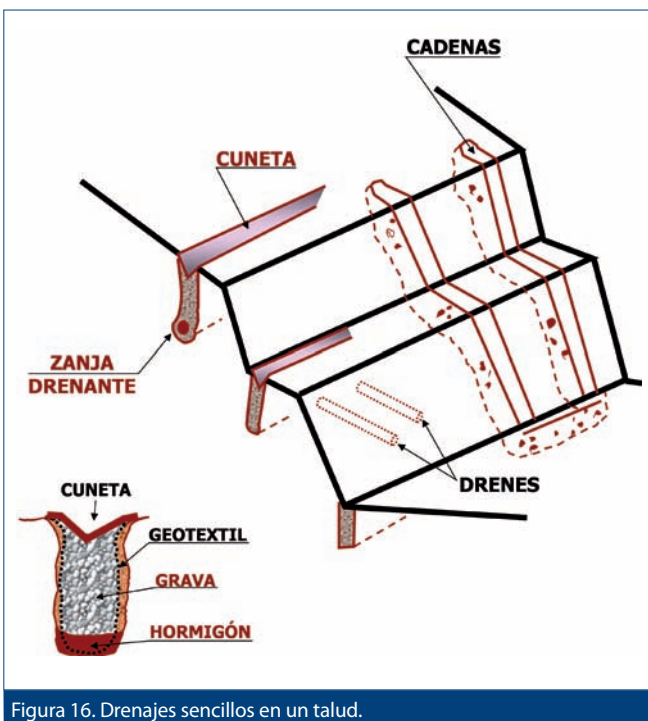


Figura 16. Drenajes sencillos en un talud.

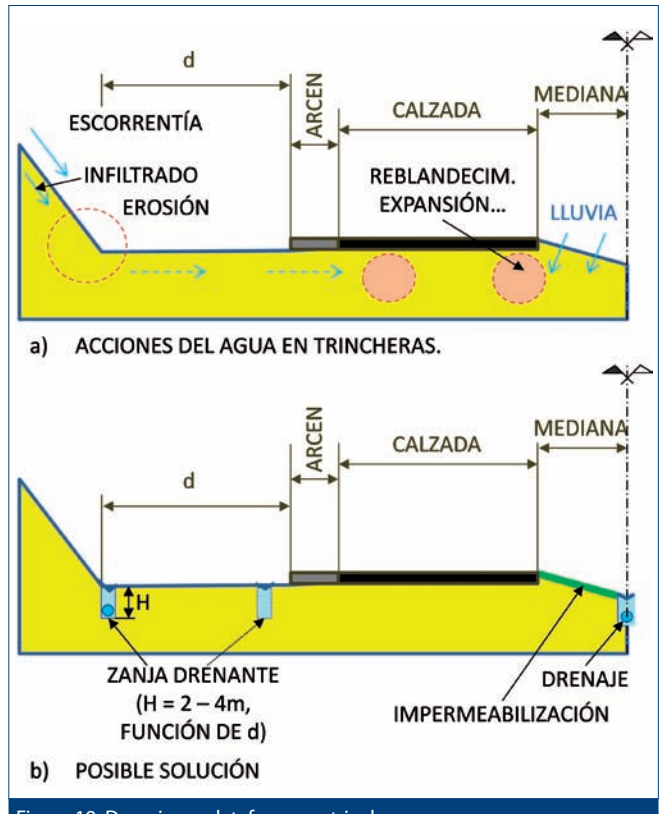


Figura 19. Drenaje en plataforma en trinchera.

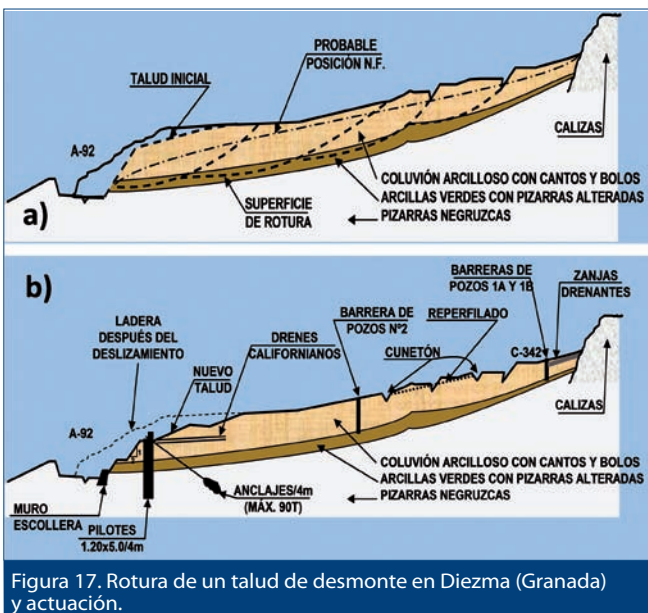


Figura 17. Rotura de un talud de desmonte en Díezma (Granada) y actuación.

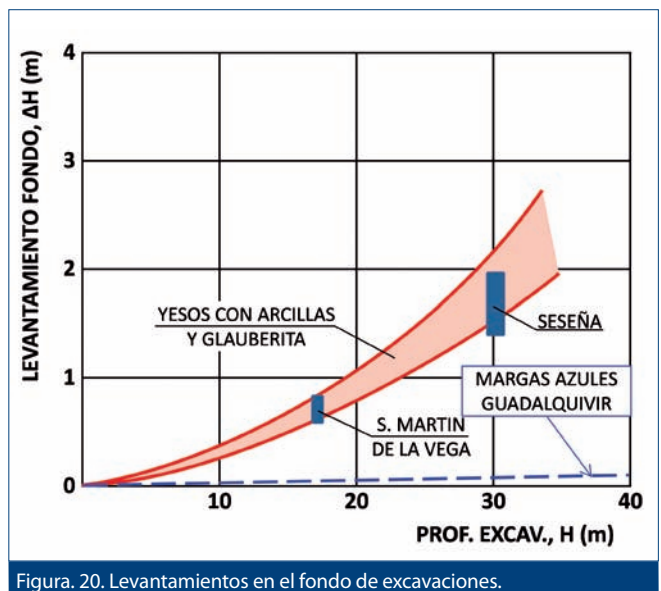


Figura 20. Levantamientos en el fondo de excavaciones.

servicio de la obra, a cubrir por la organización que lleve su mantenimiento.

Ahora bien, si se quiere analizar el tema de inestabilidad de un desmonte, puede profundizarse extraordinariamente. Cabe distinguir como posibles factores:

- Tipo de roca o depósitos superficiales (materiales).
- Pendientes del talud.
- Rugosidad y curvatura del talud.
- Espesor de roca alterada.
- Rasgos estructurales (diaclasas, fallas, etc.).
- Vegetación.
- Factores climáticos:
  - Intensidad de lluvia absoluta y relativa.
  - Horas de exposición al sol (orientación).

- Cambios técnicos a lo largo del año.
  - Cambios de humedad a lo largo del año.
  - Cambios del uso del suelo.
  - Actividades de los movimientos de la ladera.
  - Proximidad a fondos de barrancos y embalses.
  - Área de la cuenca hidrológica en que se inscribe el talud, así como su longitud.
  - Pendiente media de la cuenca hidrológica, etc.
- Analizando estos factores (lo que suele hacerse con un soporte tipo SIG, para asignar en cada cuadrícula los valores absolutos o relativos de los mismos), pueden establecerse índices de riesgo o de peligrosidad (Hervas y Barredo, 2001). Este último,  $I_p$ , puede definirse con la expresión:

$$I_p = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij}$$

en que  $W_j$  es el peso que se le asigna al factor  $j$  y  $X_{ij}$  es el peso de la clase  $i$  del factor  $j$ , es decir cruzando de dos en dos los factores. Esto suele realizarse con una "matriz de riesgos". Por ejemplo si se trata de un problema de riesgo de inestabilidad de taludes, podría considerarse (de forma simplificada) cinco factores:

- Pendiente (A).
- Materiales (B).
- Horas de insolación (C).
- Vegetación (D).
- Pluviometría (E).

Y entonces puede hacerse una matriz de influencia de dos en dos de estos factores (Tabla 7):

Tabla 7. Ejemplo de una matriz de riesgos.

	A	B	C	D	E
A	1,0				
B	1,5	1,0			
C	1,2	1,2	1,0		
D	1,1	1,4	1,5	1,0	
E	2,0	1,2	1,3	2,0	1,0

Evidentemente en las casillas se introduce el peso que se considera conveniente, por lo que, nuevamente nos encontramos con criterios subjetivos, a los que después se pueden aplicar sistemas matemáticos. En este sentido cabe señalar que se pueden utilizar procedimientos distintos como el estadístico multivariante y como el de las jerarquías analíticas, que da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones (Hervas y Barredo, 2011). Pero siempre hay una estimación subjetiva de la adjudicación de pesos o de influencias, lo cuál puede variar las escalas de peligrosidad obtenidas. Como estos trabajos suelen hacerse sobre zonas en que ya se han puesto de

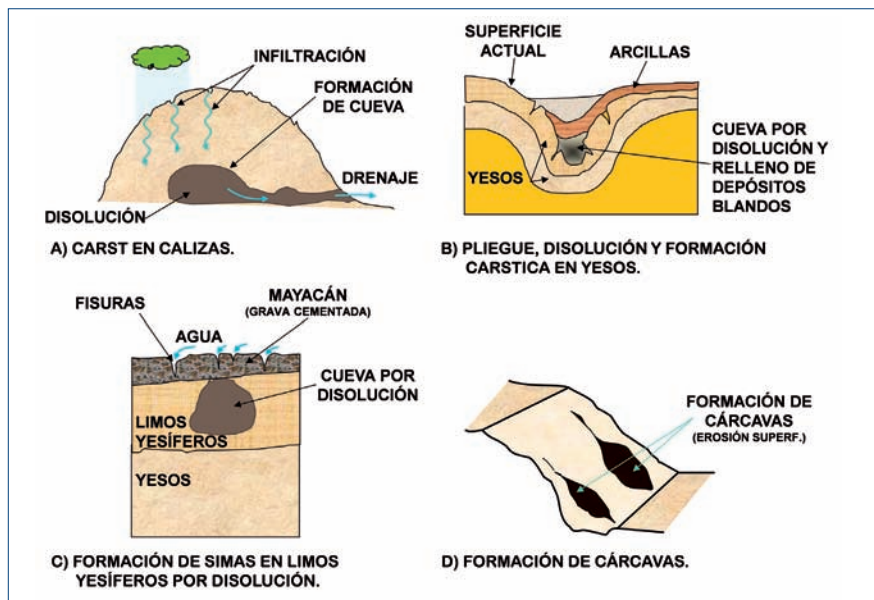


Figura 21. Formación de simas en zonas cársticas.



Figura 22. Simas en yesos cercanas a Zaragoza, después de ser limpiadas y antes de rellenarlas con mortero.

manifiesto los problemas (los riesgos ya no son una incertidumbre), a veces resultan mapas de peligrosidad que están muy guiados por la realidad. El problema es su aplicación a otras zonas, más pobres de datos de peligro.

En este tipo de mapas destacan los trabajos de la Universidad de Granada (dirigidos por el Prof. Chacón), los de la Universidad Politécnica de Catalunya (Prof. Corominas y su equipo), los de la Universidad de Las Palmas (Prof. Lomowchitz), de la Universidad de Salamanca (Prof. Blanco) los del ITGE (F. Ayala y la Profesora Ferrer), etc.

También se puede aplicar el sistema propuesto por Romana García (2010) para analizar el riesgo de caída de bloques rocosos, a fin de disponer medidas de protección de taludes. Se define el riesgo de desperfectos del talud, R, como la suma de cuatro factores:

- Agresividad del clima (F).
- La geometría del talud (altura, pendiente, bermas) (G).
- El tamaño del bloque que puede caer (H).
- La existencia de materiales con diferente resistencia a la erosión (heterogeneidad) (I).

Así:

$$R = F + G + H + I$$

La resistencia del talud, R', frente a la erosión o desperfecto del talud depende de:

- La resistencia del material.
- La presencia de cuntones o protecciones de la calzada.
- La presencia de pantallas dinámicas.
- La existencia de bermas superiores.

Con ayuda de la Figura 23, en la que se relaciona la resistencia (o puntos de resistencia, o sea R') con los puntos de riesgo (ó R), se puede establecer en cada zona de estudio (fijándose en la inclinación de diaclasas, estado del talud y los datos de R) el nivel de riesgo.

Evidentemente todas estas consideraciones en estos sistemas de cartografía de riesgos y vulnerabilidades, bajo el disfraz de medios informáticos y matemáticos abundantes (GIS, matrices de riesgo, etc.) llevan a una carga

subjetiva importante: la definición de los pesos de influencia o del riesgo de cada factor. Por eso, muchas veces son aplicables a situaciones ya en marcha, por ejemplo a la deducción del riesgo de caída de bloques en una nueva autopista o inestabilidad de taludes de una obra similar, dirigida a labores de mantenimiento. En otras, se parte de la situación de una zona en que se conocen bastante bien los riesgos (por ejemplo en la bajada de Granada a Madrid, en que ya los problemas estaban mencionados en el primer número de la Revista de Obras Públicas, hacia 1860). Lo difícil es aplicarle estos sistemas a obras nuevas en que existe poca experiencia y, sin embargo, son de gran envergadura (ampliaciones de Metro, ampliaciones portuarias, etc.)

Una aportación interesante de mapas de riesgo de deslizamientos en España la hizo, hace años, el ITGE, con el mapa reproducido en la Figura 24.

En la Figura 25 hemos dibujado el riesgo relativo frente a la inestabilidad de taludes y frente a la de cimentaciones sencillas (Riesgo = nº fallo / nº sucesos (en %)). Como se ve es mucho más probable que falle un talud de carretera que una cimentación. Sin embargo, el daño puede ser mayor en el caso de fallo de cimentaciones (mayor riesgo de daños en vidas humanas, mayor reper-

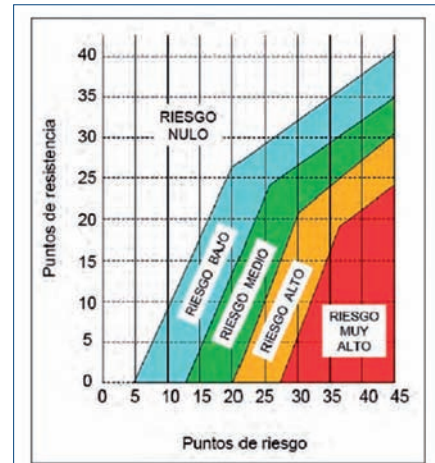


Figura 23. Diagrama de valoración de riesgos (Romana García, 2010).

cusión económica). Todavía nos falta mucho por estudiar y por aprender.

El tener en cuenta las repercusiones de un riesgo es muy importante, es decir, la vulnerabilidad del sistema debe de tenerse en cuenta de forma evidente.

Según el Comité C-12 de la AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera), en su documento de 2004 sobre el riesgo de taludes de carretera, distingue:

- **Probabilidad:** posibilidad de que ocurra el suceso o evento en un período definido. O sea que se produzca una amenaza o la pérdida de una oportunidad.
- **Impacto** (equivalente a vulnerabilidad: efecto de un evento sobre uno o más objetivos, cuando realmente sucede. Puede medirse

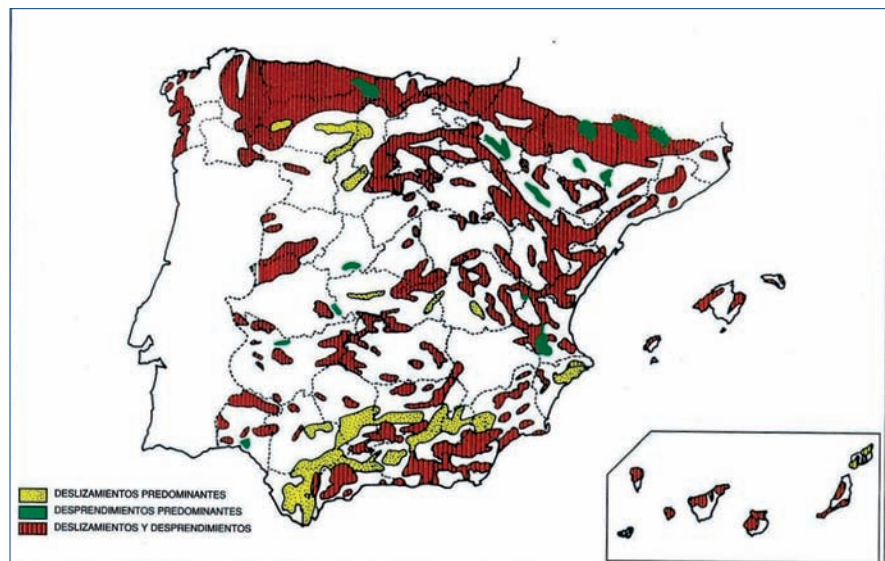


Figura 24. El mapa muestra las zonas de mayor frecuencia de deslizamientos y desprendimientos en España, que corresponden en general a las zonas montañosas y a las grandes depresiones terciarias: 1: Deslizamientos predominantes. 2: Desprendimientos predominantes. 3: Deslizamientos y desprendimientos (Mapa por M. Ferrer).

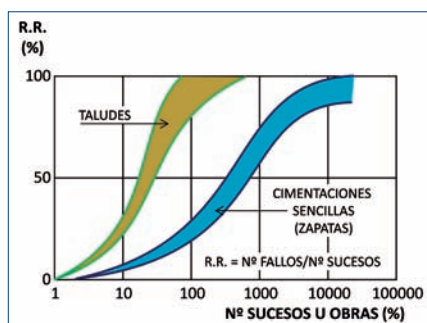


Figura 25. Posible variación de riesgo de rotura en taludes y cimentaciones sencillas.

el número de accidentes, repercusión económica, retraso de una obra en semanas, etc.

- Riesgo:** ocurrencia potencial de una amenaza, que puede tener un impacto (positivo o negativo) sobre los objetivos del proyecto en cuestión. Este riesgo equivale a:  $\text{Riesgo} = \text{Impacto} \times \text{Probabilidad}$   
 Por consecuencia, un impacto importante con una probabilidad baja dan como resultado un riesgo bajo.

La calificación del impacto puede establecerse, según el citado comité, con la Tabla 8, en las cinco categorías: coste, tiempo, reputación y relaciones comerciales, salud y seguridad e impacto ambiental. En cuanto a la probabilidad aparece en la Tabla 9, también con cinco grados.

Según este comité, en obras de carretera, el valor “de los elementos geotécnicos de su activo” constituye el 30-50 % del valor total.

Recientemente, el Estado de Missouri (U.S.A.) ha desarrollado un sistema de evaluación de caída de bloques rocosos en carreteras ya existentes, utilizando panoramas vídeo de los taludes rocosos de carreteras, desde vehículos móviles, que se envían por GPS a un sistema GIS (Youssef y Maerz, 2012).

Se aprende en cada gran incidente. Por ejemplo, a raíz del reciente

terremoto japonés que levantó oleadas de comentarios (por su afección a una central nuclear), la Sociedad Geotécnica japonesa han elaborado las Figuras 26, 27 y 28, en las que se recomienda la aplicación de diversas tecnologías geotécnicas, para prevenir y reducir geo-desastres. Estas recomendaciones son buenas, pero para llevarlas a cabo antes del próximo terremoto. Si se hubieran propuesto antes, posiblemente se habría hablado de “lo caras que son”, “no parecen del todo necesarios”, “ustedes son muy conservadores”, etc.

Por eso el camino de la definición previa de “amenazas” es muy útil, aunque, por ser muy ingenieril, supone un “riesgo y peligro” para los coautores de los proyectos, las disecciones de obra y los ejecutores de las mismas. Pero... ¡qué le vamos a hacer! Esto ya nos lo avisaron cuando estudiamos y conseguimos el título profesional.

Tabla 8. Impacto sobre taludes de carreteras (C-12 AIPCR).

			Cust	Time	Reputation and business rel.	Health and Safety	Environment
1	Very low	Not significant	Not significant	Effect not significant on the process	Not significant	Not significant	Not significant
2	Low	Important	>1% of budget	Effect on the process >5%	Slight effect on the local vision of the firm/trading relations affected	Minor injuries	Minor impact on environment
3	Medium	Serious	>5% of budget	Effect on the process >10%	Local exposition to the media/trading relations affected	Mayor injuries	Environmental impact necessitating a management
4	High	Black spot for future works and client relations	>10% of budget	Effect on the process >25%	National exposition to the media/trading relations largely affected	Fatalities	Environmental impact leading to complaint or legal proceedings
5	Very high	Problem for the survival and credibility of the firm	>50% of budget	Effect on the process >50%	Permanent national effect on the image of the firm/major impact on trading relations	Many fatalities	Major environmental impacts with irreversible effects and threatening public health and protected natural resources

Tabla 9. Probabilidad de riesgo en taludes de carretera (C-12 AIPCR).

		Likelihood	Probability
1	Very low	Negligible / improbable	<1%
2	Low	Unlikely / remote	>1%
3	Medium	Likely / possible	10>5%
4	High	Probable	>50%
5	Very high	very likely / almost certain	>90%

## 7. Riesgos geotécnicos en concesiones de infraestructuras

Los riesgos geotécnicos (o geológicos, como muchas veces se denominan, a nuestro juicio no de forma totalmente correcta) existen, como ya hemos visto. Pero el problema es saber quién tiene que asumirlos.

A continuación reproducimos un texto, preparado por nuestro colaborador Carlos Oteo Escobar, sobre el tema:

- **Objeto:** delimitar quién asume el riesgo geotécnico en las distintas fases de una concesión de infraestructuras. En dicha concesión se identifican los siguientes actores: Administración (parte que licita la concesión), concesionario (empresa adjudicataria de la concesión) y contratista (empresa que se encarga de la redacción del proyecto definitivo de construcción y que ejecuta dicha construcción).
- **Resolución:** para una mejor comprensión de quién asume el riesgo geotécnico, se establecen dos opciones:

Opción 1: El PCAP (Pliego de Condiciones Administrativas Particulares) establece de forma expresa que el riesgo geotécnico se transmite al concesionario durante todas las fases de la concesión.

Este es el caso más habitual durante las últimas concesiones licitadas por las Administraciones en España. Debido a la crisis económica (que ha afectado enormemente a los resultados de las empresas constructoras y concesionarias), la Administración establece en los pliegos de licitación que el concesionario adjudicatario asume casi la totalidad de los riesgos asociados a la concesión, especificándose claramente que uno de esos riesgos es el geotécnico.

En este caso, queda muy claro que el riesgo geotécnico es asumido de forma voluntaria por el concesionario durante todas las fases de

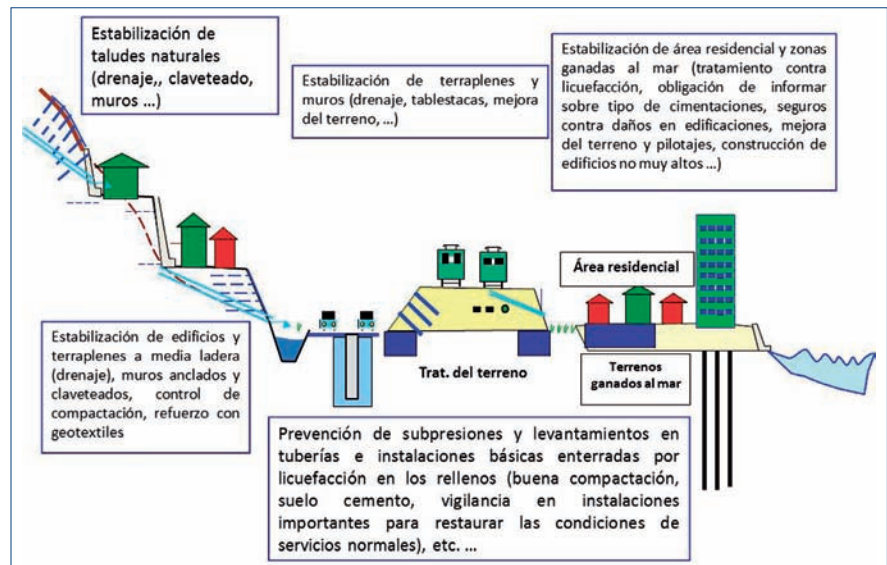


Figura 26. Recomendaciones de la Sociedad Geotécnica Japonesa para reducir geo-desastres (I).

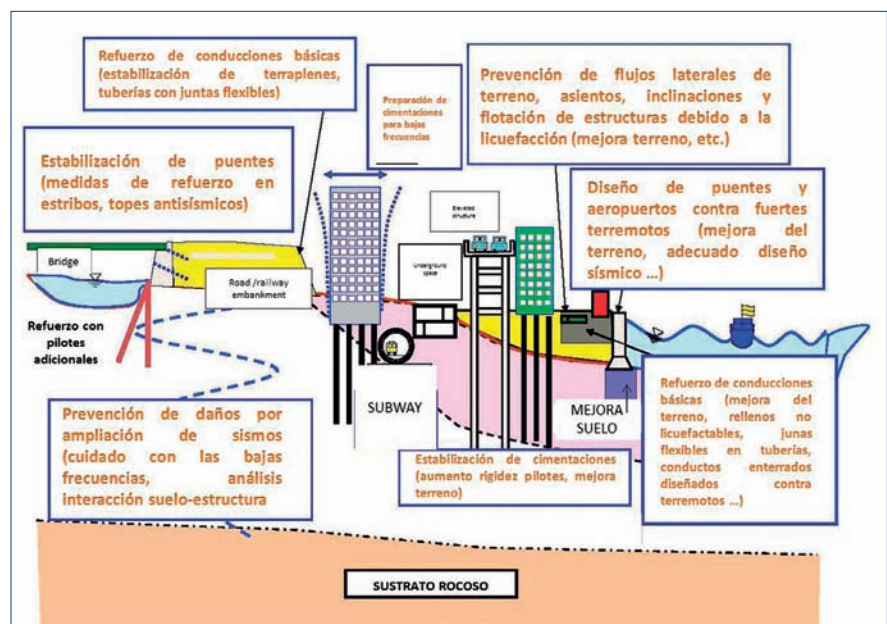


Figura 27. Recomendaciones de la Sociedad Geotécnica Japonesa para reducir geo-desastres (II).

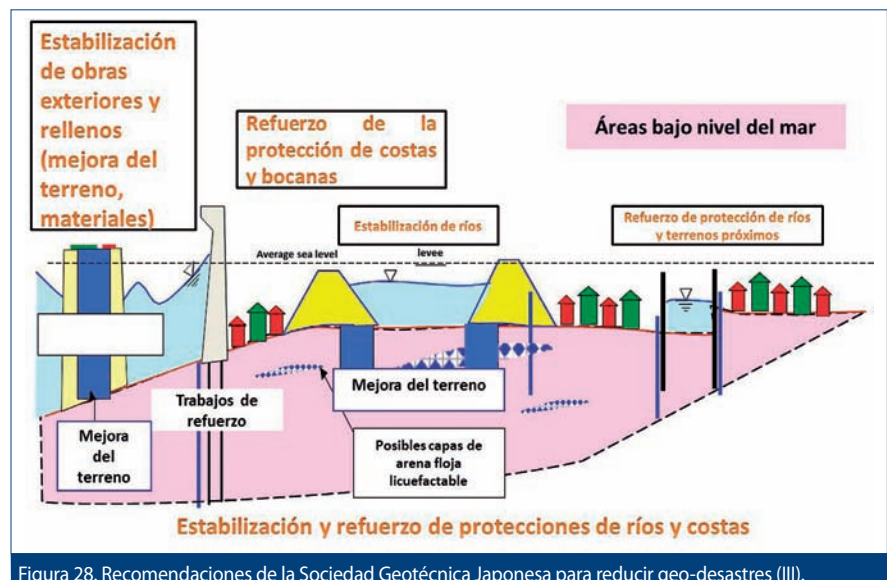


Figura 28. Recomendaciones de la Sociedad Geotécnica Japonesa para reducir geo-desastres (III).

la concesión (construcción, explotación y mantenimiento). Esto se cumplirá en todos los casos excepto los denominados de “fuerza mayor” (artículo 214 de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público). En dicho artículo se establece que los casos de fuerza mayor serán los siguientes:

- Incendios causados por la electricidad atmosférica.
- Fenómenos naturales de efectos catastróficos, como maremotos, terremotos, erupciones volcánicas, movimientos del terreno, temporales marítimos, inundaciones u otros semejantes.

- Destrozos ocasionados violentamente en tiempo de guerra, robos tumultuosos o alteraciones graves del orden público.

Es habitual, de igual forma, que el concesionario transmita al contratista dicho riesgo (estableciéndolo en el contrato de vinculación entre ambas partes). El problema surge cuando el contratista pertenece al mismo grupo empresarial que el concesionario, porque entonces, aunque el coste sea asumido por grupo empresarial (Grupo Ferrovial, por ejemplo), se establecerá una disputa interna por ver quién asume el riesgo en el caso de existir problemas geotécnicos.

En países anglosajones (Australia, Canadá, Reino Unido), donde el modelo concesional está profundamente implantado, se suelen negociar el reparto de riesgos con la Administración, previo a la adjudicación, de forma que no existen dudas de quién asume cada riesgo. En la Tabla 10 puede verse un cuadro de reparto de riesgos habitual de las concesiones australianas.

### Opción 2: Los Pliegos de Licitación de la concesión no hacen referencia explícita a la transmisión del riesgo geotécnico al concesionario

Lo primero que hay que indicar es que, si el pliego no deja claro quién asume el riesgo geotécnico, la Ley que se aplica a las concesiones (Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público) tampoco lo clarifica en ninguno de sus artículos. Sin embargo, el artículo 199 de dicha Ley establece que “la ejecución del contrato se realizará a riesgo y ventura del contratista, sin perjuicio de los establecido para el de obras en el artículo 214 (fuerza mayor)”.

Por lo tanto, en el caso de que se produzca algún tipo de problema geotécnico durante las fases de la concesión, la Administración apela siempre a dicho artículo 199 para trasladar el riesgo al concesionario.

Sin embargo, la estrategia habitual de los concesionarios, en estos casos en los que existen problemas geotécnicos, es intentar demostrar que dichos problemas han sido producidos por un “riesgo impredecible y sobrevenido”, en un intento por trasladar dicho riesgo de vuelta a la Administración. Estas situaciones suelen acabar en los juzgados o en arbitrajes pactados, donde el concesionario intenta demostrar (mediante un procedimiento contencioso-administrativo) que, efectivamente, no existía forma de predecir los actos ocurridos.

Tabla 10. Cuadro de reparto de riesgos. Fuente: Department of Treasury Finance (2002).

Categoría	Riesgo	Posible asignación
Legislativo	Cambio de ley	Gobierno
	Cambio de regulación	Gobierno
Diseño, construcción	Diseño y construcción	Privado
Patrocinador	Impacto social	Gobierno
	Propiedad	Gobierno
	Política	Gobierno
	Legalidad	Gobierno
	Proceso	Gobierno
Activo propiedad	Propiedad	Gobierno
	Defecto del proveedor	Gobierno
	Propiedad intelectual	Privado
	Valor residual	Caso por caso
Mercado	Obsolescencia tecnológica	Privado
	Demanda	Privado
Operativo	Mercado	Privado
	Diseño	Privado
	Mantenimiento	Privado
	Operacional	Privado
	Cambio de organización	Privado
	Rendimiento	Privado
	Riesgo público	Privado
	Seguridad	Privado
Actualización	Privado	
Sitio	Medioambiente	Privado
	Título	Gobierno
	Proyecto	Caso por caso
Financiación	Fianzas	Caso por caso
	Inversión	Privado
Causas de fuerza mayor	Causas de fuerza mayor	Compartido
Relaciones Industriales	Relaciones industriales	Privado
Impuestos	Cambios de estatus	Privado

En lo que respecta las relaciones entre concesionaria y constructora, la clave se encuentra en el contrato que une a ambos. Es ahí donde ha de aparecer trasladado al constructor. Si no es así, se reproduce el mismo problema de antes, pero ahora entre concesionario y constructor (con la salvedad de que el constructor, a su vez, puede decir que el riesgo es del promotor, es decir, de la Administración).

## 8. La gestión de obras de alto riesgo

Con el título de este capítulo, el Ingeniero de Caminos Bofill de la Cierva ha escrito un artículo sobre un posible sistema de gestión a aplicar en obras de alto riesgo que, a su juicio, suele presentarse en casi todas las obras de construcción, tanto para edificación como para obras públicas, dado que cada vez se llevan a cabo con plazos de ejecución cada vez más reducidos. Así, se han abordado cada día soluciones más arriesgadas y en lugares más comprometidos. Ello hace que, en muchas ocasiones, estas obras puedan considerarse como "de alto riesgo", lo que lleva a que *"todos los agentes implicados deban hacer todos los esfuerzos necesarios para reducir la probabilidad del error grave al mínimo factible en su parcela de responsabilidad"*.

Los accidentes no sólo se producen por defecto de ejecución. La distribución de patologías en la construcción se divide así:

- 42,0 % atribuible al proyecto.
- 28,5 % atribuible a la ejecución.
- 14,6 % atribuible a los materiales.
- 14,9 % atribuible a la utilización y varios.

Por ello, si la empresa constructora intenta rebajar sensiblemente el riesgo de accidentes en sus obras ha de revisar (o hacer que se revise) el proyecto, desde el punto de vista de seguridad.

La empresa constructora a la que pertenecía el Sr. Bofill ha desarrollado desde 2005, un programa en este

sentido (Programa especial de tratamiento de riesgo de accidentes o PETRA), que constituye una serie de medidas adicionales a las incluidas en el Sistema de Gestión que se aplican en todas las obras, sobre todo en las urbanas subterráneas, edificios con medianera de riesgo, edificios con gran concurrencia de público, rehabilitación de edificios, grandes puentes, grandes presas, etc.

En dicho programa, las partes esenciales son:

- Selección del personal de obra (más cualificado y con experiencia).
- Comprobación del proyecto (por parte de los Servicios Técnicos o ingenieros de prestigio).
- Especial selección de subcontratistas.
- Establecimiento de un plan de auscultación cuando la ejecución pueda afectar a edificios o estructuras próximos.
- Auditoría mensual de la obra por parte de la Dirección de Calidad.

Cuando hemos leído estas bases del programa nos hemos dado cuenta que llevamos intentando establecer este Programa PETRA desde hace muchos años y que esas gestiones cristalizaron, por ejemplo durante la ejecución de las obras del Metro de Sevilla (en los años 80, a través de la intervención del CEDEX con GEOCISA y el propio contratista) y, sobre todo, en las obras del Metro de Madrid (a través de la Dirección de la Obra de MINTRA y su Unidad de Seguimiento, Auscultación y Control), ampliada después a otras obras como el túnel ferroviario de Guadarrama o el soterramiento del ferrocarril en Cádiz.

## 9. Conclusiones sobre la gestión de riesgos geotécnicos

Las obras de infraestructura, desde la fase de proyecto hasta la de construcción y mantenimiento, son "arriesgadas" por su propia natura-

leza, al asentarse sobre un terreno en el que nunca se puede decir que se conoce perfectamente sus condicionantes geológicos y geotécnicos. Además existe riesgo en el diseño adecuado de estructuras, elaboración de especificaciones sobre materiales, en la planificación de montajes y su supervisión, etc.

Ello genera la necesidad de una gestión adecuada del riesgo que implica cada obra, en la que hay que tener en cuenta las diferentes "amenazas" que puedan presentarse. En nuestro caso, problemas derivados de asumir estratigrafías no suficientemente representativas, adopción de taludes poco estables (definidos con cálculos muy genéricos que no tienen en cuenta el comportamiento real de materiales pizarrosos, granitos alterados, suelos algo cementados, etc.), definición de sistemas constructivos poco seguros (como en el caso de túneles interurbanos, en zonas con fallas, emboquilles, etc. o en los urbanos próximos a edificios antiguos, vaguadas rellenas de vertidos flojos, etc.), con poco control etc.

Los mapas oficiales de "riesgos" ayudan. Son información a tener en cuenta, pero no leyes inmutables. Llevan dentro unos criterios subjetivos (bajo una aparente seriedad informática y una temática), cuya calidad depende de la experiencia de los autores. Además, su escala suele ser de poco detalle.

Muchas veces las dificultades provienen de que ni en el proyecto ni en la construcción, se tiene una idea clara del "riesgo" (o de las "amenazas") y su gestión y administración es prácticamente nula: se trata sólo de cumplir el proyecto "caiga quien caiga", ya que ello define las condiciones contractuales. En realidad debería hacerse una evaluación del riesgo aunque no sea más que con una definición del "catálogo" de amenazas, con su correspondiente valoración. Este riesgo no sólo se presenta a corto plazo, durante la

construcción, sino también a largo plazo (mantenimiento).

Como indican diversos autores y resume Rodríguez Fernández (2007), la práctica internacional en concesiones al sector privado se ha inclinado por el traspaso del riesgo a un tercero (el Contratista). Las partes del contrato que rige la obra deberían trasladar los riesgos según la capacidad de las mismas para administrar y soportar el riesgo (que suele controlar de mejor forma las circunstancias que pueden resaltar en la pérdida de obra). Se mejoraría así la vigilancia y prevención del riesgo en cuestión. A su vez, el Contratista, de alguna manera, lo traslada al explotador, si la "amenaza" no se ha puesto de manifiesto durante la construcción.

Es relativamente habitual (incluso así se indica en algunos documentos internacionales, como el Libro Rojo de la FIDIC (Asociación Internacional de Profesionales de la Ingeniería), que se imponga la obligación al Contratista de soportar la gran mayoría de riesgo inherentes al proyecto, sin considerar la capacidad que este puede tener para enfrentar tales riesgos. Esto sucede también en diversas concesiones que la Administración ha dado al sector privado, con un "anteproyecto" en que el reconocimiento geológico-geotécnico no puede considerarse como maravilloso, en que las solucio-

nes para realizar excavaciones subterráneas no están bien planteadas (escasos recubrimientos sobre bóveda y constituidos por terrenos ganados al mar), en que los sondeos son cortos para cimentaciones de puentes (sin alcanzar el sustrato competente), en que no se ha tenido en cuenta el posible problema de carstificación (con presencia de cavernas de importantes dimensiones), etc. Las condiciones actuales de escasez de obras llevan a los contratistas a aceptar todos los riesgos en contrato. Después, si hay causas mayores, se intenta reclamar a la Administración; incluso con arbitrajes.

Una vez que el riesgo pasa a ser una realidad, sus costes deberían ser transferidos a las partes (Administración, Concesionario, Proyectista, Contratista, etc.) de una manera lógica. Debería seguirse la secuencia: Riesgo-Responsabilidad-Indemnidad-Seguros. Pero los seguros no puede (ni deben) pagar mejoras de diseño, sino (en general) compensar fallos o errores de ejecución, aunque también pueden asegurarse fallos de proyecto. Estos es un problema muy complejo. Por ejemplo, durante la construcción de la L.A.V. Madrid-Zaragoza, se produjeron seis hundimientos de túneles en un breve período de tiempo. Se produjo una discusión entre contratista y la única empresa aseguradora.

Para el pago final se aumentaron claramente las cuotas y empezó a pensarse que las empresas aseguradoras intervinieran (como supervisoras) en los proyectos, sometiendo a algún tipo de auditoría, lo que no cuajó. Algo similar ocurrió en Barcelona, a raíz del accidente del Barrio del Carmel.

Se ha escrito mucho, en los últimos diez años, sobre riesgos en obras de infraestructuras y bastante sobre riesgos geotécnicos, aunque, en general, son trabajos sobre "peligros" y "amenazas"; sin que la palabra "riesgo" se utilice en el sentido de probabilidad o de posibilidad. No existen suficientes estadísticas para hablar de "probabilidad", salvo en casos de obra ya hecha, en que puede haber una previsión y un seguimiento (conservación de taludes, por ejemplo). Se puede hablar, así, de un "riesgo" en proyecto y ejecución ("amenazas" o "peligros") y de un "riesgo" en explotación, más probable (al ver ya el terreno). A veces existen datos estadísticos, como los que figuran en la Tabla 11, debida a Baynes (2010). En ella se resumen datos de cuatro autores, más los suyos propios, en que se analiza lo que ha pasado en diversos casos con problemas. Según esta tabla, la elección de modelo analítico del terreno no razonable ha dado problemas entre

Tabla 11. Tipos de riesgos geotécnicos en obras. Ocurrencia en % (Baynes, 2010).

FUENTE	McMAHON (1985) 47 casos con problemas	STAPLEDOS (1983) 13 roturas de trabajos hidráulicos	DUCAN (1988) 13 lecciones personales	Fookes et al (2000) 31 casos	BAYNES (2010) 22 casos con problemas
<b>PROYECTO</b>					
a) Mala gestión del proceso de ingeniería geotécnica	25	38	-	-	95
b) Mala gestión del reconocimiento de campo	n.i.	46	-	-	73
c) Elección de modelo analítico no razonable	22	62	46	-	64
d) Elección de parámetros geotécnicos	58	15	46	6	32
<b>CONDICIONES REALES DEL TERRENO</b>					
a) Detalles imprevisibles sobre las condiciones del terreno	n.i.	-	-	-	59
b) Peligros inherentes a las condiciones del terreno	n.i.	7	-	68	73
c) Condiciones del terreno imprevistas	33	-	8	29	73
n.i.: Mc Mahon no contempla esta causa					



22 % y 64 % de los casos, mientras que las condiciones reales de terreno imprevistas ha dado problemas entre un 8 % y un 73 %, lo cual no nos lleva a conclusiones claras. Además, sólo hay referencia a obras con problemas y no sin ellos.

En resumen, puede decirse que los riesgos geotécnicos proceden de:

- A) Reconocimientos geotécnicos deficientes.
- B) Elección de modelos de cálculo y parámetros inadecuados.
- C) Condiciones reales del terreno imprevistas (por reconocimiento incompleto, detalles difíciles de definir, etc.).
- D) Falta de financiación adecuada y/o soporte técnico en estudios previos, proyectos o supervisión en ejecución.
- E) Evolución temporal del terreno afectado por las obras.

De momento los análisis de riesgos pueden llevarse a cabo con las listas de "amenazas" y con las medidas que se juzguen oportunas para disminuir los posibles efectos de que los riesgos se conviertan en realidad. En el resultado de esta forma de trabajar influye mucho la experiencia de sus autores y la confianza que tenga la Administración y/o Contratista en sus consejos.

## 10. Referencias

- [1] (2008) "Manual sobre riesgos en la construcción, daños a la obra y pérdida de beneficios anticipados (ALOP)". Tomado de Google.
- [2] AYALA, F.; FERRER, M.; OTEO, C. y SALINAS, J. L. (1987). "El Mapa previsión de riesgos por IGME-CEDEX expansividad de arcillas en España a escala 1:1.000.000" Serie Geológica ambiental. Madrid.
- [3] BAYNES, F. J. (2010). "Sources of geotechnical risk" *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology*. 43, 321-331.
- [4] BOFFIL DE LA CIERVA, J. E. (2007). "La Gestión de obras de alto riesgo". Reproducida por INTERNET.
- [5] COMITÉ C-12 AIPCR (2004). "Recommendations sur les risques associés aux pentes pour les routes". AICPRC. 2, 12-13 B. 92055. La Defense. Cedex-France.
- [6] CONSORCIO COMPENSACIÓN SEGUROS (1999). "Las características naturales y su cobertura aseguradora. Un estudio comparativo". Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid.
- [7] CONSORCIO COMPENSACIÓN SEGUROS (2001). "El riesgo sísmico, Prevención y Seguro". Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid.
- [8] FERRER, M. (1995). "Los movimientos de ladera en España "Reducción de Riesgos geológicos. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- [9] HERVAS, J. y BARREDO, J. I. (2001). "Evaluación de peligrosidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al Barranco de Tirajama". V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Vol. I, pp. 315-318.
- [10] I.T.I.G. (2006). "A code of practice for Risk Management of tunnel Works". Tomado de Google.
- [11] ISSMGE (2001). *Bulletin*. Vol. 5. Issue 6 págs. 24 y 25.
- [12] MARTÍNEZ-MONTES, G; DEL CERRO, J.; ALEGRE, J. Y ORDOÑEZ, J. (2007). "Análisis y evaluación de riesgo de túneles, carreteras en explotación". *Revista Ingeniería de Construcción*. Vol. 22. nº 2, pp. 101-110.
- [13] MINISTERIO DE FOMENTO – PUERTOS DEL ESTADO (2005). "Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias". R.O.M. o.5-a.5
- [14] MINISTERIO DE FOMENTO (2004). "Guía de cimentaciones en obras de carretera". Dirección General de Carreteras. Serie Monografías.
- [15] OTEO, C. (1986). "Las arcillas expansivas en España. Distribución y propiedades". Curso sobre cimentaciones en terrenos metaestables, colapsables y expansivos. Vol. II. Fundación Agustín de Betancourt. Madrid.
- [16] OTEO, C. (2010). "Propiedades y problemas de arcillas expansivas y suelos colapsables: Origen y problemas geotécnicos". 1ª Jornada sobre Ingeniería del Terreno. Problemas geotécnicos de suelos metaestables. Universidad de Jaén. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Jaén. Marzo.
- [17] OTEO, C.; RODRÍGUEZ ORTIZ, J. M. y MENAÑA, F. (2003). "Sobre los sistemas y parámetros geotécnicos de diseño en la ampliación del Metro de Madrid". *Revista de Obras Públicas* nº 3.429, pp. 49-67.
- [18] RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, M. (2007). "La problemática del riesgo en los proyectos de construcción de infraestructuras y en los contratos internacionales de construcción". *Revista Mercatoria*. Vol. 6, nº 1, pp 1-29.
- [19] ROMANA GARCÍA, M. (2010). "Sistema de toma de decisiones asociados a operaciones de conservación de taludes en suelos y rocas". *Ingeniería del Terreno, Ingeoter* 13, cap. 6, pp. 159-77.
- [20] ROMANA, M. (2010). "Introducción. El concepto de riesgo geológico". Curso teórico-práctico sobre riesgos geológicos en túneles. 2ª Edición. STMR. (Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puerto. Madrid).
- [21] SANHUEZA, C. (2008). "Criterios y parámetros de diseño para pantallas continuas en Madrid". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos).
- [22] VAN WESTEN, C. (2007). "Introducción a los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo". UNESCO RAPCA. Sacado de Google.
- [23] YOUSSEF, A. M. y MAERZ, N. H. (2012). "Development, justification and verification of a rock fall hazard rating system". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Vol. 71. Nº 1 febrero, pp. 171-186. ❖

# Recomendaciones para el dimensionamiento de la rehabilitación estructural de firmes con pavimento bituminoso mediante metodologías racionales



Recommendations for the design of structural rehabilitation of asphalt pavements through mechanistic methodologies

**Ricardo Bardasano González**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## Resumen

Es un hecho constatado que los firmes se deterioran y pierden sus características iniciales con el paso del tráfico y debido a la acción climatológica. Incluso cuando se realizan las tareas de conservación encaminadas a reducir la tasa de deterioro, es inevitable abordar en un momento dado la rehabilitación del firme, que constituye una actuación de mayor envergadura, cuando se alcanzan determinados límites. En España, la referencia básica para la rehabilitación del firme es la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes", que constituye una herramienta muy útil, pero que sin embargo no está adaptada a las últimas tendencias internacionales en cuanto a dimensionamiento de firmes y de sus rehabilitaciones, dado que no contempla con carácter general el empleo de métodos analíticos de cálculo. El objetivo de este trabajo es proporcionar al técnico una serie de criterios adicionales a los establecidos por la norma 6.3-IC, a partir de los cuales pueda seguir una serie de pautas que le faciliten la tarea del diagnóstico del estado estructural de los firmes con pavimento bituminoso y de la elección y dimensionamiento de su rehabilitación estructural, complementando aquellos aspectos incluidos en la norma en los que sea susceptible el uso de métodos analíticos de cálculo.

**PALABRAS CLAVES:** pavimento, rehabilitación, deflector de impacto, cuenco de deflexión, dimensionamiento analítico.

## Abstract

It's a fact that pavements deteriorate and lose their initial characteristics due to traffic and weather actions. Even when the maintenance efforts aimed at reducing the rate of deterioration had been performed, it is unavoidable addressing pavement rehabilitation, which is a greater scope action, at a given time when certain service limits have been reached. In Spain, the essential basis for pavement rehabilitation is the standard 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" which constitutes a very useful tool for this purpose, but which nevertheless is not adapted to the latest international trends in design of pavements and their rehabilitation, since it does not cover, in general terms, the use of mechanistic pavement design methods. The aim of this paper is to provide a number of additional technical criteria to those established by standard 6.3-IC from which a set of guidelines that facilitate the tasks of asphalt pavement condition diagnosis and choice/design of their structural rehabilitation can be followed, so that they are complementary to those areas of the standard that are likely to improve by using analytical methods of calculation.

**KEY WORDS:** pavement, rehabilitation, falling weight deflectometer, deflection bowl, mechanistic design.

## 1. Introducción

Desde el mismo momento en que un firme se pone en servicio, la acción del tráfico y de la climatología provocan una disminución de sus características funcionales y estructurales iniciales, incluso aunque dicho firme haya sido dimensionado correctamente y a pesar de que se hayan ejecutado las correspondientes operaciones de conservación ordinaria, de carácter preventivo, con el fin de reducir la velocidad de degradación de tales características. Cuando el nivel de servicio del firme llega a umbrales no admisibles por la administración que gestiona la carretera, ésta se debe plantear la necesidad de un segundo nivel de conservación: la rehabilitación, entendida como una actuación de carácter, en principio, extraordinario, cuyo objetivo puede ser recuperar el nivel de servicio inicial (o al menos, acercarse lo más posible a él) o extender la vida de servicio del firme un período adicional al inicialmente proyectado. Además, la rehabilitación puede plantearse sin haber llegado a límites críticos de los indicadores de servicio para adaptarse a una nueva situación de solicitaciones no contempladas en el momento de la concepción del firme. Dichas rehabilitaciones pueden ser superficiales o estructurales, en función de cuales sean las características del firme que se pretende renovar.

Existen numerosas referencias bibliográficas relacionadas con la concepción, la selección y el dimensionamiento de las rehabilitaciones del firme de una carretera. Sin ir más lejos, en España disponemos de la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras, aprobada por la Orden FOM/3459/2003 de 28 de noviembre, que constituye una amplia guía de proyecto más allá de las tablas de dimensionamiento que contiene, conformando una metodología práctica que guía al técnico y describe de forma detallada cada una de las tareas que ha de seguir hasta la definición completa de la solución de rehabilitación.

Dichas tablas, por su parte, se basan en el procedimiento generalizado entre las distintas administraciones de carreteras, esto es, en las relaciones existentes entre las intensidades de tráfico pesado, el nivel de deterioro de los firmes y las deflexiones; además, para la elaboración de dichas tablas, se ha recurrido a comprobaciones con métodos de cálculo analítico. Sin embargo, la norma, al igual que ocurre con la 6.1-IC "Secciones de firme", no permite con carácter general el empleo de este tipo de métodos, también denominados racionales, y los restringe a determinadas situaciones en los tráficos más ligeros.

Este criterio parece divergente con las últimas tendencias en lo que respecta a la normativa de firmes de otras administraciones, tanto regionales como internacionales, en las que se apuesta decididamente por la racionalización del cálculo de los firmes. Los métodos analíticos o racionales para el dimensionamiento de firmes en secciones de nueva construcción han experimentado en los últimos años, de hecho, un gran avance en su difusión y en su empleo, debido en gran parte al desarrollo de programas informáticos que los implementan y a su inclusión en diferentes normativas relacionadas con el diseño de secciones de firme, bien como complemento a otras metodologías habitualmente empleadas (catálogos de secciones), o bien adoptando el rol de metodología principal (si bien en este caso, también habitualmente apoyada en dichos catálogos de secciones).

Sin embargo, el empleo de este tipo de métodos no ha alcanzado similar difusión en el caso de las rehabilitaciones estructurales de firmes. Los motivos para ello son diversos, pero a juicio del autor los más importantes son los siguientes:

- La escasa formación especializada de los ingenieros encargados de acometer el dimensionamiento de la rehabilitación.
- La insuficiente caracterización del estado estructural del firme, para la que habitualmente se emplea como

indicador único la denominada deflexión patrón (y sus correspondientes estadísticos), que efectivamente da una indicación sobre la capacidad estructural global del firme, pero que es claramente ineficaz para la definición precisa de su estado.

- La excesiva dependencia del proceso de cálculo de los espesores de las capas que componen el firme.
- El incumplimiento, en la práctica, de las hipótesis de partida. Efectivamente, son numerosas las hipótesis y simplificaciones adoptadas difícilmente se cumplen en la práctica puesto que evidentemente las capas que constituyen el firme están formadas por materiales de comportamiento mucho más complejo del que se le supone para el cálculo; no obstante, dichos resultados se han demostrado suficientemente útiles para el cálculo y, a día de hoy, son la mejor opción existente.
- La dificultad en el empleo de determinadas técnicas relacionadas con dichos métodos y en la interpretación correcta de sus resultados.
- La inexistencia de una metodología orientada al empleo de estos métodos que guíe al ingeniero en el proceso de forma concreta y detallada.

Como se ha indicado, la propia norma 6.3-IC constituye un valioso documento como guía de proyecto de una rehabilitación, pero presenta el inconveniente de que no permite el uso de los métodos racionales más que marginalmente, ni incorpora por tanto las directrices para el empleo de los mismos en los diferentes apartados que la conforman. Precisamente, el objetivo de este trabajo es proporcionar al técnico una herramienta útil en este sentido, a partir de la cual pueda seguir una serie de pautas con las que desenvolverse cómodamente en la no tan sencilla tarea de diagnosticar el estado estructural del firme, y de elegir y dimensionar su rehabilitación siguiendo la base metodológica establecida la norma 6.3-IC, precisándola y complementándola en aquellos aspectos incluidos en la misma

en los que sea susceptible el empleo de métodos analíticos para mejorarla, y reflexionando sobre algunas cuestiones que al autor le parecen fundamentales.

No se pretende tratar, por el contrario, con extensión y detalle los métodos analíticos de cálculo (aunque efectivamente es necesario introducir sus bases) ni desarrollar cada una de las cuestiones que deben abordarse en el dimensionamiento de la rehabilitación estructural, para lo cual el técnico responsable deberá acudir, aparte de a la propia norma, a publicaciones y artículos técnicos especializados.

Este trabajo se ceñirá a lo relacionado con la rehabilitación estructural de firmes con pavimento bituminoso, excluyendo por tanto las rehabilitaciones superficiales y el tratamiento de los firmes rígidos (aunque algunas de las consideraciones que se incluyen tienen carácter general y son aplicables también a estos). Además, se presupone que el lector está familiarizado con los equipos de auscultación de firmes y con el proceso general de la rehabilitación estructural, por lo que no se aborda en detalle la descripción de cada uno de los términos empleados en el trabajo.

## 2. Los métodos analíticos en el dimensionamiento de firmes

Como ya se ha indicado, no es el objeto de este trabajo la descripción detallada de los métodos de dimensionamiento analítico de firmes, que ya están tratados con suficiente extensión en múltiples publicaciones técnicas e incluso en normativas de secciones de firme de diferentes administraciones autonómicas, pero sí se considera necesario describir someramente las bases en las que se asientan.

La consideración del firme como una estructura es el concepto básico sobre el cual se desarrolla el estudio analítico de firmes. Como en todo sistema de cálculo estructural, existe una teoría para predecir los estados de deterioro o fallo de la estructura, una caracterización de las propiedades de los mate-

riales aplicable a la teoría seleccionada y una determinación de las relaciones entre las magnitudes de los parámetros para conseguir el nivel de comportamiento deseado.

La teoría empleada en este estudio responde al concepto de considerar el firme como una estructura constituida por un conjunto de capas que conforman un sistema multicapa elástico, que cumple los siguientes supuestos básicos:

- Las capas son de longitud infinita en las direcciones horizontales.
- Las capas tienen espesor uniforme.
- La última capa es infinita en sentido vertical (espacio semi-indefinido de Boussinesq).
- Las capas están compuestas por materiales elásticos lineales, homogéneos, isótropos, y definidos por su módulo de elasticidad ( $E$ ) y por su coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

Para conocer el estado tensional del firme bajo una carga se aplica la teoría multicapa elástica desarrollada por Burmister (Donald, M. Burmister 1895-1981) en "The general theory of stresses and displacements in layered soil systems, Journal of Applied Physics (1945)" [6]. En la aplicación de este método, se aceptan las siguientes simplificaciones:

- Cada una de las cargas que actúa sobre el firme se representa mediante una presión distribuida uniformemente sobre un área circular.
- Cada capa se apoya sobre la subyacente de forma continua. El contacto entre las capas puede modelarse en condiciones de adherencia total (igualdad de deformaciones horizontales), parcial, o nula.
- Se desprecian las fuerzas de inercia y los efectos térmicos.
- Las deformaciones que se producen en el sistema son pequeñas, de modo que no alteran las hipótesis anteriores.
- No se suelen considerar los esfuerzos cortantes que se producen en las zonas de contacto entre las cargas y la superficie del pavimento, debido a que, salvo en algunos casos, son prácticamente despreciables.

- No se considera el peso propio del firme.

Con estas hipótesis y simplificaciones, las ecuaciones en derivadas parciales que resultan del planteamiento del problema se resuelven mediante transformadas. La respuesta de la estructura se obtiene entonces en forma de integrales definidas, que se resuelven numéricamente mediante aplicaciones informáticas.

Para saber si el firme está correctamente dimensionado, es decir, si el espesor de las capas es suficiente, se empieza determinando el estado tensional producido por una carga tipo. A partir de los valores de las tensiones y de las deformaciones obtenidas en el cálculo se determina el número  $N_f$  de veces que el firme es capaz de soportar la aplicación de la carga tipo mediante un análisis de fatiga o de deformaciones. Para ello se han debido establecer previamente las funciones de transferencia (leyes de fatiga o leyes de deformación) de los materiales que componen el firme. El valor de  $N_f$  debe ser superior al número  $N_t$  de aplicaciones de carga previstas durante el período de proyecto (es decir, el tráfico equivalente de proyecto) deducidas del estudio de tráfico correspondiente.

Las citadas funciones de transferencia son expresiones matemáticas obtenidas a partir de ensayos de laboratorio y que deben ser calibradas en estudios a escala real, con las que se determina el número  $N_f$  de aplicaciones de la carga tipo que puede soportar el material estudiado antes de llegar al agotamiento estructural por fatiga, o al valor límite de deformaciones plásticas acumuladas, a partir de ciertos parámetros críticos que forman parte de la respuesta del material a la sollicitación. Los valores críticos a considerar son, en general (dependen del método adoptado para el cálculo):

- Mezclas bituminosas: máxima deformación horizontal de tracción en la fibra inferior de la capa ( $\epsilon_{h1}$ ).
- Capas tratadas con cemento: máximo esfuerzo horizontal de tracción en la fibra inferior de la capa ( $\sigma_{h1}$ ).

- Capas granulares y explanadas: máxima deformación vertical de compresión en la fibra superior de la capa ( $\epsilon_z$ ). En general, no suelen aplicarse los criterios de fallo de las capas granulares de base o subbase.

### 3. Metodología para el dimensionamiento de la rehabilitación estructural del firme

La metodología para la correcta selección y dimensionamiento de la solución de rehabilitación estructural de un firme, entendiendo como tal aquella cuyo objeto es incrementar la capacidad estructural del firme existente para adecuarla a las acciones previstas del tráfico en el periodo de servicio considerado, debe constar, en términos generales, de las siguientes fases:

- Estudio de las causas y de la necesidad de la rehabilitación estructural. La respuesta a esta cuestión puede ayudar a intuir, en primera instancia, la solución más adecuada.
- Recopilación y análisis de los datos necesarios y de los factores de proyecto. Será necesario disponer de información acerca del tipo de firme, de su historial de construcción/rehabilitaciones, del entorno (en particular, de las características de la explanada, del drenaje y de su comportamiento, y de la climatología de la zona), y de las solicitudes del tráfico esperables.
- Diagnóstico del estado del firme. En definitiva, analizar cuál es la situación del firme y determinar cuál puede ser su evolución probable. La información necesaria debe incluir, al menos, el resultado de una inspección visual, los resultados de una campaña de evaluación estructural mediante un deflectómetro de impacto y de medida de la regularidad superficial mediante un perfilómetro de alto rendimiento, y sería deseable contar con un estudio de la composición del firme y espesores de capas del mismo mediante georradar, y con un estudio de labo-

ratorio de los materiales obtenidos mediante extracción de testigos del firme o apertura de catas.

- Análisis de soluciones y selección del tipo más apropiado. En función del diagnóstico acerca del estado del firme, de la disponibilidad de materiales, de la facilidad de ejecución, de la afección al tráfico, así como de otros factores entre los que evidentemente no pueden faltar los criterios económicos (costes de la propia actuación, costes de afección a los usuarios, vida útil prevista/requerida de la sección, costes de conservación previstos, etc.), se deberá seleccionar la solución óptima de rehabilitación.
- Dimensionamiento de la solución elegida. Se trata en este punto de definir con precisión, en base a los cálculos que sean necesarios (o en la experiencia en el caso de los métodos empíricos, o más generalmente en una combinación de cálculo y experiencia) las características estructurales del firme (principalmente materiales, espesores y características mecánicas de los mismos). Dependiendo del propio resultado del diagnóstico del firme, este paso puede ser simultaneado con el anterior.

#### 3.1 Recopilación y análisis de los datos necesarios y de los factores de proyecto

En este apartado, a efecto de la aplicación de métodos analíticos de cálculo, se hace necesario incidir en la necesidad de una correcta caracterización del tráfico pesado que solicita el firme. Tradicionalmente se ha empleado a estos efectos únicamente la intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el

año de puesta en servicio ( $IMD_p$ ) debido, fundamentalmente, a que la metodología para una caracterización del tráfico precisa, dada la complejidad y variabilidad de su composición (diferentes tipos de vehículos, pesos, configuraciones de ejes y ruedas, presiones de contacto), es laboriosa y por tanto su coste económico es alto. Pero, en opinión del autor, este dato es insuficiente por los siguientes motivos:

- La definición de “vehículo pesado” es demasiado vaga y generalista a efectos de aplicación de las normas de rehabilitación.
- Desde los trabajos iniciados por el CEDEX en 1984 mediante pesaje dinámico para caracterizar la al tráfico pesado, en los cuales debería haberse basado, deseablemente, la simplificación de la normativa española, se han producido profundos cambios en el parque de vehículos en España.

También para el empleo en los métodos analíticos es necesaria una simplificación, dado que considerar cada carga particular sería inabordable. En estos casos, lo más habitual es emplear un eje tipo, denominado habitualmente eje equivalente, que en el caso de España suele ser el eje simple de 13 toneladas con rueda gemela (si bien la configuración de cargas y las presiones de inflado son diferentes según la fuente consultada). Las solicitudes del tráfico suelen expresarse en términos de tráfico equivalente de proyecto, que no es más que el número de ejes equivalentes acumulados durante el periodo de proyecto.

Para ello, a partir de los datos recogidos en las campañas de aforo y pesaje dinámico convenientemente realizadas, se fijará el espectro del tráfico pesado existente o previsto para la carretera de que forma parte el firme a rehabilitar, es



Figura 1.

decir, se debe definir para cada vehículo pesado la disposición, tipología y magnitud de las masas de sus ejes, agrupando por categorías (en general, vehículos rígidos de dos ejes, vehículos rígidos de tres ejes, vehículos rígidos o articulados de cuatro ejes, vehículos articulados de cinco ejes y vehículos articulados o trenes de carretera de más de cinco ejes).

A partir de estos datos, para cada vehículo considerado individualmente (aunque también sería posible emplear datos agregados dentro de cada categoría, pero dado que las herramientas informáticas actuales permiten el tratamiento de gran volumen de datos en un reducido período de tiempo, se puede realizar el cálculo para cada vehículo), se puede determinar su equivalencia en términos de ejes tipo; esta equivalencia se denomina habitualmente coeficiente de agresividad, y no es más que la suma de ejes equivalentes de 13 t que ejercen el mismo daño sobre el firme que cada uno de los ejes reales correspondientes a su configuración. Puede emplearse, por ejemplo, la metodología establecida en la norma de secciones de firme de la Comunitat Valenciana [4], basada en las relaciones obtenidas en diferentes ensayos entre el efecto del deterioro producido sobre el firme por un eje cualquiera y el que produciría el eje tipo.

### 3.2. Diagnóstico del estado del firme

El diagnóstico del estado del firme es el proceso orientado en primer lugar a la identificación de sus patologías, de su localización y su naturaleza, llegando a ellas a través de los diversos síntomas y signos presentes en el pavimento, sobre la base de los datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permitan juzgar mejor qué es lo que está pasando y, además, determinar cuál es la evolución probable o la tendencia de su estado o patologías.

Como parte fundamental del proceso, debe realizarse tanto una inspección visual del firme, como una auscultación con equipos, preferiblemente de alto

rendimiento, en la que se midan las magnitudes más adecuadas para valorar el estado estructural. Es importante señalar que ambas son preceptivas y complementarias entre sí, y en ningún caso son excluyentes.

#### 3.2.1 Auscultación del firme

La auscultación del firme es el reconocimiento de las características estructurales o superficiales de un firme mediante equipos específicos de medida, y su objetivo es proporcionar información precisa y cuantitativa acerca del estado de tales características. A efectos del dimensionamiento de la rehabilitación estructural de un firme con pavimento bituminoso, se considera imprescindible la auscultación de los siguientes parámetros:

- Regularidad superficial (IRI).
- Regularidad transversal (roderas).
- Cuenco de deflexión, mediante el empleo de un equipo tipo deflectómetro de impacto.

Es, sin duda, la auscultación de la capacidad estructural a partir de la deflexión la que requiere un mayor tratamiento, pese a ser también la que mayor importancia, por extensión, recibe en la norma 6.3-IC. Como ya se ha indicado, la auscultación de la deflexión debe realizarse inexcusablemente mediante un equipo tipo deflectómetro de impacto, registrando las deflexiones bajo el punto de aplicación de la carga y en otros seis puntos situados usualmente a una distancia radial del mismo de 20, 30, 45, 60, 90, y 120 cm respectivamente (aunque dicha configuración es variable en función del modelo y de la casa que lo fabrica), lo que permite obtener el denominado cuenco de deflexión.

Por una parte, como es sabido, las mezclas bituminosas tienen un comportamiento reológico complejo, con características visco-elasto-plásticas, conformando un sistema que responde a la aplicación de las cargas en función no sólo de la magnitud de las mismas, sino de la frecuencia con que son aplicadas (en definitiva, del tiempo de aplicación). Por tanto, es espe-

cialmente relevante utilizar equipos que permitan conocer el estado del firme bajo una carga lo más parecido posible a la carga real de los ejes del tráfico pesado que solicitan la carretera. En este sentido, los deflectómetros de impacto son los equipos adecuados para la auscultación del estado estructural de la carretera, puesto que simulan el paso de un eje de 13 t a una velocidad de paso comprendida aproximadamente entre 70 y 80 km/h.

Por otro lado el firme es un sistema estructural complejo, en el que cada una de sus capas presenta un comportamiento diferente, de acuerdo al fin al que este destinada de acuerdo a su posición dentro del conjunto de la estructura y, por consiguiente, el deterioro del firme puede producirse en cualquiera de ellas. El deflectómetro de impacto es el único equipo que permite obtener los datos necesarios (el denominado cuenco de deflexión) para establecer un diagnóstico diferencial respecto al estado del firme, esto es, permite establecer cuál o cuáles capas son las que están deterioradas, y con qué magnitud.

#### 3.2.2 Empleo de métodos analíticos en el proceso del diagnóstico del firme

Una vez llegados a este punto, la cuestión ahora es mostrar cómo pueden emplearse los métodos analíticos como herramienta en el proceso de diagnóstico del estado del firme. Para ello, se parte del cuenco de deflexión obtenido mediante un deflectómetro de impacto. Existen, básicamente, dos técnicas de interpretación del cuenco de deflexiones (que bajo el punto de vista del autor no son excluyentes, sino que la mejor opción es considerarlas en conjunto) a estos efectos: las técnicas de cálculo inverso y las técnicas de interpretación de su forma. La primera de ellas es más precisa y ofrece una información más detallada y cuantificable, pero es más compleja y su empleo requiere una amplia experiencia en la misma; en cambio, la segunda es de aplicación más sencilla, aunque sus resultados tienen un carácter algo más vago.



Figura 2.

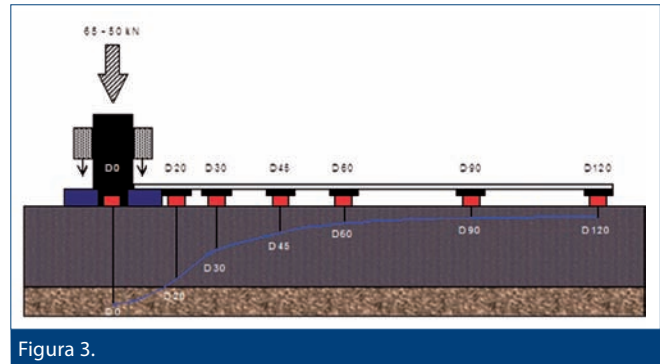


Figura 3.

El proceso conocido como cálculo inverso (*back-calculation*), permite determinar los valores de los módulos elásticos de las capas que constituyen el firme a partir del cuenco de deflexión y de los espesores de éstas, y, por tanto, el estado estructural en el momento de la medición. Consiste, básicamente, en aplicar reiteradamente el modelo de cálculo analítico (cálculo directo o *forward-calculation*) a un sistema multicapa de espesores y coeficientes de Poisson conocidos, partiendo de unos módulos elásticos estimados por el ingeniero, para determinar las deflexiones teóricas; éstas se comparan con las deflexiones medidas, y si ambos cuencos no satisfacen el ajuste establecido previamente por el usuario, se reajustan los módulos elásticos (empleando algún algoritmo de optimización) para proceder a una nueva iteración. El proceso finaliza cuando se logra un ajuste de los cuencos de deflexión dentro de las tolerancias marcadas por el usuario, cuando los módulos permanecen invariables en dos iteraciones sucesivas, o cuando se alcanza un número de iteraciones máximo sin que se produzca ninguno de los dos hechos anteriores.

Evidentemente, en el cálculo inverso la solución no es exacta ni única, y se requieren una serie de iteraciones y de condiciones para ajustar la solución a criterios de ingeniería de firmes; estas condiciones deben ser impuestas por el ingeniero, y consisten generalmente en modelizar el conjunto del firme según un sistema multicapa, en establecer los módulos elásticos iniciales (es decir, los que se emplean en la primera iteración), y en acotar las soluciones obtenidas (por ejemplo,

estableciendo un límite superior para el valor del módulo elástico de una capa granular, o realizando ensayos de laboratorio sobre los materiales que permitan fijar su valor). Es fundamental, en todo caso, la definición precisa de los espesores de las capas, dada la gran sensibilidad de los resultados respecto de este parámetro.

Una vez conocidos los módulos de las capas que constituyen el firme, es posible establecer, en primer lugar, qué capa o capas son las que presentan un deterioro estructural, mediante comparación con los valores habituales considerados en el dimensionamiento de firmes o, mejor aún, con los obtenidos en la auscultación del estado cero de la carretera (esto es, el estado de la carretera inmediatamente después de su construcción y antes de su puesta en servicio). Con ellos, será posible determinar qué alternativa de rehabilitación es más adecuada: por ejemplo, es posible establecer si hay problemas en la explanada (incluso se puede intuir su estado de humedad) y por tanto es necesario llegar hasta ella para sanear, si es suficiente la eliminación parcial y la reposición, etc. Posteriormente, estos módulos serán la base de partida para dimensionar la rehabilitación seleccionada.

Las técnicas de interpretación de la forma del cuenco se basan en analizar el tamaño, la pendiente y la curvatura de las diferentes zonas que pueden distinguirse en el cuenco. El tamaño y la forma del cuenco de deflexión depende de varios parámetros, como por ejemplo la capacidad estructural, la configuración de la carga aplicada y su magnitud, su duración, la temperatura, etc. Existen una serie de parámetros que resultan

de interés para su interpretación; entre ellos, los más conocidos, por su utilidad en la técnica de interpretación del estado del firme, son:

- RoC (*Radius of curvature*)- Radio de curvatura: parámetro propuesto por G.L. Dehlen en 1961 [13] y posteriormente modificado para adaptarlo a las deflexiones obtenidas por un deflectómetro, que está relacionado con la zona de curvatura positiva, y que refleja la rigidez y, en definitiva, la capacidad estructural de las capas superiores del firme (pavimento fundamentalmente, y base). Se calcula según la fórmula siguiente (donde  $L = 200$  mm):

$$RoC = \frac{L^2}{2 \cdot D_0 \cdot (1 - D_{20}/D_0)}$$

- BLI (*Base layer index*) - Índice de la capa de base: este parámetro, pretende reflejar la pendiente del cuenco en las zonas próximas al punto de aplicación de la carga; como el radio de curvatura, es un indicador del estado de la capa de base y de la efectividad de la distribución de cargas a través del firme. Se obtiene como la diferencia entre la deflexión en el punto de aplicación de la carga y la deflexión a 30 cm del mismo:

$$BLI = D_0 - D_{30}$$

- MLI (*Middle layer index*) - Índice de la capa de la zona media: está relacionado con las capas de subbase y refleja la pendiente media, calculada como la diferencia entre las deflexiones a 30 y a 60 cm del punto de aplicación de la carga:

$$MLI = D_{30} - D_{60}$$

- *Lower layer index* (LLI) - Índice de las capas inferiores: a pesar de su nombre, que parece hacer referencia a capas situadas en la posición inferior de la estructura del firme, este parámetro está relacionado con la capacidad de soporte de la explanada. También valora la pendiente media del cuenco en dicha zona, y se calcula como la diferencia entre las deflexiones a 60 y a 90 cm del punto de aplicación de la carga:

$$LLI = D_{60} - D_{90}$$

- Área del cuenco de deflexión: es una herramienta de interés en la observación de la capacidad estructural de un firme, establecida por el ingeniero Mario Hoffman en 1981 durante el desarrollo de su tesis doctoral. El Área puede considerarse como un índice representativo de la forma del “cuenco de deflexión”; su valor representa el área normalizada de una sección longitudinal del “cuenco de deflexión”, comprendida entre el punto de aplicación de la carga y un punto situado a 90 cm del mismo; dividiendo el valor del área de esta sección entre la deflexión medida bajo carga se normaliza su valor. De este modo, el Área no es más que la longitud del lado de un rectángulo, cuyo otro lado mide  $D_0$ , y tal que su área es aproximadamente igual al área encerrada por el “cuenco de deflexión”. Utilizando la aproximación de los trapecios para determinar el área, su valor (en mm) puede obtenerse de la siguiente fórmula:

$$\text{Área} = \frac{150}{D_0} \cdot (D_0 + 2 \cdot D_{30} + 2 \cdot D_{60} + D_{90})$$

La Tabla 1 ofrece unas indicaciones acerca de la interpretación del valor del Área, cuando se analiza conjuntamente con la deflexión bajo carga ( $D_0$ ).

Estos parámetros son extremadamente útiles cuando se dispone del valor de referencia de los mismos

establecido para la sección teórica en el proyecto o, aún mejor, obtenidos a partir de la auscultación del estado cero de la carretera.

### 3.3. Dimensionamiento de la solución elegida

Con la metodología indicada en el apartado anterior, junto con los resultados de la inspección visual correspondiente, es posible establecer zonas en las que la debilidad estructural se debe a la explanada, y zonas en las que se debe a las capas de la estructura del firme, de manera que es factible y sencillo determinar la actuación de rehabilitación más adecuada, así como la necesidad de actuaciones en profundidad. Así será posible determinar si será más conveniente la eliminación parcial o total de alguna de las capas y su reposición con mezcla bituminosa, la extensión de un cierto espesor de recrecimiento, o una combinación de ambas (las tres alternativas más habituales en la rehabilitación estructural).

El proceso de dimensionamiento de la rehabilitación debería, en primer lugar, determinar los módulos de las distintas capas del firme empleando el cálculo inverso sobre los datos obtenidos por un deflectómetro de impacto para, a continuación utilizando el cálculo directo, calcular la respuesta del firme ante el paso de un eje tipo. Empleando las funciones de transferencia adecuadas, se puede determinar el número de aplicaciones de la carga tipo que es capaz de resistir la sección; si este número es inferior al requerido (obtenido a partir de un estudio de tráfico futuro), será necesaria la rehabilitación estructural de la sección. Siguiendo un proceso iterativo de cálculo directo, incorporando sucesivamente pequeños espesores de mezcla bituminosa a la sección de firme existente, se puede determinar el espesor de recrecimiento necesario, de forma que el número de aplicaciones de carga resistido por la sección rehabilitada sea superior al número de ciclos de carga previsto para la misma en su período de diseño.

En el proceso, es necesario tener en cuenta que, llegado el momento de plantearse la rehabilitación estructural del firme, las capas que componen el mismo no mantienen sus características iniciales, sino que los valores de sus módulos disminuyen, al tiempo que van acumulando daño o, en otras palabras, van agotando parte de su vida útil. En el dimensionamiento analítico de firmes se suele emplear para tener en cuenta este efecto de acumulación de daño la ley de Miner, según la cual si una capa  $i$  con un módulo de elasticidad  $E_i$  es capaz de soportar  $N_{ij}$  aplicaciones de la carga tipo  $j$ , la fracción de daño producido por  $n_{ij}$  aplicaciones de dicha carga será  $d_{ij} = n_{ij} / N_{ij}$  de modo que el agotamiento estructural de la capa se producirá cuando se verifique la igualdad:

$$\sum_{i,j} d_{ij} = 1$$

### 4. Ejemplo de aplicación

En este apartado se desarrolla un ejemplo de cálculo en el que se desarrollan, de forma eminentemente didáctica, algunas de las cuestiones planteadas en el trabajo, relacionadas con las técnicas de cálculo inverso y con el empleo de los diversos parámetros del cuenco de deflexión.

Supongamos una sección de firme constituida por 30 cm de mezclas bituminosas en caliente sobre 25 cm de zahorra artificial, apoyadas sobre una explanada de tipo  $E_2$ . De los datos del proyecto, se sabe que dicha sección ha sido dimensionada para el paso de  $10,4 \cdot 10^6$  ejes equivalentes de 13 t.

Para este dato del tráfico, los parámetros críticos admisibles, de acuerdo a las leyes de fatiga consideradas en

Parámetro		Interpretación	
Área	$D_0$	Firme	Explanada
Bajo	Bajo	Insuficiente	Suficiente
Bajo	Alto	Insuficiente	Insuficiente
Alto	Bajo	Suficiente	Suficiente
Alto	Alto	Suficiente	Insuficiente



Tabla 2. Resultados de la auscultación estructural del "estado cero".

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	M <sub>R</sub>	RoC	BLI	MLI	LLI	ÁREA
[μm]							[MPa]	[m]	[μm]	[μm]	[μm]	[mm]
301	266	249	227	206	169	139	107	571	52	53	37	688

Tabla 3. Resultados para la zona singular detectada en el "estado cero".

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	M <sub>R</sub>	RoC	BLI	MLI	LLI	ÁREA
[μm]							[MPa]	[m]	[μm]	[μm]	[μm]	[mm]
438	401	383	357	332	284	242	61	541	55	51	48	737
46 %	51 %	54 %	57 %	61 %	68 %	74 %	43 %	5 %	6 %	19 %	30 %	7 %

la norma 6.1-IC "Secciones de firme" ( $\epsilon_h = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{0,27243}$  para las mezclas bituminosas y  $\epsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{0,28}$  para la explanada), son para las mezclas bituminosas  $\epsilon_h = 85$  [μ] y para la explanada  $\epsilon_z = 234$  [μ].

Se dispone, además, de los resultados de la auscultación estructural del estado cero de la carretera, realizada inmediatamente antes de su puesta en servicio; para un determinado tramo de carretera, se tiene que el cuenco de deflexión representativo obtenido mediante un deflectómetro de impacto, para una carga de 6,5 t, junto con sus parámetros asociados, es el reflejado en la Tabla 2.

No obstante, en una zona localizada, con una longitud del orden de 80 m, de dicho tramo se han obtenido los valores de la Tabla 3 (en la fila inferior se muestra su variación respecto al valor de referencia del estado cero).

Del análisis del cuenco y de los diferentes parámetros, puede deducirse que los valores elevados de deflexión tienen su origen en la explanada, que por algún motivo no tiene la capacidad de soporte correspondiente al resto del tramo. Además, la capa de zahorra también se ha visto afectada, probablemente por disponer de un soporte menos rígido, que influye en su propia rigidez. A esta conclusión puede llegar se a partir de los siguientes análisis:

- Todas las deflexiones han aumentado en el segundo caso respecto al valor representativo del tramo. No obstante, el incremento es notable en la D<sub>120</sub> (74 %), directamente relacionada con la explanada del firme; a partir de ese valor, el cálculo de M<sub>R</sub> ya muestra un

Tabla 4. Resultados del cálculo inverso en el "estado cero".

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	E <sub>MB</sub>	E <sub>ZA</sub>	E <sub>EXP</sub>
301	266	249	227	206	169	139	5.421	297	110

Tabla 5. Resultados del cálculo inverso en la zona singular.

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	E <sub>MB</sub>	E <sub>ZA</sub>	E <sub>EXP</sub>
438	401	383	357	332	284	242	5.402	250	60

evidente descenso en la capacidad de soporte de la explanada (43 %).

- Los valores de RoC y de BLI apenas experimentan cambio (5 % y 6 % respectivamente), lo cual es un indicador de que las capas superiores no presentan ningún problema.
- Tanto los valores de MLI como de LLI han sufrido un incremento más notable (19 % y 30 % respectivamente), lo que indica que el problema, respecto al valor representativo del tramo, se encuentra fundamentalmente en la explanada y en parte esto ha afectado también a la capa de zahorra artificial.
- Del mismo modo puede obtenerse una indicación a partir de la tabla de tendencias del parámetro Área respecto a la deflexión D<sub>0</sub>.

Por otro lado, aplicando las técnicas de cálculo inverso a ambos cuencos de deflexión, se obtienen los valores indicados en las Tablas 4 y 5 para los módulos de sus capas.

Como puede observarse, dichos valores corroboran cuantitativamente las conclusiones extraídas a partir del análisis cualitativo de los parámetros.

Aplicando el cálculo directo a las secciones de firme consideradas, con los valores de los módulos de las

capas obtenidos mediante cálculo inverso, se obtienen los siguientes valores de los parámetros críticos de cálculo:

- Tramo representativo:  
 $\epsilon_h = 88$  [μ] y  $\epsilon_z = 208$  [μ]
- Zona singular:  
 $\epsilon_h = 98$  [μ] y  $\epsilon_z = 278$  [μ]

Comparando estos valores con los máximos admisibles ( $\epsilon_h = 85$  [μ] y  $\epsilon_z = 234$  [μ]) puede deducirse que el tramo considerado presenta un dimensionamiento ajustado al tráfico solicitante, en términos característicos (aunque ligeramente infradimensionada, probablemente porque los módulos considerados para las mezclas bituminosas en el proyecto no se están dando en la realidad, o porque se ha sobrevalorado el módulo de la zahorra artificial o de la explanada), pero es evidente que la zona singular no presenta las características suficientes para resistir las solicitaciones previstas durante la vida de servicio.

Puede resultar tentador pensar que se puede compensar dicha falta de capacidad estructural mediante la extensión de un determinado espesor de mezcla bituminosa, de modo que se reduzcan las tensiones en ambas capas; sin embargo, gracias al empleo de las técnicas racionales para el diagnóstico del estado del firme se ha

**Tabla 6. Resultados de la auscultación estructural mediada la vida teórica de diseño.**

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	M <sub>R</sub>	RoC	BLI	MLI	LLI	ÁREA
[μm]							[MPa]	[m]	[μm]	[μm]	[μm]	[mm]
361	312	290	262	236	190	154	96	408	71	54	46	666
20 %	17 %	16 %	15 %	15 %	12 %	11 %	10 %	29 %	37 %	36 %	24 %	3 %

**Tabla 7. Resultados de la auscultación estructural mediada la vida teórica de diseño en la zona singular.**

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	M <sub>R</sub>	RoC	BLI	MLI	LLI	ÁREA
[μm]							[MPa]	[m]	[μm]	[μm]	[μm]	[mm]
591	509	472	426	384	312	254	58	244	119	88	72	664
96 %	91 %	90 %	88 %	86 %	85 %	83 %	45 %	57 %	129 %	105 %	95 %	3 %

detectado que esta solución puede resultar inútil, ya que se ha detectado un problema en la explanada del que se desconoce, en principio, su origen, y que puede continuar su evolución, por lo que extender encima sucesivas capas de mezcla bituminosa no resultaría en más que en una pérdida de tiempo y de dinero.

Transcurridos 10 años desde su puesta en servicio, se estima que han circulado sobre el tramo en cuestión 4,46•10<sup>6</sup> ejes equivalentes de 13 t. Aunque aún faltan 10 años para que se cumpla su teórica vida de servicio, se ha comenzado a detectar ciertos problemas de fisuración y en las campañas de auscultación realizadas anualmente para el seguimiento del estado del firme, se han obtenido los cuencos representativos reflejados en las Tablas 6 y 7, correspondientes a distintas zonas dentro del mismo tramo inicial.

Y aplicando las técnicas de cálculo inverso a ambos cuencos de deflexión, se obtienen los valores de las Tablas 8 y 9 para los módulos de sus capas.

En ambos casos, pueden realizarse análisis análogos a los efectuados en la auscultación inicial con los parámetros de forma de los cuencos estructurales y los resultados del cálculo inverso. En el primer caso, se observa que fundamentalmente existe un agotamiento de las capas bituminosas superiores, debido fundamentalmente a la fatiga acumulada. Además, se observa una ligera disminución de los módulos tanto de las capas de zorra artificial como de la explanada, lo que probablemente se deba a un efecto de descompactación al verse

**Tabla 8. Resultados del cálculo inverso.**

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	E <sub>MB</sub>	E <sub>ZA</sub>	E <sub>EXP</sub>
361	312	290	262	236	190	154	3.866	260	100

**Tabla 9. Resultados del cálculo inverso en la zona singular.**

D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>45</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>120</sub>	E <sub>MB</sub>	E <sub>ZA</sub>	E <sub>EXP</sub>
591	509	472	426	384	312	254	2.230	205	60

incrementados los esfuerzos de tracción en las mismas, superando para la relación de tensiones verticales a tensiones horizontales el valor límite definido por el ángulo de rozamiento de los materiales que las constituyen.

En el segundo caso, puede observarse claramente que la merma de capacidad portante de la explanada ha llevado al agotamiento prematuro al resto de las capas. Aplicando de nuevo el cálculo directo a las secciones de firme consideradas, con los valores de los módulos de las capas obtenidos mediante cálculo inverso, se obtienen los siguientes valores de los parámetros críticos de cálculo:

- Tramo representativo:  
 $\epsilon_h = 115$  [μ] y  $\epsilon_z = 259$  [μ]
- Zona singular:  
 $\epsilon_h = 184$  [μ] y  $\epsilon_z = 436$  [μ]

Por otro lado, si se calculan los valores máximos admisibles para los parámetros críticos para que la sección sea capaz de soportar el tráfico previsto durante los siguientes 10 años (10,4•10<sup>6</sup> – 4,46•10<sup>6</sup> = 5,94•10<sup>6</sup> ejes equivalentes de 13 t), se obtiene que éstos son para las mezclas bituminosas  $\epsilon_h = 99$  [μ] y para la explanada  $\epsilon_z = 274$  [μ]. Por tanto, y centrando el análisis ya únicamente en el tramo representativo (la zona singular, como se ha indicado, requiere una reparación

en profundidad, llegando al saneo de la explanada), se considera necesaria la rehabilitación de la sección, dado que ninguna de las capas será capaz de soportar el tráfico previsto.

Por razones didácticas, se considera en este caso que el procedimiento de rehabilitación empleado será la extensión de un recrecimiento con mezcla bituminosa sobre el pavimento existente. De esta forma, se deberá seguir un procedimiento iterativo de cálculo directo, incrementando sucesivamente el espesor de mezcla bituminosa a la sección de firme existente, hasta que dicha sección sea capaz de resistir las solicitaciones previstas (en este caso, la rehabilitación persigue extender la vida útil de la sección otros 10 años, de modo que se alcance el período de diseño inicialmente planteado). En este sentido, hay que considerar que las capas del firme existente ya han soportado el paso de un determinado número de ejes y que por tanto, han agotado parte de su vida teórica, de acuerdo a la ley de Miner, por lo que habrá que tenerlo en cuenta en el cálculo.

En este caso, y centrándonos en la capa de mezcla bituminosa, como se ha indicado, en el estado cero se tenía que  $\epsilon_h = 88$  [μ], lo que corresponde, de acuerdo con las ley de fatiga con-

Tabla 10. Parámetros críticos calculados para diferentes espesores de recrecimiento.

Espesor [cm]	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$\epsilon_h$	108	102	97	92	88	83	80	76

siderada, a  $9,11 \cdot 10^6$  ejes equivalentes de 13 t; dado que en el momento en que se plantea la rehabilitación, ha soportado  $4,46 \cdot 10^6$  ejes equivalentes, su

$$\frac{n_{rec}}{N_{rec}} = 1 - \frac{n_{actual}}{N_{actual}} \rightarrow \frac{n_{rec}}{N_{rec}} = 1 - \frac{4,46 \cdot 10^6}{9,11 \cdot 10^6} = 0,51$$

vida remanente es de:

por lo que la sección rehabilitada debe

$$\frac{n_{rec}}{N_{rec}} = 0,51 \rightarrow \frac{5,94 \cdot 10^6}{N_{rec}} = 0,51 \rightarrow N_{rec} = 11,6 \cdot 10^6$$

dimensionarse de modo que:

lo que, de acuerdo a las leyes de fatiga consideradas, supone un valor máximo admisible del parámetro crítico para las mezclas bituminosas de  $\epsilon_h = 82$  [ $\mu$ ].

En la Tabla 10 se indican los valores de los parámetros críticos para la mezcla bituminosa calculados para diferentes secciones, con distintos espesores de mezcla bituminosa sobre el pavimento existente (considerando idénticas características estructurales para la mezcla bituminosa nueva que las determinadas en la auscultación estructural del estado cero).

Por tanto, para prolongar 10 años más la vida útil de la sección considerada, bastaría con extender sobre el pavimento existente un espesor de 7 cm de mezcla bituminosa.

## 5 Conclusiones

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se han puesto de manifiesto una serie de reflexiones que, a juicio del autor, deberían estar presentes en el proceso de diagnóstico del estado del firme y en el dimensionamiento de su rehabilitación estructural.

Siguiendo como base la guía metodológica que se establece en la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes", se han incluido algunos conceptos de análisis racional (o analítico) de firmes, que se han mostrado como una herramienta muy útil en el proceso de concepción de la rehabilitación estructural.

El empleo de dichos métodos no sólo facilita elaborar un diagnóstico diferencial sobre el estado del firme, indicando su insuficiencia estructural y de manera precisa cual es la causa de la misma, sino que permite dimensionar, de forma eficaz, las actuaciones precisas para subsanarla. Se ha desarrollado, además, un ejemplo didáctico en el que se ha puesto de manifiesto, de forma práctica, la utilidad de estos métodos.

Este proceso es susceptible de ser afinado en diversos puntos, en los que probablemente el técnico interesado requiera mayor profundidad de exposición, pero como se ha indicado en la introducción, tanto por motivos didácticos como de limitación de extensión, se ha pretendido únicamente mostrar de manera sucinta sus posibilidades y su aplicabilidad en la práctica habitual del dimensionamiento de rehabilitaciones estructurales del firme, quedando como trabajo pendiente para futuras publicaciones el desarrollo de una metodología detallada y concisa.

## 6. Bibliografía

- [1] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. (2003). Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes". ORDEN FOM/3459/2003, de 28 noviembre, publicada en el BOE de 12 de diciembre de 2003.
- [2] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. (2003). Norma 6.1-IC "Secciones de firme". ORDEN FOM/3460/2003, de 28 noviembre, publicada en el BOE de 12 de diciembre de 2003.
- [3] N/A. (2008). Mechanistic-Empirical pavement design guide - A manual of practice (interim edition). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- [4] DIVISIÓN DE CARRETERAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS. (2009). Norma de secciones de firme de la Comunitat Valenciana. Conselleria d'Infraestructures i Transport (Generalitat Valenciana).
- [5] DEL VAL MELÚS, M.A. ET AL. (2004). Ingeniería de carreteras (volumen II). McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- [6] BURMISTER, DONALD. M. (1945). The general theory of stresses and displacements in layered soil systems. Journal of Applied Physics (Volume:16, Issue:5, pp: 296-302).
- [7] CRESPO DEL RÍO, R., BARDASANO GONZÁLEZ, R. (2006). Novedades y alternativas en firmes y pavimentos - Novedades y propuestas para una ingeniería avanzada de firmes. Institute for International Research (IIR).
- [8] CRESPO DEL RÍO, R. (1986). Caracterización del tráfico en el dimensionamiento de firmes - El espectro de vehículos pesados en España. Cuadernos de investigación C15 (CEDEX).
- [9] DEL VAL MELÚS, M.A. (2004). Aspectos prácticos en la aplicación de la norma 6.3-IC de rehabilitación de firmes. VI Congreso Nacional de Firmes: Normalización e Innovación (Asociación Española de la Carretera).
- [10] HUANG, Y.H. (2004). Pavement analysis and design (second edition). Prentice Hall.
- [11] CARVALHO, R. ET AL. (2012). Simplified techniques for evaluation and interpretation of pavement deflections for network-level analysis. FHWA-HRT-12-023 (Federal Highway Administration).
- [12] HORAK, E.; EMERY, S. (2006). Falling weight deflectometer bowl parameters as analysis tool for pavement structural evaluations. 22nd Australian Road research Board (ARRB) International Conference.
- [13] DEHLEN. G.L. (1961). The use of the Benkelman beam for the measurement of deflections and curvatures of a road surface between dual wheels. CSIR, Special report, R.2 NITRR, RS/11/61. ❖

# Recomendaciones para ampliación de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada



## Recommendations for widening of masonry bridges through cantilever slabs

**Javier Martínez Cañamares**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director Técnico Departamento Obra Civil. Proyecta 79, S.L.

Ganador II Premio Jóvenes Profesionales de la Asociación Técnica de Carreteras

### Resumen

Las obras de adaptación de la sección transversal de carreteras existentes a estándares de mayor exigencia por motivos de confort, seguridad y nivel de servicio conllevan unas actuaciones sobre las estructuras de la vía que pueden ser abordadas con diferentes soluciones estructurales, siendo necesario un análisis previo técnico-económico del problema. Además, gran parte de estas actuaciones se realizan en carreteras de montaña sobre puentes de fábrica con un grado de protección histórico-artística importante, lo que nos puede llevar a desechar previamente la posibilidad de demoler y rehacer los puentes afectados por la ampliación, que en algunos casos podría ser favorable desde el punto de vista económico.

El presente artículo aborda uno de los sistemas más competitivos para la ampliación de puentes existentes de fábrica mediante el método de losas autoportantes en voladizo, culminadas con losa de hormigón "in situ" en fase final, permitiendo pasar de los anchos reducidos de algunas estructuras (4-5 m) a secciones mínimas de 7-8 m que permiten el tránsito de vehículos en unas condiciones de seguridad más adecuadas.

Se ha estructurado la exposición mediante un primer bloque que aborda las actuaciones necesarias para la caracterización de la estructura existente sobre la que se sustentará la futura ampliación, una segunda parte que explica la sistemática y parámetros de diseño de la solución, para finalmente, en base a la experiencia de trabajos llevados a cabo así como la implementación de diversos modelos de elementos finitos, obtener una serie de recomendaciones y valores orientativos para facilitar el trabajo de los profesionales que se enfrenten a este tipo de problemática.

**PALABRAS CLAVES:** ampliación de puentes, caracterización estructuras, losas en voladizo, placas autoportantes, adecuación funcional.

### Abstract

The adaptation of the cross-section in existing roads to get more demanding standards for reasons of comfort, safety and service level lead to some actions on structures that can be addressed through different structural solutions, with a previous technical-economic analysis. In addition, many of these actions are performed on mountain roads, over masonry bridges, with an important art-historical protection, which can lead us to discard the possibility of demolish and rebuild the bridges affected by enlargement, that in some cases it might be favorable from an economic point of view.

This article addresses one of the most competitive systems for the widening of existing masonry bridges by the method of self-supporting cantilevered concrete slabs culminated with "in situ" slab in the final stages, allowing moving from narrow widths of some structures (4-5 m) at minimum sections 7-8 m allowing vehicular traffic under conditions of appropriate security.

Exposure is structured by a first block addressing the actions necessary for the characterization of the existing structure, on which will rest the future enlargement, a second part explains the systematic and the parameters of design of the solution, to finally, based on work done, and the implementation of various finite element models, obtain a series of tips and guide values to facilitate the work of professionals who face this kind of problem.

**KEY WORDS:** bridges expansion, structural characterization, cantilevered slabs, self-resistant precast, functional adequacy.

## 1. Planteamiento general del problema

Dentro de las diferentes actuaciones de rehabilitación, ampliación y mejora de la red de carreteras, nos encontramos con una problemática habitual referente a la ampliación de tableros en puentes y obras de paso, al tener que adaptar la sección de la calzada a los requisitos funcionales de la vía en su estado final, condicionado por las necesidades de seguridad, capacidad, comodidad e integración.

El presente artículo trata de reflejar el proceso de diseño y ejecución de los diferentes casos con los que nos podemos encontrar, basándose en experiencias reales abordadas con éxito, así como un resumen y estandarización de los parámetros y resultados que sirvieron de base para la determinación de las principales características de diseño y evaluación estructural, de tal forma que pueda ser el germen para, en un futuro, y con la formación de un grupo de trabajo experto en la materia con el que se pueda poner en común el mayor número de experiencias posibles, redactar un documento de referencia para las recomendaciones en ampliaciones de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada.

## 2. Caracterización previa

Es importante señalar que el estudio se centra en la ampliación de tableros de puentes bóveda semicirculares (de medio punto y rebajados), de piedra, sillería u hormigón con diferentes rellenos entre tímpanos, partiendo de la hipótesis de que tenemos garantizadas las condiciones de estabilidad y resistencia de la cimentación y la subestructura. Para ello, antes de acometer el diseño de la ampliación de la superestructura (tablero y elementos auxiliares asociados) se estima preceptiva una inspección de las que la "Guía para la realización de inspecciones principales de

obras de paso en la Red General del Estado" [5] considera como especiales, abarcando la zona de cimentación, incluyendo características del terreno, la bóveda y sus principales aspectos geométricos y resistentes, relleno del extradós, así como todo lo referente a los tímpanos, parapetos y superficie de calzada. En esta fase, como suele ser habitual, al no existir generalmente documentación gráfica de la geometría y materiales, se debe realizar una minuciosa campaña de campo para la caracterización de todos los parámetros necesarios para analizar la seguridad de la estructura frente a las nuevas cargas de diseño, según el modelo de cálculo adoptado. De todo ello, se obtendrá un informe de caracterización con las recomendaciones necesarias en cuanto a la viabilidad de la utilización de la estructura, los parámetros de terreno y relleno, así como la geometría existente y las propiedades de resistencia y durabilidad de la bóveda y cimentación. Se trata del punto de partida para el posterior análisis

de la ampliación de la superficie de calzada mediante losas voladas.

Todo el proceso y la sistemática a llevar a cabo para la obtención del informe de caracterización, abordado en diversas publicaciones y estudios realizados, no forma parte del objeto del presente artículo, suponiendo, por tanto, que se parte del cumplimiento integral de las comprobaciones estructurales necesarias de la bóveda, estribos y cimentación, o que, en caso contrario, se plantean las acciones necesarias de refuerzo a llevar a cabo para la adaptación de la estructura frente a las nuevas solicitaciones, fruto de la ampliación y de la evolución de las exigencias normativas.

Por tanto, en primera instancia, centrado el problema en analizar exclusivamente la ampliación de la losa para ajustar la plataforma a las nuevas necesidades de la sección del vial, debemos comenzar por estudiar los parámetros específicos para el posterior diseño; en concreto los indicados en la Figura 1 y en la Tabla 1.

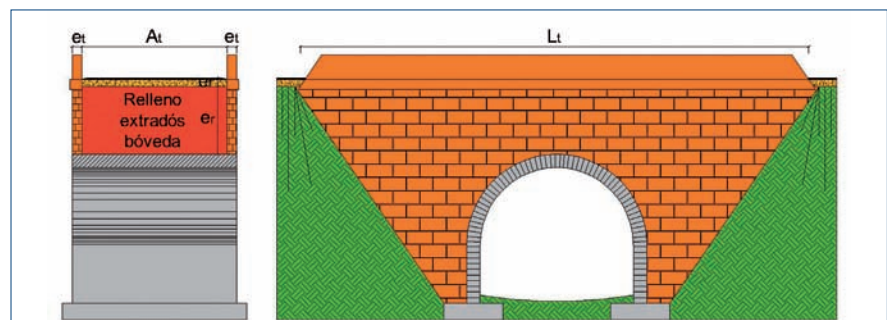


Figura 1. Esquema de parámetros de partida necesarios para el diseño de la ampliación.

Tabla 1. Resumen datos de partida a obtener en la campaña de campo.

Datos geométricos	
$L_t$ :	longitud de puente entre terraplenes de acceso
$A_t$ :	ancho de tablero en la zona de rodadura previa a la ampliación
$e_t$ :	espesor de los pretiles existentes
$e_f$ :	espesor del paquete de firme
$e_b$ :	espesor relleno extradós bóveda
Parámetros geotécnicos relleno extradós bóveda	
$r$ :	peso específico material relleno
$\phi_i$ :	ángulo rozamiento interno
$c_i$ :	cohesión
$\zeta_{adm,r}$ :	tensión admisible
Existencia y funcionamiento del drenaje del relleno	



Figura 2. Realización de catas para la determinación de espesores de firme y relleno.

La recopilación de estos datos de partida se torna totalmente imprescindible para la realización de un adecuado diseño de la ampliación del tablero, por lo que cuanto más minuciosa e intensa sea la campaña realizada mayor aproximación a la solución óptima se podrá alcanzar. Sin embargo, en la mayoría de los casos abordados las dotaciones económicas establecidas para estos trabajos de caracterización son insuficientes, y en algunos casos inexistentes, por lo que se debe actuar comenzando por optimizar los escasos recursos disponibles, no renunciando a obtener valores de referencia, planeando previamente qué trabajos realizar y cuáles no, mediante el objetivo de obtener la máxima información al menor coste posible, realizando las hipótesis y comprobaciones necesarias.

Los datos geométricos  $L_r$ ,  $A_t$  y  $e_t$  suelen extraerse de manera sencilla y directa con la toma de datos mediante equipos topográficos (GPS, estación total, niveles), e incluso, dependiendo

del nivel de precisión necesaria, con elementos menos sofisticados como equipos láser de lectura directa y cintas métricas.

Para la determinación de los parámetros referentes al espesor de las capas de firme y relleno,  $e_f$  y  $e_r$ , es necesaria la realización de trabajos de muestreo mediante catas que permitan descubrir la profundidad y diferenciación de cada una de ellas.

Por su parte, la determinación de las características del material de relleno, necesarias para el posterior diseño de los elementos de transmisión de cargas a la bóveda de la ampliación de la losa, se obtendrán mediante trabajos específicos de reconocimiento geotécnico, en base a ensayos de caracterización y toma de muestras.

Es importante destacar que al tratarse, normalmente, de espesores de material de relleno en el extradós de la bóveda relativamente poco profundos, y además, generalmente formado por material granular, no se plantea eficaz, desde aspectos técnico-eco-

nómicos, la realización de sondeos a rotación.

Por ello, en diversas campañas llevadas a cabo para este tipo de ampliaciones, se ha optimizado la manera de actuar para la obtención de los parámetros necesarios para el diseño, de una manera sencilla, con gran rendimiento y con la obtención de valores representativos del material de relleno.

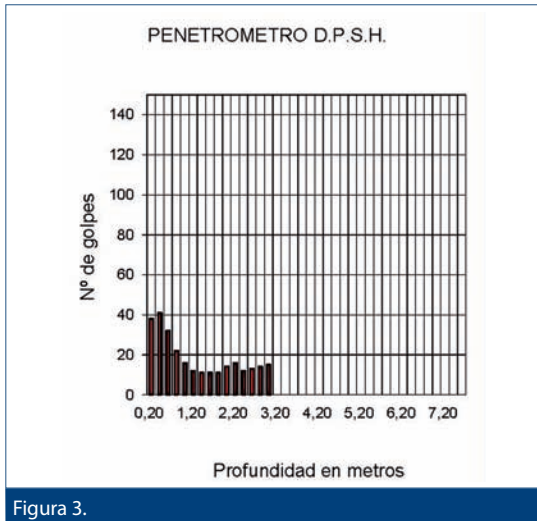
En este sentido, partiendo de las catas realizadas, ineludibles para determinar los espesores anteriormente mencionados, se debe plantear la toma de muestras, en este caso alteradas, para el posterior análisis en laboratorio.

Para cada una de las muestras se estima necesaria la realización de los ensayos indicados en la Tabla 2.

Adicionalmente, para la determinación de la tensión admisible del relleno se recomienda acompañar la campaña de catas con “ensayos de penetración dinámica (UNE 103 801-94)” utilizando penetrómetro tipo D.P.S.H., equipado con una puntaza perdida

Tabla 2. Obtención de parámetros del relleno a partir de ensayos sobre muestras.

Tipo de ensayo	Parámetros obtenidos
Humedad natural UNE 103300	$\gamma_r$ : peso específico material
Análisis granulométrico por tamizado UNE 103101	$\phi_r$ : ángulo de rozamiento interno
Límites de Atterberg UNE 103103 y UNE 103104	$c_r$ : cohesión
Densidad aparente UNE 103301	Drenaje del relleno
Densidad relativa de partículas UNE 103302	
Ensayo de corte directo UNE 103401	
Contenido de sulfatos UNE 103201	



de sección cónica con un diámetro de 50,5 mm y área nominal de la sección de 20 cm<sup>2</sup> y un varillaje macizo de 33 mm de diámetro, ejecutándose la hinca de la puntaza por caída libre de una maza de 63,5 kg desde una altura de 76 cm.

La representación de resultados del ensayo muestra una gráfica enfrentando la profundidad alcanzada en referencia al número de golpes, proporcionando los diagramas profundidad – N20 (Figura 3). Estos diagramas determinan la existencia de los distintos estratos atravesados, siendo verdaderas radiografías resistentes del suelo en el punto investigado. Aplicando a cada estrato homogéneo la comprobación de la

consistencia de los resultados obtenidos por el penetrómetro dinámico, utilizando la “fórmula de los holandeses”, que relaciona los parámetros del ensayo con la tensión admisible del terreno, podemos tener, de manera fiable, un valor adecuado para el posterior estudio estructural de la ampliación de la losa del puente.

Con todos estos datos, para un caso general de ampliación de tablero podremos tener una base adecuada para el posterior diseño de la actuación. Esta fase inicial de toma de datos se debe desarrollar bajo los máximos niveles de rigurosidad y veracidad, ya que son la base de los posteriores cálculos y dimensionamientos. Por ello, se recomienda que

la campaña esté dirigida por un técnico especialista en estructuras, con conocimientos geotécnicos y de los métodos de ensayo utilizados para la determinación de las características de los materiales (Tabla 3).

De la misma manera, en base a diferentes experiencias, se expone a continuación un cuadro resumen de las recomendaciones planteadas en referencia a la elección y cuantificación de los trabajos a realizar para la determinación adecuada de los parámetros geométricos y geotécnicos dentro de una campaña de ampliación de estructuras enmarcada en un proyecto global de ensanche y mejora de la vía objeto de la actuación principal (Tabla 4).

Tabla 3. Obtención de parámetros del relleno a partir de ensayos sobre muestras.

Tipo de ensayo	Parámetros obtenidos
Ensayo de penetración dinámica UNE 103 801-94	$\zeta_{adm,r}$ : tensión admisible Distribución de estratos

Tabla 4. Resumen de recomendaciones para una campaña de caracterización de una estructura existente.

Tipo de trabajo	Datos reportados	Alcance
Toma de datos geométricos mediante topografía y elementos de medición básica	$L_c$ : longitud puente $A_e$ : ancho tablero existente $e_c$ : espesor pretiles	100 % puentes de la vía objeto de ampliación
Catas de inspección sobre el material de relleno del extradós de la bóveda	$\gamma_r$ : peso específico material $\phi_i$ : ángulo rozamiento interno $c_r$ : cohesión drenaje del relleno	1/500 m <sup>3</sup> material relleno (mínimo 1 por puente)
Ensayos de penetración dinámica (D.P.S.H.)	$\zeta_{adm,r}$ : tensión admisible Distribución de estratos	1/500 m <sup>3</sup> material de relleno (si las catas van mostrando material similar, bajo aceptación de la dirección, se puede subir el lote a 1/1.000 m <sup>3</sup> , mínimo 1 por puente)

## 3. Comprobaciones básicas

Comenzaremos por exponer la idea general de la solución habitualmente utilizada en los casos de ampliaciones de losas de tablero sobre puentes bóveda existentes, para poder justificar posteriormente las comprobaciones básicas de diseño que será necesario realizar.

Pues bien, la solución de losas voladas se define mediante el esquema constructivo recogido en la Figura 5.

Se plantea un modelo de vigas corridas de apoyo para la ampliación de la losa, mediante hormigón armado "in situ", dispuestas sobre el material de relleno del extradós de la bóveda. Previamente, y en función del estudio del incremento de tensiones transmitidas a los muros de mampostería laterales por las nuevas solicitaciones, podría ser necesaria la realización de barras transversales de atado de muros, para evitar su deformación lateral y desplome. Disponiendo las vigas comentadas de los correspondientes conectores, que garantizarán el correcto funcionamiento del modelo de cálculo, se procede a montar las prelosas colaborantes prefabricadas, de hormigón armado. En función del peralte necesario y de las condiciones geométricas de la vía que discurre sobre el puente, se nivela cuidadosamente el contacto entre las vigas de apoyo y las prelosas mediante mortero de alta resistencia y baja retracción. Las prelosas realizarán la doble función, primero autoportante, bajo las cargas de hormigonado y, a su vez, de encofrado perdido, permitiendo gran versatilidad y rendimiento en la ejecución, siendo una solución comparativamente rentable frente a aquellas que exigen cimbras y encofrados intermedios, en muchos casos, tremendamente costosos y no viables en aquellos casos en los que la altura del puente sea significativa. Se completa el esquema constructivo con la disposición de la armadura necesaria para la losa de hormigón "in situ" y su posterior hormigonado. Finalmente, se realizan las actuaciones correspondientes a los elementos de acabado, como son la disposición de pretilas y la ejecución de la terminación del pavimento.

Todo el proceso, nos lleva a tener en cuenta las siguientes comprobaciones básicas en la fase de diseño:

### Diseño del voladizo de la losa

Atendiendo a la vigente Instrucción de Acciones sobre Puentes (IAP-11), y en lo que se refiere al diseño del vuelo de la losa de ampliación, se deberá tener en cuenta en el modelo de cálculo a implementar en el diseño la situación de solicitaciones que se indica en la Figura 6.

Distinguiremos dos fases de funcionamiento, la de montaje y la de servicio.

En la primera de ellas, se tendrán en cuenta los esfuerzos obtenidos por el peso propio de las prelosas y el hormigón fresco, aplicando, adicionalmente, una sobrecarga repartida variable de 1 kN/m<sup>2</sup> para tener en cuenta las acciones produ-

cidas durante el tránsito de los operarios para la colocación, vibrado y puesta en obra del hormigón. En esta fase, como elemento resistente fundamental tendremos que considerar la aportación de la resistencia de las prelosas armadas como elemento autoportante.

En servicio entran en consideración todas las acciones referentes al peso propio de la losa de sección compuesta, la carga muerta introducida por el pavimento (y su posible recrecido hasta el 50 % de espesor), así como los elementos de acceso y contención (aceras, pretilas y barreras).

Adicionalmente, en esta fase de utilización se tienen en cuenta las sobrecargas establecidas en la normativa de referencia, en el caso del territorio español, la IAP-11. En trabajos de ampliación normalmente se pasa de an-

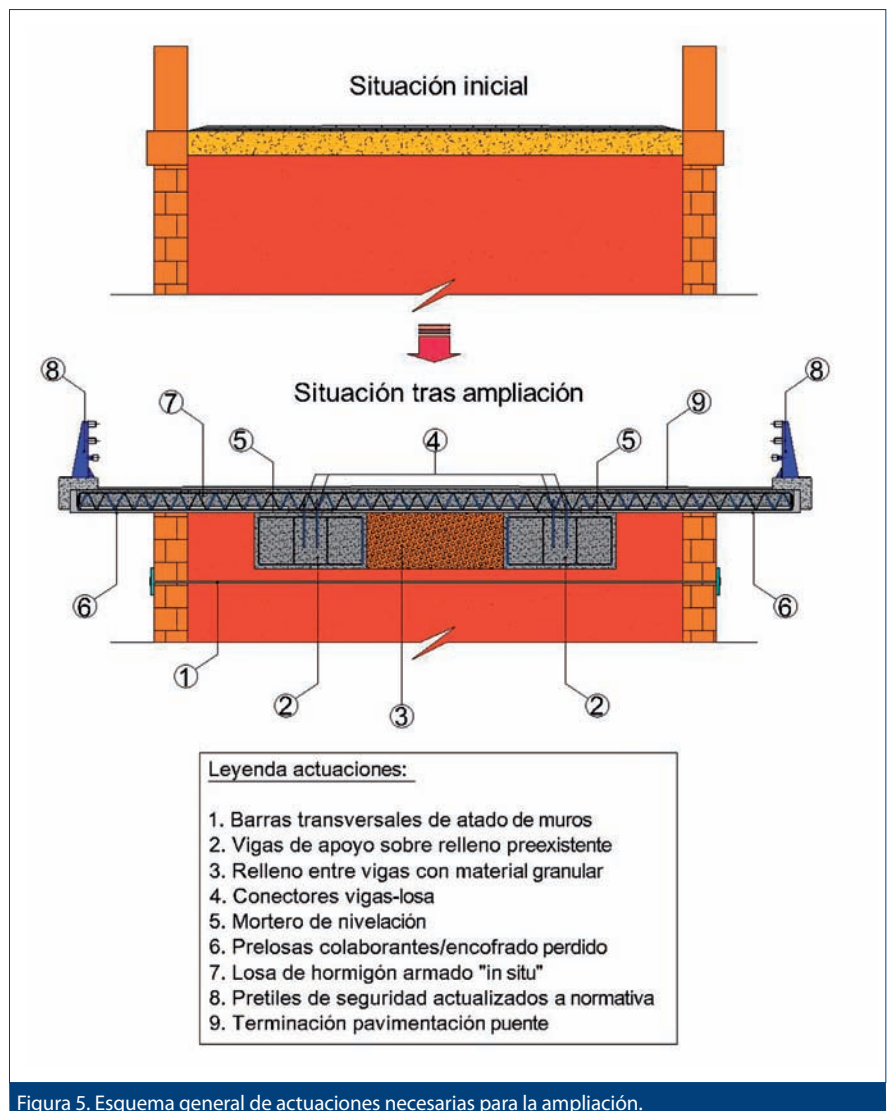


Figura 5. Esquema general de actuaciones necesarias para la ampliación.



chos de calzada de 4,00-5,00 m a anchos mínimos de 6,50-7,00 m por lo que nos encontraremos en el caso  $w > 6,00$  m de la IAP-11, en cuanto al establecimiento de sobrecargas mediante los carriles virtuales propuestos. Por su parte, la carga repartida y la disposición o no de carros de carga viene determinada por el efecto favorable o desfavorable que produzcan. Por ello, según el esquema anterior, se plantea una sobrecarga de  $9 \text{ kN/m}^2$  extendida en la zona de calzada del voladizo, y el correspondiente carro de carga (de  $300 \text{ kN}$  por eje, con separación longitudinal entre ejes de  $1,20 \text{ m}$  y transversal entre ruedas de cada eje de  $2,00 \text{ m}$ ) separado  $0,50 \text{ m}$  del borde de la acera o elemento prefabricado del pretil.

Será objeto de comprobación la sección crítica correspondiente al apoyo, dimensionando, a partir del canto establecido, las necesidades de cuantías de acero para el cumplimiento de las verificaciones a esfuerzos momento negativo, cortante y rasante viga-losa, todo ello diferenciando las fases de carga enunciadas anteriormente.

### Diseño de zona de losa entre vigas de apoyo

En este caso, tratamos de buscar las acciones que nos produzcan los mayores esfuerzos en la zona central, entre las vigas de apoyo de la ampliación de losa, por lo que en el modelo de cálculo a implementar en el diseño se deberá tener en cuenta la situación de solicitaciones indicada en la Figura 7.

La carga correspondiente al carril virtual 1, de  $9 \text{ kN/m}^2$ , estará aplicada centrada entre las vigas de apoyo, de la misma manera que el carro de  $600 \text{ kN}$ .

De forma similar que en el caso de diseño del voladizo, tendremos en cuenta las fases de montaje y utilización.

Bajo esta hipótesis, será objeto de comprobación la sección crítica correspondiente a la zona central entre vigas, dimensionando, a partir del canto establecido, las necesidades de cuantías de acero para el cumplimiento de las verificaciones a esfuerzos momento positivo, cortante y rasante viga-losa, todo ello

diferenciando las fases de carga enunciadas anteriormente.

### Diseño de las vigas de apoyo sobre relleno

Tomaremos para el diseño de las vigas de apoyo, como hipótesis más desfavorable, el caso de uno de los ejes del tren de cargas ( $300 \text{ kN}$ ) centrado sobre la viga de apoyo, al igual que la sobrecarga repartida ( $9 \text{ kN/m}^2$ ) (Figura 8).

Las vigas se sustentan en el relleno del extradós de las bóvedas, por lo que, para nuestro modelo de cálculo, tendremos que partir de los datos que la campaña previa de caracterización de materiales nos haya determinado, tanto en referencia a la tensión admisible de dicho relleno, como a su coeficiente de balasto, para simular un modelo de viga sobre apoyos elásticos (viga Winkler). De

esta manera podemos determinar tanto el ancho necesario de las mismas, como el canto y cuantías de acero necesarias, bajo las comprobaciones de comparación entre tensión transmitida en servicio y las verificaciones a flexión de las vigas apoyadas sobre el sistema discreto de muelles.

### Precauciones de montaje y diseño de prelosas colaborantes

Las prelosas colaborantes, funcionando como sección simple en la hipótesis de montaje, deben garantizar las condiciones resistentes ya mencionadas bajo la carga del hormigón fresco que no constituye la sección compuesta hasta el fraguado. Además, se debe contemplar en esta fase una carga adicional correspondiente al desplazamiento de operarios y materiales sobre las prelosas.

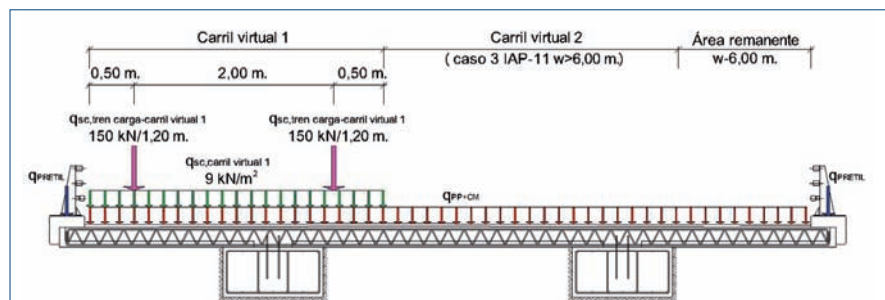


Figura 6. Acciones para el diseño del voladizo de la ampliación de losa.

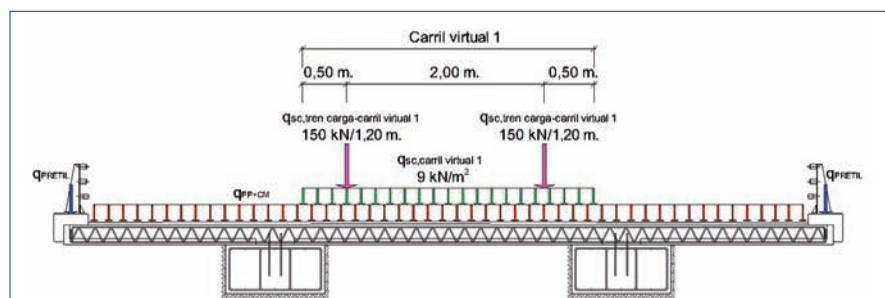


Figura 7. Acciones para el diseño del voladizo de la ampliación de losa.

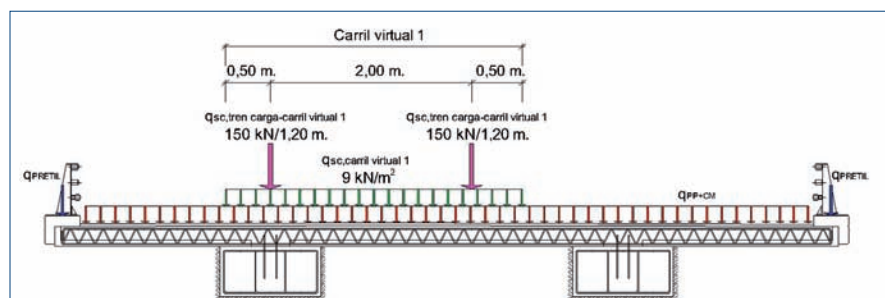


Figura 8. Acciones para el diseño del voladizo de la ampliación de losa.

Por otra parte, es habitual que estas prelosas dispongan de una celosía de armado que forma la conexión entre las placas exteriores de los vuelos y la placa central entre vigas de apoyo, para su funcionamiento autoportante. Pues bien, en el izado y en la hipótesis de servicio es imprescindible chequear el pandeo de las ramas superior e inferior de dicha celosía, para evitar problemas por deformaciones previas excesivas entre las placas exteriores e interior.

#### Diseño de las barras transversales de atado de muros

En función de la relación entre el ancho inicial y el ancho final, la ampliación del tablero del puente produce un incremento considerable de las cargas transmitidas al relleno del extradós de las bóvedas. De la misma manera, se producirá un empuje adicional sobre los muros verticales que, en muchos casos, puede traducirse en deformaciones de cierta magnitud, poniendo en peligro la estabilidad de los mismos.

Por ello, generalmente se disponen barras transversales con anclajes en los extremos en la coronación de dichos muros, para coaccionar su desplazamiento, produciendo un efecto de atado o arriostamiento. El concepto que debemos tener en cuenta para su diseño se muestra en la Figura 9.

#### Estudio de las deformaciones longitudinales

Se podría afirmar que, de manera prácticamente generalizada, este tipo de estructuras carece de juntas transversales de dilatación, tanto en extremos como en puntos intermedios. No obstante, al introducir la nueva losa de hormigón, se deben tener en cuenta los efectos producidos por las deformaciones longitudinales, para determinar la necesidad de introducir juntas.

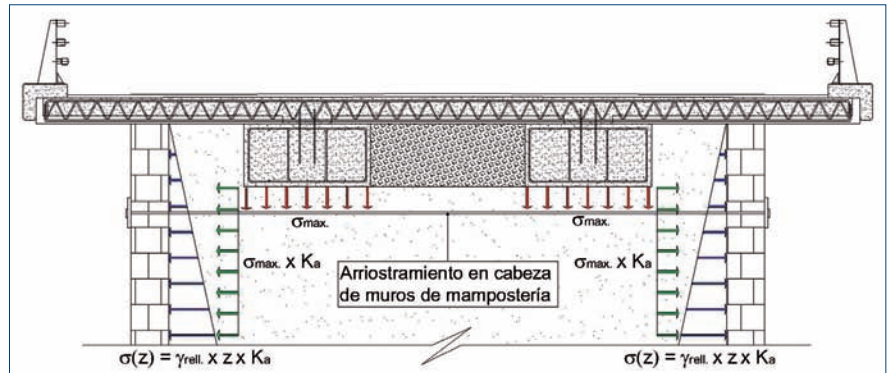


Figura 9. Acciones para el diseño del voladizo de la ampliación de losa.

## 4. Desarrollo de la ejecución

Para mejorar el entendimiento de la solución técnica que aborda el presente artículo, se muestra a continuación, una exposición gráfica, acompañada de ilustraciones fotográficas, de casos reales llevados a cabo en recientes actuaciones de ensanches de estructuras de carreteras de montaña, en las que se ha participado como asistencia técnica y control de calidad.

El desarrollo de la ejecución, partiendo de la situación inicial lleva asociadas las siguientes fases:

### Fase 1

Partiendo de la situación inicial de la estructura se comenzará por eliminar los pretilos o barreras de protección existentes. Posteriormente, será necesario demoler, cargar, transportar y gestionar el material correspondiente al paquete de firme más la capa granular hasta enrasar con la cota de relleno definida en los trabajos de diseño de la ampliación.

### Fase 2

En función de las necesidades de arriostar los muros laterales de mampostería, determinadas en el cálculo de empuje producidos por la sobrecarga adicional introducida por la ampliación del tablero, se realizará la excavación necesaria para introducir las barras transversales de atado de muros, anclando en los extremos mediante placas con soldadura o sistemas de pernos roscados. Las barras de acero normalmente utilizadas son simples

corrugados B400S/B500S, aunque en casos especiales puede plantearse la necesidad de acudir a tendones más específicos. Tras la ejecución de estos trabajos, será necesario realizar la excavación para las vigas de apoyo, así como la zona intermedia de futuro material granular (según las especificaciones de diseño, ya que en algunos casos el propio material de relleno existente aporta las características necesarias, y no es necesaria su sustitución).

### Fase 3

Preparada la excavación, se dispondrá la armadura prevista en el diseño y se procederá al hormigonado de las vigas de apoyo, dejando los conectores necesarios para la conexión con la losa, que formará la ampliación de tablero, propiamente dicha. A continuación, se dispondrá el mortero de nivelación en la superficie de contacto entre las prelosas y las vigas de apoyo. Por último, se montarán en esta fase las prelosas colaborantes/enconfrado perdido, se dispondrá del armado establecido para la losa, y se hormigonará según el espesor y geometría predefinida.

### Fase 4

Finalmente, restarán las actividades correspondientes a la terminación del pavimento, normalmente con capa de mezcla asfáltica. De la misma manera, se dispondrán las aceras y nuevos pretilos ajustados a normativa, obteniendo de esta manera la nueva sección del puente ampliada y actualizada a las necesidades del ensanche de la carretera.



Figura 10. Actuación en Fase 1 de demolición de pretilas y paquete de firme.



Figura 11. Actuación en Fase 2 de barras transversales de atado y excavación para vigas de apoyo.



Figura 12. Actuación en Fase 3, hormigonado de vigas de apoyo, disposición de prelosas y acabado de la losa.



Figura 13. Actuación en Fase 4, pavimentación y acabados.

**5. Parámetros de diseño.  
Recomendaciones**

En el primer apartado del presente artículo, se establecían una serie de trabajos de caracterización para determinar los parámetros básicos de la estructura existente objeto de ampliación (longitud del puente, anchura, características del relleno, etc.). Analizado el alcance de las acciones a realizar y las recomendacio-

nes de los parámetros a obtener del puente en su estado inicial, nos pondremos a continuación a valorar aquellos parámetros propios de la ampliación del tablero, mediante la ya expuesta sistemática de losas voladas prefabricadas.

De manera simplificada, nos restará el estudio y dimensionamiento de las variables del sistema estructural aplicado para la ampliación (Figura 14).

Para ello, se ha recabado la información de diversas actuaciones reales diseñadas y revisadas, que se introdujeron en diversas herramientas informáticas de cálculo mediante un modelo de elementos finitos, reproduciendo el comportamiento de la losa según elementos tipo "shell" o placa a flexión, conectados mediante barras verticales tipo "viga" de rigidez infinita, para simular la conexión entre la losa y las vigas de apoyo, simulando estas últimas mediante barras horizontales también tipo "viga" con rigidez asociada correspondiente a la sección de hormigón. Por último, el apoyo entre las vigas corridas y el material de relleno granular se simuló mediante "muelles elásticos", con la rigidez correspondiente al coeficiente de balasto extraído de la campaña previa de caracterización del relleno.

Para obtener los parámetros de referencia, que se exponen a continuación, se han analizado más de 30 modelos, jugando con las principales variables (terreno y geometría de la ampliación).

De dicho estudio, fijando algunas variables a los casos más comunes, podemos plantear las siguientes recomendaciones:

**Canto losa de ampliación sección compuesta (prelosa+losa in situ)**

Este parámetro suele estar bastante estandarizado, fijando inicialmente en el modelo un canto ajustado al cumplimiento bajo esfuerzos cortantes sin necesidad de introducir a la sección de comprobación ramas transversales de cortante. En casos habituales se suele fijar un canto mínimo de 20 cm en el extremo, variable en función de la pendiente transversal de la vía, que se traduce en la propia losa. En función de las dimensiones del vuelo y la parte central se recomienda ajustar el canto hasta un máximo de 30 cm para los casos con los voladizos por encima

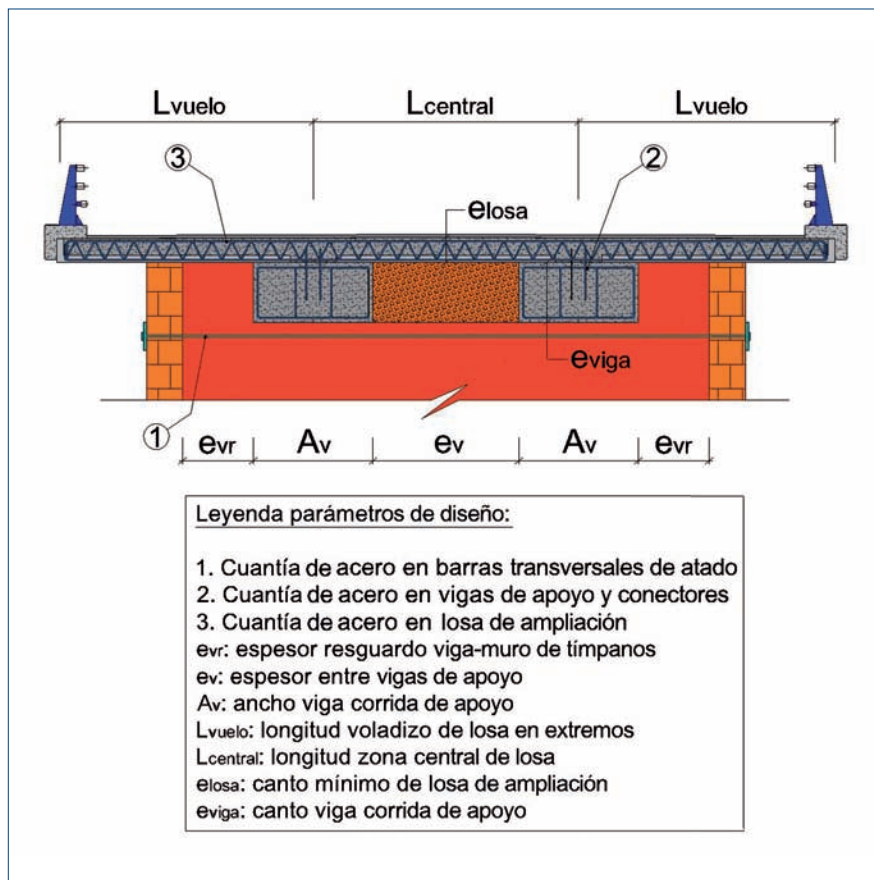


Figura 14. Esquema de parámetros de diseño de la ampliación del tablero.

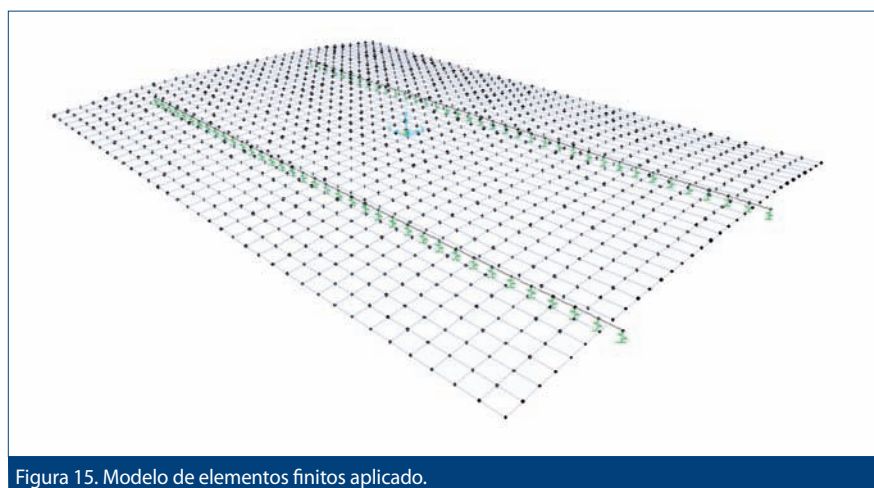


Figura 15. Modelo de elementos finitos aplicado.

de los 2 m de longitud hasta los 3 m, límite en el que este sistema puede dejar de ser competitivo frente a otras soluciones. Todo ello, incluyendo en estos espesores el espesor habitual de las prelosas colaborantes, que suele ser de 5-6 cm.

### Espesor resguardo viga-muro de tímpanos

Habitualmente, en el diseño de este tipo de actuación se persigue minimizar la longitud de vuelo a disponer, de manera coherente a las necesidades de ampliación de la sección. Sin embargo, es necesario tener cierta capacidad de reparto de la carga transmitida mediante las vigas al relleno granular de la estructura, por lo que será necesario garantizar una separación mínima respecto a los muros de tímpano que, como regla general, se encuentran comprendidas entre 50-75 cm.

### Dimensiones de vigas de apoyo

Vendrán condicionadas por las características del material de relleno, principalmente por su tensión admisible y por el coeficiente de balasto. En la Tabla 5 se recogen tres grupos diferentes en función de los tipos de relleno generalmente utilizados en el extradós de las bóvedas, para lo que se indican las dimensiones de ancho y canto de viga compatibles con las características portantes del material.

Estos valores han sido extraídos fijando las variables de longitud de vuelo y central para el caso más común de ampliación de una sección de ancho 5,50-6,00 m inicial a 8,00 m final, con voladizos de 2,00 m y 4,00 m en zona central, medido entre ejes de vigas, variando las condiciones de contorno del relleno para la obtención de los valores de las dimensiones de referencia para dichos elementos.

Tabla 5.

Tipo material relleno	Ancho de viga (m)	Canto de viga (m)
Material arcilloso Tensión admisible 1,5-2,0 kg/cm <sup>2</sup> Coeficiente balasto ≈ 5 kp/cm <sup>3</sup>	1,50-1,20	0,80-0,60
Material arena media Tensión admisible 2,0-3,0 kg/cm <sup>2</sup> Coeficiente balasto ≈ 10 kp/cm <sup>3</sup>	1,20-1,00	0,60-0,40
Material grava compacta Tensión admisible >3,0 kg/cm <sup>2</sup> Coeficiente balasto ≈ 20 kp/cm <sup>3</sup>	1,00-0,80	0,40-0,30 ó mínimo para anclaje barras de conexión

Tabla 6.

Tipo material relleno	Cuantía necesaria acero B500S (cm <sup>2</sup> /m)
Material arcilloso Tensión admisible 1,5-2,0 kg/cm <sup>2</sup> γr: peso específico 1,80-2,00 tn/m <sup>3</sup> φr: ángulo rozamiento interno 18°-20° cr: cohesión 0,50-1,00 tn/m <sup>2</sup>	3,00-3,50
Material arena media Tensión admisible 2,0-3,0 kg/cm <sup>2</sup> γr: peso específico 1,80-2,00 tn/m <sup>3</sup> φr: ángulo rozamiento interno 30°-33° cr: cohesión 0,00 tn/m <sup>2</sup>	2,50-3,00
Material grava compacta Tensión admisible 2,5-3,0 kg/cm <sup>2</sup> γr: peso específico 2,00-2,20 tn/m <sup>3</sup> φr: ángulo rozamiento interno 35°-38° cr: cohesión 0,00 tn/m <sup>2</sup>	2,00-2,50

### Cuantías de acero en vigas de apoyo

El caso establecido, plantea una viga apoyada sobre resortes elásticos que simulan de manera discreta el contacto entre la viga y el terreno.

En términos generales, y salvo valores del material de relleno fuera de lo común (muy flexibles, con coeficientes de balasto por debajo de lo presumible para un material granular) las cuantías de acero en vigas de apoyo suelen venir condicionadas por las cantidades de acero mínimas establecidas en la EHE-08 según las características geométricas de la sección, y que oscila entre el 2,8 y el 3,3 por mil respecto a la sección total del hormigón.

### Cuantías de acero en barras transversales de atado

Según se reflejó dentro de las comprobaciones básicas de diseño, es importante contemplar el empuje horizontal producido por el incremento de carga introducido por la ampliación de la sección del puente mediante una presión adicional sobre el trasdós de los muros. En función de la altura de relleno, sus características geotécnicas (peso específico, cohesión y ángulo de rozamiento) y las condiciones de drenaje del relleno, obtendremos la cuantía de acero necesaria para las barras transversales de atado de los muros. Para cada caso específico, se deberá

analizar según el esquema de cálculo establecido en el apartado de comprobaciones básicas.

No obstante, en la Tabla 6 se indican algunos baremos de estas cuantías.

De la misma manera que en el anterior apartado, se han fijado con el mismo criterio los parámetros de longitudes de vuelos y zona central, dejando variar el tipo de material del extradós de la bóveda. La altura de relleno máxima contemplada es de 2 m,

valor normalmente mayor al espesor usual registrado en este tipo de estructuras. En el dimensionamiento se debe limitar la tensión a la que sometemos a las barras, ya que se trata de limitar los desplazamientos, por lo que se recomienda fijar una tensión máxima reducida de las barras del orden del 50 % de la resistencia del límite elástico. Por otra parte, es habitual repartir la cuantía con separaciones entre barras del orden de 2 m, tomando barras de acero de mayor sección para dañar lo menos posible a la estructura existente.

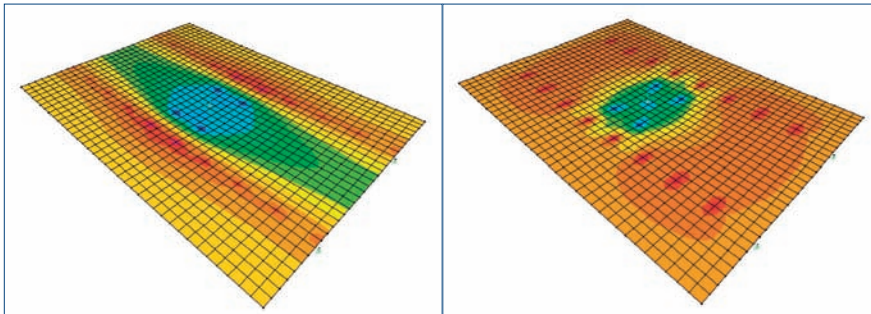


Figura 16. Esfuerzos M11 y M22 bajo hipótesis de sobrecarga repartida y carro de carga centrados.

Tabla 7. Cuantías de armado para zona de losa central entre vigas de apoyo.

Tipo material relleno	Cuantía longitudinal inferior (cm <sup>2</sup> /m)	Cuantía transversal inferior (cm <sup>2</sup> /m)
Material arcilloso Coeficiente balasto ≈ 5 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo I</b>	12,00-14,00	14,00-16,00
Material arena media Coeficiente balasto ≈ 10 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo II</b>	11,00-13,00	13,00-15,00
Material grava compacta Coeficiente balasto ≈ 20 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo III</b>	10,00-12,00	12,00-14,00

### Cuantías de acero en losa de hormigón armado

De las diferentes hipótesis de combinación de acciones con las posiciones más desfavorables de las sobrecargas y el carro, según los criterios establecidos en la IAP-11, podemos resumir, para el caso de un espesor medio de losa de 25 cm de hormigón HA-25, con la distribución de voladizos y zona central comentados (caso más común de ampliaciones), podemos resumir las siguientes recomendaciones, aunque es conveniente señalar que, en todo momento, estamos facilitando un orden de magnitud para valoraciones previas, siendo conveniente y preceptivo ajustar el modelo de cálculo a las condiciones específicas de cada caso.

- Zona de losa central entre vigas de apoyo.  
(Figura 16) (Tabla 7).
- Zona de voladizos extremos de losa de ampliación.  
(Figura 17) (Tabla 8).

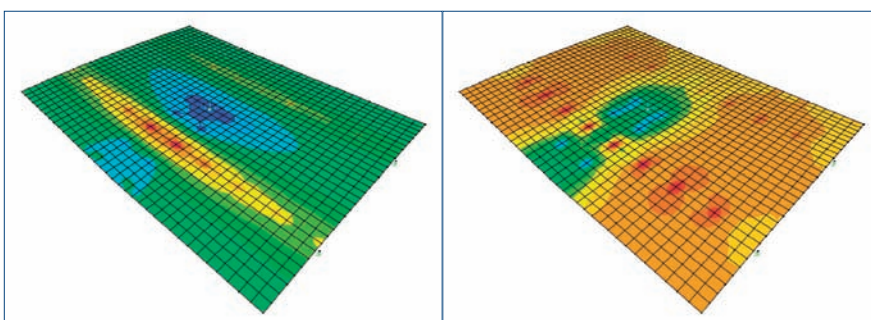


Figura 17. Esfuerzos M11 y M22 bajo hipótesis de sobrecarga repartida y carro de carga en extremo de voladizo.

Tabla 8. Cuantías de armado para zona de voladizos extremos de losa de ampliación.

Tipo material relleno	Cuantía longitudinal superior (cm <sup>2</sup> /m)	Cuantía transversal superior (cm <sup>2</sup> /m)
Material arcilloso Coeficiente balasto ≈ 5 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo I</b>	6,00-8,00	24,50-26,50
Material arena media Coeficiente balasto ≈ 10 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo II</b>	5,00-7,00	24,00-26,00
Material grava compacta Coeficiente balasto ≈ 20 kp/cm <sup>3</sup> <b>Grupo III</b>	7,00-8,00	24,00-26,00

### Disposición de juntas de dilatación

Estudiadas las deformaciones máximas que se pueden producir por la retracción, fluencia (suele desprejarse al no haber estados de tensiones normales) y variación térmica, se estiman valores globales en el entorno del 6-7 por mil de la longitud del puente, por lo que para los

casos habituales de una bóveda con longitudes inferiores a 30 m, se obtendrían deformaciones alrededor de 10 mm, que no exigirían la introducción de juntas de dilatación. Por encima de estas longitudes podría ser necesario introducir juntas extremas y, en algún caso, intermedias, si la longitud sobrepasa los 100 m. Por razones de facilidad en la ejecución y conservación es recomendable realizar juntas elásticas tipo "chicle" a partir de mezcla en caliente de un betún elastomérico modificado con áridos ofíuticos seleccionados.

## 6. Conclusiones

En este artículo se describe, de manera resumida, una interesante línea de investigación sobre la ampliación de tableros de puentes de fábrica existentes, mediante losa volada, a partir de prelosas colaborantes cuya sección se completa posteriormente mediante el hormigonado in situ del espesor final de losa de reparto. Todo el artículo ha sido realizado en base a diversas actuaciones desarrolladas en la trayectoria profesional de autor.

Como conclusiones, ante la escasa información específica publicada al respecto, cabe destacar la importancia de continuar profundizando en su estudio, identificando las siguientes necesidades para el avance del conocimiento en esta parcela:

- Constitución de comisiones de trabajo con la participación de profesionales expertos en la materia, que puedan poner en común las diferentes experiencias y resultados de diseño, proyecto y ejecución.
- Redacción de futuras publicaciones y guías de recomendaciones, en las que se pueda reflejar más extensamente la casuística y tipologías de solución, así como la aportación de parámetros que ayuden a establecer criterios de elección adecuados,

ya que, aunque en la mayoría de los casos la solución de prelosas prefabricadas suele ser la más competitiva, en determinadas condiciones, puede ser preferible tener en cuenta soluciones de losa de hormigón "in situ".

- Integración del análisis portante y su adecuado funcionamiento al incrementar las cargas debidas a la ampliación del sistema que configura la subestructura de los puentes (bóveda y estribos), que a nivel de simplificación se ha determinado como hipótesis de partida. No obstante, otra interesante línea de investigación es la determinación de parámetros técnico-económicos en los casos en los que dicha bóveda plantea problemas, caso en el que, en ausencia de atributos histórico-culturales del puente, suelen estar abocados a su demolición para la posterior construcción de una estructura de nueva ejecución.
- Existe una gran casuística, de tremendo interés, que no ha podido ser plasmada en el presente documento (casos asimétricos con contrapesos, losas a media ladera, micropilotajes de ampliación, etc.), al tratarse de un artículo de introducción que plantea, a partir de uno de los casos más habituales y sencillos, la problemática general.
- En un gran número de casos, las soluciones de ampliación de puentes bóveda son aplicadas sobre estructuras con un cierto grado de valor histórico-cultural y/o sobre entornos de alta montaña de diverso grado de protección ambiental, por lo que, más allá de la funcionalidad alcanzada al incrementar la sección, debemos tener en cuenta los criterios ambientales y estéticos, utilizando materiales y acabados que respeten estas condiciones de contorno, desde la óptica de integración estética y medioambiental.

Por tanto, a pesar de haberse realizado muchas actuaciones de este tipo en nuestra geografía, tenemos pendiente de realizar una labor de reflexión, encuentro y sistematización del proceso, labor que ha despertado el interés del autor para la redacción de este documento, con algunas recomendaciones para la ampliación de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada, esperando sea punto de partida de futura documentación que poco a poco, vaya analizando en profundidad las diversas líneas de investigación abiertas en esta materia.

## 10. Bibliografía

- [1] MARTÍNEZ, J.L.; MARTÍN-CARO, J.A.; LEÓN, J. (2001). "Comportamiento mecánico de la obra de fábrica. Monografía sobre el análisis estructural de construcciones históricas de fábrica". ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- [2] DURÁN FUENTES, M. (2010). "Algunas cuestiones teóricas y prácticas sobre la reparación de los puentes de fábrica". I Congreso Internacional de Carreteras, Cultura y Territorio. CICCIP de Galicia. La Coruña 3,4 y 5 de marzo de 2010.
- [3] MONLEÓN, S; DOMINGO, A; LÁZARO, C. (2011). "Recuperación de puentes históricos". Dos ejemplos recientes: ampliación del puente de Estivella (2010) y ensanchamiento del puente de Sant Sadurní D'Anoia (2011).
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO (2011). "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)". Dirección General de Carreteras. Serie Normativas.
- [5] MINISTERIO DE FOMENTO (2012). "Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red General del Estado". Dirección General de Carreteras. Serie Monografías. ❖

# Al rescate de las vías terciarias de la República de Colombia. Gestión vial sostenible

**Jairo Alberto Espejo Molano**  
Ingeniero Civil, Máster en ingeniería

Según el último informe del Foro Económico Mundial (*The Global Competitiveness Report 2012–2013*), la calidad de las infraestructuras de Colombia ocupa el puesto 108 al evaluar 144 países a nivel mundial. A pesar que hoy en día el principal medio de transporte en Colombia se desarrolla por carreteras, su calidad ocupa el ranking más bajo dentro de los diferentes modos de transporte (Tabla 1).

Modo de transporte	Ranking/144
Carretero	126
Ferrocarril	109
Fluvial	125
Aéreo	106

Según el Ministerio de Transporte de Colombia su red de carreteras está formada por 214.353 km, que a su vez se dividen en vías primarias, secundarias y terciarias, así como privadas o de particulares. Las vías primarias pueden ser concesionadas, bajo la responsabilidad de la Nación y a cargo de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) o de los departamentos, o no concesionadas a cargo del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Las vías secundarias se encuentran a cargo de los departamentos y del Grupo del Plan Vial Regional del Ministerio de Transporte (PVR), y las vías terciarias pueden estar a cargo de INVIAS, de los departamentos o de los municipios.

La red nacional de carreteras se distribuye de la siguiente manera:

- Red Vial Primaria (8,0 %): constituida por 17.203 km distribuidos en 5.578 km a cargo de la ANI, 11.320 km a cargo de INVIAS y 305 km de concesiones departamentales.
- Red Vial Secundaria (20,0 %): 42.954 km departamentales y del PVR.
- Red Vial Terciaria (66,2 %): constituida por 141.945 km distribuidos en 27.577 km a cargo del INVIAS, 13.959 km departamentales y 100.409 km municipales.
- Otras (5,70 %): 12.251 km de vías privadas o de particulares.

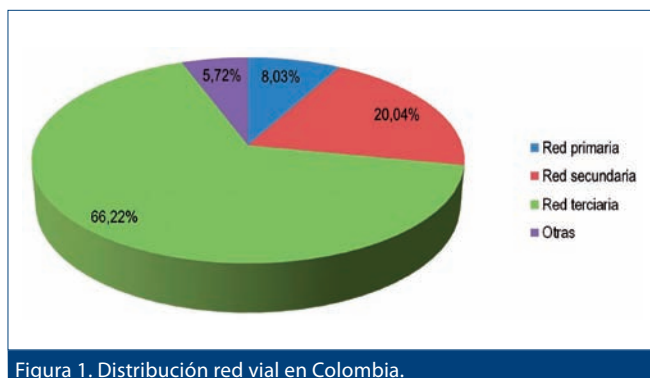


Figura 1. Distribución red vial en Colombia.

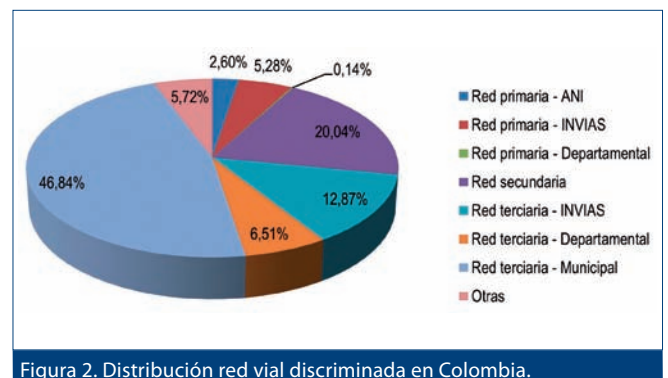


Figura 2. Distribución red vial discriminada en Colombia.



La distribución porcentual de la red vial en Colombia se puede apreciar en las Figuras 1 y 2, y su distribución física en la Figura 3.

La Nación ha prestado especial atención a las redes primaria y concesionada de carreteras, de tal manera que el Ministerio de Transporte actualiza anualmente la base de datos de la malla vial por sector y por departamento. A pesar que para la red vial terciaria se reportan cerca de 142.000 km, el último inventario detallado hecho por el INVIAS en 2010, arroja una cifra cercana a los 135.500 km de vías, siendo Boyacá el departamento más significativo y Amazonas el departamento menos significativo (Tabla 2).

## Problemática de la red terciaria

La red terciaria es la más extensa del país (66,2%) y presenta los mayores retos de ingeniería, debido a las características de su superficie de rodadura, condiciones de drenaje e inestabilidades geotécnicas, así como debilidades institucionales y de administración, por lo tanto la reflexión apunta a que la planificación operativa y estratégica en los distintos niveles gubernamentales (central, departamental, municipal y demás entes regionales y territoriales) debe dirigirse al rescate de estas vías con visión de largo plazo y con las herramientas modernas que proporciona la gestión vial sostenible.

La información sobre el estado y las características geométricas de las vías terciarias en Colombia es aproximada y en el momento de redacción de este artículo, el Ministerio de Transporte y el INVIAS se encuentran terminando y validando un censo que, por lo pronto, indica que la vías terciarias cuentan con aproximadamente 142.000 km. Por lo tanto se requiere construir una política pública para este sector, implementando un plan vial rural en el que se elaboren unos diagnósticos e inventarios, se fijen prioridades y estrategias, y se presenten sus respectivos

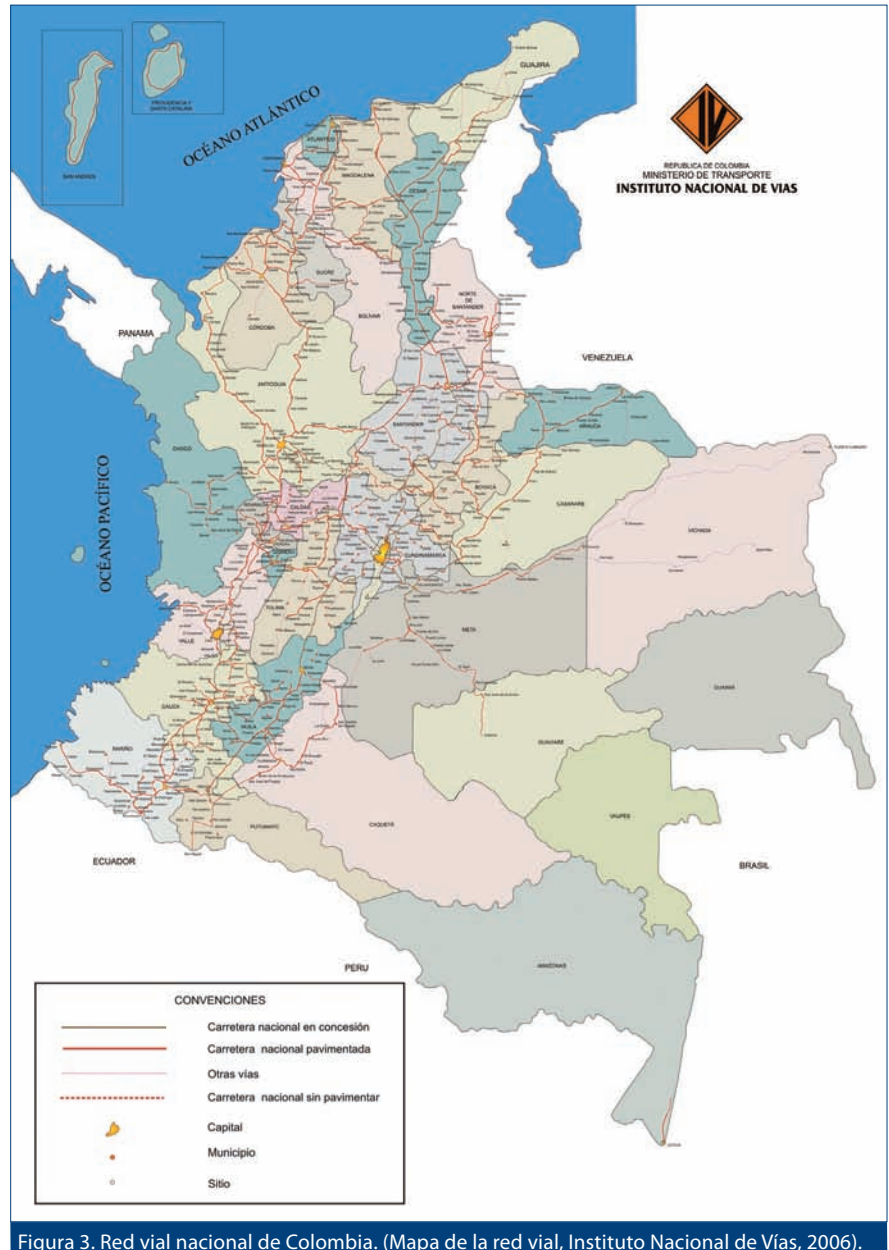


Figura 3. Red vial nacional de Colombia. (Mapa de la red vial, Instituto Nacional de Vías, 2006).

planes de inversión a corto, mediano y largo plazo. Para ayudar a lograr lo anterior se debe contar con las herramientas modernas que proporciona la gestión vial sostenible, que permitan identificar las deficiencias y características físicas actuales de la red terciaria.

Las redes viales secundaria y terciaria, por su función, son aquellas que unen las cabeceras municipales entre sí, o que conectan una de ellas con una vía Departamental o Nacional, lo que las convierte en un instrumento indispensable para mejorar la competitividad y conectividad en las regiones, sobre todo en estos momentos en los que las economías surame-

ricanas están creciendo a niveles superiores a los de años anteriores y los países están buscando la integración económica suramericana mediante tratados (TLC y otros acuerdos), por lo que han surgido iniciativas como la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA).

Asesores del actual Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Juan Camilo Restrepo, hablan que en el mundo se está trabajando en la ampliación del área cultivada, lo que estará liderado por Rusia y algunos países de América del Sur, en particular por Brasil, Argentina y Colombia. En Colombia el apoyo al comercio exterior agrícola es una realidad

Tabla 2. Inventario de la red terciaria. INVIAS, 2010.

DEPARTAMENTO	A CARGO DEL INVIAS	A CARGO DE MUNICIPIOS	A CARGO DE DEPARTAMENTOS	TOTAL	PORCENTAJE CON RELACIÓN AL TOTAL
	LONGITUD (km)	LONGITUD (km)	LONGITUD (km)	LONGITUD (km)	
AMAZONAS	4	127	0	131	0,10 %
ANTIOQUÍA	1.495	10.709	630	12.834	9,47 %
ARAUCA	33	550	192	775	0,57 %
ATLANTICO	0	969	314	1.283	0,95 %
BOLIVAR	2.232	2.508	118	4.858	3,59 %
BOYACA	2.612	8.989	3.786	15.387	11,36 %
CALDAS	559	2.209	348	3.116	2,30 %
CAQUETA	1.368	303	0	1.671	1,23 %
CASANARE	71	595	99	765	0,56 %
CAUCA	1.758	3.668	0	5.426	4,00 %
CESAR	1.236	4.436	157	5.829	4,30 %
CHOCO	296	558	0	854	0,63 %
CORDOBA	1.271	6.523	0	7.794	5,75 %
CUNDINAMARCA	2.161	9.500	2.570	14.231	10,50 %
GUAINIA	142	6	0	148	0,11 %
GUAVIARE	59	805	120	984	0,73 %
HUILA	1.732	2.316	0	4.048	2,99 %
LA GUAJIRA	606	1.565	85	2.256	1,67 %
MAGDALENA	1.201	3.053	685	4.939	3,65 %
META	2.071	2.773	335	5.179	3,82 %
NARIÑO	1.507	4.042	0	5.549	4,10 %
NORTE DE SANTANDER	825	2.693	579	4.097	3,02 %
PUTUMAYO	301	677	71	1.049	0,77 %
QUINDIO	359	889	370	1.618	1,19 %
RISARALDA	15	1.621	814	2.450	1,81 %
SANTANDER	1.976	6.136	0	8.112	5,99 %
SUCRE	600	2.200	262	3.062	2,26 %
TOLIMA	543	8.373	1.116	10.032	7,40 %
VALLE DEL CAUCA	544	2.544	2.033	5.121	3,78 %
VAUPES	0	74	90	164	0,12 %
VICHADA	0	1.255	470	1.725	1,27 %
<b>TOTALES (km)</b>	<b>27.577</b>	<b>92.666</b>	<b>15.244</b>	<b>135.487</b>	<b>100,00%</b>

que se manifiesta en documentos como el del Informe de Rendición de Cuentas Gestión 2011–2012, que evidencian protocolos de exportación agrícolas pecuarios firmados entre Colombia y países como Rusia, Brasil, Egipto, Bolivia, Angola, Jordania, Sudáfrica, Israel y Venezuela.

La red vial terciaria es fundamental para el enlace físico de las regiones de Colombia con los mercados internos y externos que se requiere para el desarrollo articulado del agro colombiano, sin lo cual no se podrá

hablar de globalización ni de descentralización.

El desarrollo de la agricultura del país demanda una red vial terciaria que cumpla con las especificaciones vigentes para pavimentos y que proporcione una infraestructura vial apropiada para el crecimiento del comercio exterior.

El desarrollo y reactivación agrícola de Colombia no se pueden concebir sin la mejora de la infraestructura vial terciaria desde los lugares de producción hacia los de almacenamiento, comercialización y consumo.

Las insuficiencias que se producen en esta infraestructura vial básica encarecen la de distribución y son contrarias a los intereses de productores, consumidores y a la competitividad de la región y del país.

En Colombia no se cumple con lo estipulado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008) en lo referente a vías terciarias ya que su construcción debe generar áreas de producción y ofrecer posibilidades de bienestar a los núcleos poblacionales atrasados por la falta de la comunicación que permitiría una infraestructura vial adecuada. Ejemplos, de los muchos que se presentan en el país, sobre el mal estado de las vías terciarias se evidencian en vías de los departamentos de Antioquia, Guaviare y Casanare (Figuras 4, 5 y 6).

Se comenta que el Gobierno Nacional está interesado en entregar a los municipios la administración de las vías terciarias, pero no se conoce la estrategia a implementar ni la posibilidad de éxito. En la publicación del periódico colombiano, El Tiempo, de 25 de febrero de 2013, se manifiesta la intención del INVIAS y la Gobernación del Guaviare por recuperar las vías de la red terciaria que conforman los municipios del departamento. Se estima en más de US\$930.000 los costes de la intervención, parte de los cuales provienen de un Acuerdo para la Prosperidad que firmó el presidente de la República, Juan Manuel Santos, en el año 2012. El Gobernador indicó que se hizo un convenio para el mantenimiento de la red terciaria en el departamento, que fue firmado por el alcalde y se espera que a finales de 2013 la mayoría de las vías en el departamento del Guaviare hayan sido mejoradas.

En este tipo de iniciativas se debe considerar que lo municipios no cuentan con capacidad técnica, administrativa y financiera para atender su red terciaria, y sí con altísimas limitaciones para la consecución de recursos económicos.

## La solución

Colombia demanda que se atiendan con criterios de gerencia e ingeniería las olvidadas vías terciarias. Esta labor no es un esfuerzo de poca monta y tampoco en el corto plazo. Es un desafío vial que debe realizarse con visión de largo plazo y con dos requisitos. El primero: debe garantizarse la circulación durante todo el año. El segundo: la superficie de rodadura no debe generar polvo ni barro.

Las instituciones viales encargadas de la red vial terciaria deben migrar a estados superiores de desempeño institucional, implementando procedimientos de gestión vial sostenible de la red aplicando la ecuación: construcción + mantenimiento. Es un error seguir realizando el primer término de la ecuación sin contar con programas de mantenimiento rutinario, periódico y preventivo. Adicionalmente, Colombia ha caído en el error de implementar mantenimientos correctivos debido a que en los procesos de diseño o de construcción se incumplieron las especificaciones técnicas. Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo para corregir fallas de mediana y alta severidad que requieren de intervención inmediata debido al efecto negativo sobre la movilidad.

La estrategia correcta para cumplir el primer requisito es que los conceptos de mantenimiento rutinario, periódico y preventivo vayan de la mano. El Presidente Juan Manuel Santos, en referencia a la locomotora de la infraestructura vial ha mencionado... *"Mejoraremos el modelo de concesión y la gestión estratégica de la infraestructura. Esto implica la planeación y priorización de los proyectos, la contratación y arquitectura institucional. Dotaremos al Ministerio de Transporte y a los entes rectores del sector de los mejores cuerpos técnicos en la planeación y priorización. Mejoraremos la asignación de riesgos de las concesiones, así como la interventoría y la solución de controversias. Toda obra nueva contemplará los costos de su mantenimiento."*



Figura 4. Vía terciaria Antioquia, Contexto Ganadero, 2013.



Figura 5. Vía terciaria Guaviare, Contexto Ganadero, 2013.



Figura 6. Vía terciaria Casanare, Contexto Ganadero, 2013.

Para lograr el segundo requisito de proveer una superficie de rodadura libre de polvo y de barro, se debe pasar de las soluciones técnicas convencionales a soluciones técnicas no convencionales, innovadoras y amigables con el medio ambiente, para lo cual debe emplearse la ingeniería y generar una cultura técnica alrededor de las vías terciarias, en donde primero hay que pensar en la realización de la ingeniería preventiva mediante investigación y desarrollo, tramos de prueba, evaluaciones de comportamiento y especificaciones particulares, que le permitan al país afrontar la implementación de soluciones no convencionales probadas de manera previa y con confianza técnica para continuar procesos a escala industrial. El país no puede continuar repitiendo experiencias como la del relleno fluido, experimentada en las troncales de Transmilenio de la Avenida Caracas y de la Autopista Norte en Bogotá.

## Propuestas claras

Para alcanzar los requisitos mencionados anteriormente se debe trabajar con herramientas modernas de administración y para ello se debe apoyar en los conceptos de gestión de la infraestructura vial aplicada a las vías terciarias, así como en la construcción de una cultura técnica para el desarrollo de la ingeniería preventiva, no reactiva.

### 1. Gestión vial sostenible de las vías terciarias

Su implementación y ejecución implica dar respuesta a los cuatro interrogantes de un modelo de gestión vial sostenible: ¿qué gestiono?, ¿cuándo gestiono?, ¿cuánto gestiono? y ¿cómo gestiono? Para ello es necesario contar con un sistema de información con datos viales confiables, que cuenten con actualización permanente y que faciliten una programación racional de los recursos económicos limitados y prioricen las intervenciones para el mejoramiento y mantenimiento de la red vial terciaria.

- **¿Qué Gestiono?** Es importante saber qué se va a gestionar y, por fortuna, el INVIAS está culminando un inventario vial que debe dar respuesta a la cantidad y calidad de la red, así como a su ubicación y estado superficial. Como se ha mencionado, actualmente se registran cerca de 142.000 km de red vial terciaria, de los cuales el 69 % están a cargo de los municipios, el 20 % a cargo de la nación y el restante 11 % a cargo de los departamentos. Por supuesto que este esfuerzo no es suficiente, ya que debe crearse una plataforma tecnológica para realizar cada dos años este tipo de inventarios, de tal manera que se mantenga actualizada la información. También es importante desarrollar un programa de auscultación con sistemas de información geográfica, que permita contar con una ficha técnica de cada vía terciaria a nivel nacional. Para ello se puede pensar en el aprovechamiento de las tecnologías que ha desarrollado el país, tales como la base de datos SIGVIAL – PRV, que el Ministerio de Transporte desarrolló para el PVR, y ajustarla a los requerimientos de información de las vías terciarias. De igual forma se debe elaborar un programa de inventario vial integral para todos los municipios y departamentos. Actualmente la Subdirección de Red Terciaria y Férrea del INVIAS desarrolla el programa Caminos para la Prosperidad a partir de un convenio suscrito en el 2011, en el que se pretende atender cerca de 50.000 km, distribuidos en 800 municipios.
- **¿Cómo Gestiono?** En Colombia, para la construcción de las vías nuevas de la red terciaria, se han usado materiales granulares para superficie de rodadura, que ofrecen una vida útil muy corta, ya que no cuentan con cementación que les permita soportar

la acción conjunta de las cargas del tránsito y las primeras lluvias, por lo que se destruyen, de manera prematura. Así mismo, al no contar el país con una cultura técnica para el mantenimiento de estas vías, las pocas veces que las ejecuta las realiza de manera insuficiente y con el uso de prácticas obsoletas, de manera que la acción conjunta de las cargas del tránsito y la presencia de lluvias, las destruyen nuevamente. No hay que seguir haciendo lo mismo, hay que cambiar de mentalidad, prácticas, procedimientos y tecnología, es decir, abandonar el uso de las técnicas convencionales y abrir el espacio para la innovación en el uso de nuevas y confiables tecnologías para este tipo de vías. Se deben definir las técnicas de mejoramiento o rehabilitación y las técnicas de mantenimiento rutinario, periódico y preventivo, las que deben ser actualizadas para poder ofrecer una infraestructura vial acorde a las solicitudes del país. Por ejemplo, a lo largo de la historia se ha trabajado el asfalto para producir cementos asfálticos, asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas, esto con el fin de sellar capas superiores de pavimento o crear mezclas para la construcción de capas superiores del pavimento. No obstante, actualmente se acepta a nivel mundial la aplicación de asfalto espumado, que ha mostrado disminuir los costos al mezclar el asfalto con los agregados. También es justo informar que en Colombia se han realizado esfuerzos aislados e individuales con técnicas no convencionales tales como: asfalto espumado, pes-cóndor, geo-stab, solid-soil, concre-soil, geofix, basefuerte, probase, corasfaltos, etc., que de alguna manera no han sido usadas de manera rutinaria por la ingeniería colombiana, ya que se han realizado sin

planificación, soporte de laboratorio, procedimientos y prácticas, ni seguimiento, lo que unido a que no han presentado resultados satisfactorios, ha conducido a un abandono de su práctica.

De igual manera, es importante trabajar en el inventario de las canteras que servirán de soporte para el plan de mejoramiento de la red terciaria, la elaboración y actualización de un manual para el mantenimiento integral de la red terciaria, y la elaboración de las especificaciones técnicas de construcción y mantenimiento de la red terciaria. En Colombia las técnicas de mejoramiento y conservación que se han usado de manera rutinaria son: material granular, estabilización química del suelo disponible, utilización de asfaltos naturales, empedrados, placa-huella.

- **¿Cuánto Gestiono?** Con el inventario de la red terciaria también se puede estimar, de manera razonable y a nivel de planeación, cuales son las inversiones que se requieren realizar para aproximarse al cumplimiento de los dos requisitos expuestos (garantizar la movilidad y evitar el polvo y el barro) y también permite pensar de donde se obtendrán las fuentes de financiación para la realización de las inversiones iniciales, así como las inversiones de mantenimiento rutinario y periódico que se requieran. Por el momento no se cuenta con un valor estimado de los recursos que se requieren para el mejoramiento de las vías terciarias, sin embargo hay una cifra no validada de US\$270.000/km, es decir, que se requieren aproximadamente US\$40.000 millones para la rehabilitación de esta red vial. La Oficina de Comunicaciones del INVIAS manifestó en 2011 que para el Programa de Caminos para la Prosperidad se espera invertir en el periodo 2010-2014, un valor US\$650 millones.

- **¿Cuándo Gestiono?** Siempre existirán limitaciones de recursos, por lo que se deben desarrollar herramientas objetivas para la priorización de las vías que forman parte de la red terciaria. Se podría ajustar la herramienta que actualmente se usa para priorizar las vías regionales y también revisar y ajustar la metodología indicada en el documento "Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito", realizado por la Corporación Andina de Fomento, CAF, en el año 2010. En los últimos años se han venido desarrollando en Colombia varios programas para el mejoramiento y conservación de las vías terciarias de los cuales destacan el Plan Vías Para la Paz, el Plan 2500, el programa de mejoramiento y conservación de vías terciarias y el actual plan del gobierno nacional denominado El Programa de Caminos para la Prosperidad, que distribuye sus inversiones por departamentos y da prioridad a los municipios que no recibieron recursos de las vigencias anteriores, como sucedió en los departamentos de Antioquía, Norte de Santander, Cundinamarca y Santander en enero de 2013, cuando el INVIAS anunció la destinación de US\$39 millones a la Unidad de Gestión de Riesgo.

## 2. Ingeniería preventiva y no correctiva

Se puede partir por seleccionar vías piloto donde se implementarán todas las soluciones técnicas posibles no convencionales, con seguimiento de ingeniería, para lo cual se propone crear el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de las Vías Terciarias, que dependerá de un gran centro que se denominaría Centro de Investigaciones del Transporte, que sería un cuerpo técnico-científico del Gobierno

Nacional para el desarrollo de toda la infraestructura física y logística del país. Ese centro investigativo se encargaría de direccionar usos tecnológicos para determinadas regiones y tráficos, y la realización de especificaciones técnicas para las vías terciarias colombianas. Mientras se logra ello, se deben buscar acuerdos de cooperación con las universidades que tengan asiento en los departamentos seleccionados como pilotos, que servirían de soporte técnico local y trabajarían en concordancia y coordinación con un ente central. Para el estudio de las soluciones técnicas no convencionales se propone hacerlo a partir del documento "Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito", realizado por la Corporación Andina de Fomento, CAF, en el año 2010. Así mismo se propone el estudio de la evaluación ex-post de las actuales técnicas y metodologías convencionales y no convencionales aplicadas al mejoramiento y rehabilitación de las vías terciarias, que vienen implementando el sector estatal tanto por el INVIAS, como por las gobernaciones, los municipios o el sector privado como el de bananeros, azucareros, ganaderos, cafeteros e hidrocarburos. El sector privado ha realizado y usado técnicas no convencionales, que bien vale la pena estudiar y rescatar como de uso potencial para las vías terciarias de la Nación.

Paralelamente se propone el estudio de nuevas tecnologías con potencial aplicación para las vías terciarias de Colombia, a partir del estudio documental que ha realizado la CAF para vías de bajo tráfico en Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú y Colombia, de donde se extrae la Tabla 3 (Soluciones generales del mejoramiento) que ilustra las soluciones estructurales y funcionales, que se han aglutinado alrededor de tres posibilidades tecnológicas:

Tabla 3. Soluciones generales de mejoramiento (Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito - CAF, 2010).

Grado de conocimiento y nivel de uso	Soluciones estructurales	Soluciones funcionales
Tecnologías universales	Estabilizaciones	Tratamientos superficiales y sellos asfálticos
	Estabilizaciones con cal	Sellos de arena
	Estabilizaciones con cemento	Lechadas asfálticas
	Estabilizaciones con emulsión asfáltica	Tratamiento superficial simple
	Adición de capas estructurales	Tratamiento superficial doble
	Adición de capa estructural de material granular	Tratamiento superficial múltiple
	Hormigones asfálticos y hormigones de cemento portland	Supresores de polvo
	Adoquines de hormigón o de arcilla cocida	<i>Fog Seal</i> (Riego Neblina)
Tecnologías innovadoras	Estabilizaciones	Tratamientos superficiales
	Estabilizaciones con asfalto espumado	Sello del Cabo
	Estabilizaciones con sales/cloruro	Sello de Otta
	Estabilizaciones con cenizas	Supresores de polvo
	Utilización de escorias de procesos industriales	Sales
	Refuerzos con geomallas o geotextiles, geoceldas	Empedrado
	Material de reciclaje de pavimentos	Placa huella
Tecnologías experimentales	Estabilizaciones	Supresores de polvo
	Estabilizaciones químicas con aditivos especiales	Crudos pesados y productos
	Asfaltos naturales	
	Adición de capas estructurales	
	Empleo de residuos sólidos o de residuos industriales	
	Utilización de materiales no estándar (bagazo de caña de azúcar, fibra de cascara de coco, celulosa, etc.)	
	Otras	
	Refuerzo de hormigón no tradicional (p. ej. bambú)	

universales, innovadoras y experimentales. Este estudio le permitirá al país conocer de este conjunto de posibilidades tecnológicas cuales son viables, elaborar sus especificaciones técnicas, costo y su uso en el corto y mediano plazo para las diferentes particularidades físicas, geográficas y climáticas de las regiones colombianas, en donde se encuentran los cerca de 142.000 km de la red vial terciaria. Las especificaciones técnicas deben incorporar el comportamiento en servicio de los pavimentos a partir de los principios de la ingeniería de materiales, como se ha hecho en el proyecto desarrollado por los Estados Unidos con el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (*Strategic Highway*

*Research, Program, SHRP*) que dio lugar al sistema SUPERPAVE (*SUPERior PERforming asphalt PAVement*).

Colombia demanda una red vial terciaria con especificaciones técnicas que garanticen movilidad y servicio vial durante cualquier temporada dado que representa el mayor porcentaje de tipo de carretera en el país, siendo éste el principal modo sobre el que se lleva a cabo el transporte de carga y de pasajeros. La descentralización y globalización demandan una Colombia con infraestructura vial adecuada para suplir las solicitudes de los tratados internacionales, su situación actual es crítica y afecta la competitividad del país como se evidencia en el último informe global de competitividad

del Foro Económico Mundial.

El país debe dejar a un lado las técnicas tradicionales sobre el tratamiento del pavimento en las vías terciarias, para ello debe avanzar en tecnología y adquirir un criterio integral que incluyan gerencia, ingeniería, investigación, desarrollo e innovación, que se reflejan en la implementación de una gestión vial sostenible y en una ingeniería preventiva y no correctiva.

Se espera que las propuestas formuladas sean de utilidad práctica y que de esta experiencia queden las semillas de un cambio de ánimo y de actitud frente a las vías terciarias en Colombia. ❖

# Premio Acueducto de Segovia al tramo Venta de Cárdenas – Santa Elena (A - 4)

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos entregó el pasado mes de febrero el Premio Acueducto de Segovia al tramo Venta de Cárdenas - Santa Elena (A - 4), perteneciente al histórico paso por Despeñaperros. El Jurado del Premio ha valorado la solución que aporta definitivamente este enclave al unir la Meseta Central con Andalucía. Asimismo, la variante sur del área metropolitana de Bilbao (A - 8) recibió una Mención de Honor por parte del Jurado.



Los galardonados con el Premio Acueducto de Segovia 2013, por el tramo Venta de Cárdenas - Santa Elena (autovía del sur, A - 4) y los implicados en la obra de la variante sur del área metropolitana de Bilbao, que recibieron la Mención de Honor, posan en primera fila ante los fotógrafos en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, junto a las autoridades que les entregaron el galardón. Foto: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El pasado 18 de febrero de 2014, el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos entregó el Premio Acueducto de Segovia 2013 a la autovía del sur (A - 4), en concreto al tramo Venta de Cárdenas - Santa Elena, de tal forma que los principales implicados en su construcción recogieron el premio. El Jurado de este premio otorgó también una Mención de Honor a la variante sur del área metropolitana de Bilbao (A - 8).

Juan Antonio Santamera, Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, introdujo el acto y comentó que éste era el primero que se realizaba en el marco de la Fundación Caminos, que ha creado el Colegio. Asimismo, anunció que la próxima edición del Premio Acueduc-

to de Segovia tendrá una proyección internacional, ya que se podrán presentar candidaturas de todas partes del mundo, siempre que se trate de obras desarrolladas por empresas españolas.

A continuación, Javier Díez Roncero, Secretario General del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, nombró a los galardonados, tras la presentación del Jurado. En primer lugar, indicó que la Mención de Honor del Premio Acueducto de Segovia se concedía a la puesta en servicio de la fase 1 de la variante sur del área metropolitana de Bilbao por "haber materializado una alternativa viaria funcional, segura y sostenible al tramo más congestionado de la autopista A - 8, entre el enlace del Puerto de Bilbao y la autopista A - 68". Y

a esto añadió la labor de "un magnífico equipo multidisciplinar con más de 120 ingenieros de caminos, que ha conseguido realizar una obra de gran magnitud con más de 15 kilómetros de desarrollo mayoritariamente en túnel, plenamente integrada en los espacios naturales que atraviesa, manteniendo su valor ecológico y paisajístico".

Tras estas palabras de reconocimiento, Mikel Oriondo Bilbao recogió la Mención de Honor a los promotores de esta obra del área metropolitana de Bilbao (INTERBIAK S.A - Diputación Foral de Bizkaia).

Más tarde, José Alberto Fuldain Rodríguez (Responsable técnico de la empresa IDOM) recogió la Mención de Honor, a los proyectistas de esta obra: IDOM, DAIR, FULCRUM, GEOCONSULT, SAITEC,



D. Juan Antonio Santamera entrega el Premio Acueducto de Segovia a D. Jorge Urrecho Corrales, en representación del Ministerio de Fomento.



D. Mikel Oriondo agradece la Mención de Honor del Premio Acueducto de Segovia.

PROINTEC, EIPSA, EUSKONTROL y SENER. El Secretario General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Manuel Niño, entregó el galardón. En representación de los anteriores premiados Mikel Oriundo Bilbao agradeció el premio.

Tras la Mención Honorífica llegó el momento de entregar el Premio Acueducto de Segovia 2013 a la Autovía del Sur A-4. Tramo Venta de Cárdenas -Santa Elena. En esta ocasión el Jurado premió esta obra de 9 km perteneciente al paso histórico de Despeñaperros por proporcionar una solución definitiva a este enclave, principal vía de comunicación entre Castilla-La Mancha y Andalucía.

## El paso histórico de Despeñaperros

Como explicó Javier Díez Roncero, al explicar las razones de la elección de esta obra por parte del Jurado, se trata de un tramo de autopista de tres

carriles en cada sentido, con once viaductos y cinco nuevos túneles "con brillante diseño y unos procedimientos constructivos avanzados", para la que se han previsto gran cantidad de medidas destinadas a la reducción y corrección de impacto ambiental consensuada con el parque natural de Despeñaperros. Esta obra, por tanto, "salva definitivamente uno de los grandes escollos viales de nuestra compleja orografía", según consideró el Jurado.

El alcalde de Segovia, Pedro Arahuetes, entregó, en primer lugar, el premio a los promotores, en cuya representación fue Jorge Urrecho Corrales, Director General de Carreteras, quien lo recogió, en nombre de la Demarcación de Carreteras de Andalucía Oriental. El Director del Proyecto, Enrique Rodríguez Álvarez, recogió el premio a los proyectistas, en nombre de Acciona Ingeniería, de manos del Vocal de la Junta de

Gobierno del Colegio, Juan Guillamón. Finalmente, Juan A. Santamera entregó el premio a la constructora del tramo, FCC Construcción. El Presidente de esta constructora, Fernando Moreno, recogió el galardón y destacó en su intervención el trabajo en equipo de la Administración Pública, del proyectista y de la empresa constructora, para dar lugar a un proyecto que, en su opinión, va más allá de la construcción, ya que definitivamente se decidió abordar un trazado para unir la Meseta Central con Andalucía: "Realmente, hemos conseguido hacer una obra que no tiene parangón en el nivel de servicio y utilidad pública. Con esta infraestructura añadimos una más a las que tiene este país, que es referente mundial", afirmó Fernando Moreno.

Cerró el acto Manuel Niño, en representación de la Ministra de Fomento, Ana Pastor, felicitando a los premiados: "Tanto a la variante sur del área metropolitana de Bilbao como el tramo de Santa Elena son obras de una gran envergadura con las variadas y complejas soluciones técnicas que han exigido numerosos túneles y viaductos. A la complejidad técnica se suma la complejidad de los impactos medioambientales que hoy día son una exigencia de la política medioambiental de la Unión Europea y por qué no decirlo, también de la ciudadanía".

La entrega del Premio Acueducto de Segovia se desarrolló dentro de la Jornada Caminos, por la salida de la crisis, que celebró el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. En la primera parte de dicha Jornada intervino el Gobernador del Banco de España, Luis María Linde, quien repasó la situación de crisis económica que vive España desde hace seis años y expresó la recuperación de la economía española desde la segunda mitad del año 2013. En la misma línea, se manifestó uno de los ponentes, Juan-Miguel Villar Mir (Presidente del Grupo Villar Mir): "Hemos empezado a crecer pero crecemos muy poquito. Creo que en este 2014 la economía va a crecer más del 1% anual". ❖



## XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica

Del 24 al 27 de junio del 2014 tendrá lugar el XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica, en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Madrid, situado en la calle Almagro, 42.

### PRESIDENTE DE HONOR:

- S.M. Juan Carlos I, Rey de España

### DIRECCIÓN:

- D. Manuel Criado de Val

### ORGANIZACIÓN:

- Asociación Internacional de Caminería

### CONVOCAN:

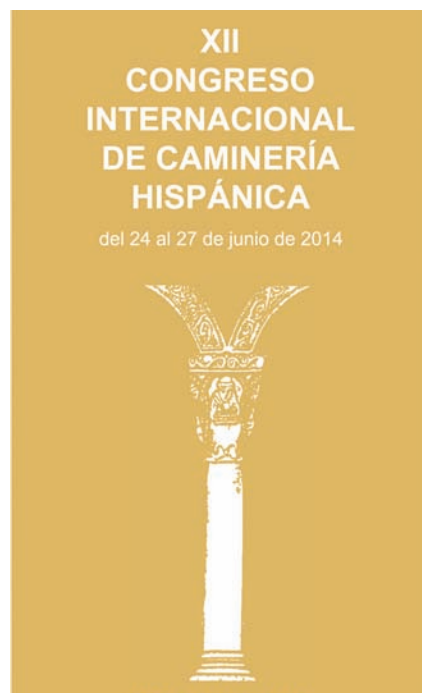
- D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Fernanda de Abreu
- D. Roberto Alberola García
- D. Manuel Criado de Val
- D. Máximo Cruz Sagredo
- D. Carlos Fernández Shaw
- D. Manuel García Gutiérrez
- D. Jean - Paul Le Flem
- D. José Mendoza Lara
- D. Juan F. Lazcano Acedo
- D. Eric W. Naylor
- D. José Polo Polo
- D. Juan A. Santamera Sánchez
- D. Joseph Snow
- D<sup>a</sup>. Laura E. Solís Chaves
- D. Aniceto Zaragoza Ramírez
- D. Pablo Sáez Villar

### COMISIÓN TÉCNICA:

- D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Fernanda de Abreu (PT)
- D. Máximo Cruz Sagredo (ES)
- D. Jacobo Díaz Pineda (ES)
- D. Eduardo Garrigues Walker (ES)
- D. Jean - Paul Le Flem (Francia)
- D. Ignacio Menéndez Pidal (ES)
- D. Pablo Sáez Villar (ES)
- D<sup>a</sup>. Susana Mora Alonso - Muñoyerro (ES)
- D. José María Izard Galindo (ES)
- D. Eric W. Naylor (USA)
- D. José Polo Polo (ES)
- D<sup>a</sup>. Laura E. Solís Chávez (MX)
- D. José Carlos de Torres (ES)
- D. Joseph Snow (USA)
- D. Aniceto Zaragoza Ramírez (ES)

### ORGANISMOS PATROCINADORES:

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Cooperación Cultural y Promoción Exterior.
- Ministerio de Fomento (CEDEX - CEHOPU).
- Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. Marca España
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Asociación Técnica de Carreteras.
- Asociación Española de la Carretera.
- Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras.



### PREMIO HERNANDO COLÓN:

El Premio Hernando Colón fue creado como proyecto de la Academia Internacional de Caminería Hispánica, de la Asociación Internacional de Caminería y de los Congresos Internacionales del mismo tema. Asimismo, tiene como propósito poner de relieve la gran figura histórica del cosmógrafo Hernando Colón.

El nombramiento de la persona elegida es propuesto por los académicos fundadores de la Academia Internacional de Caminería Hispánica, formada por:

- |  |   |
|--|---|
| • D. Juan Manuel Abascal Palazón<br><i>Director de las excavaciones de Segóbriga</i>                   | • D. Manuel Criado de Val<br><i>Presidente de la Asociación Internacional de Caminería</i>                          |
| • D <sup>a</sup> . María Fernanda de Abreu<br><i>Profesora de la Universidad Nova de Lisboa</i>        | • D. Eduardo Garrigues<br><i>Cónsul General de España en Puerto Rico</i>  |
| • D. Martín Almagro Gorbea<br><i>Académico de la Real Academia de la Historia</i>                      | • D. Jean-Paul Le Flem<br><i>Profesor de la Universidad de París IV, en La Sorbona</i>                              |
| • D <sup>a</sup> . Rocío Bastidas<br><i>Profesora de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador</i> | • D. Eric W. Naylor<br><i>Profesor de la Universidad de Sewane</i>  |
| • D. José María Blázquez<br><i>Académico de la Real Academia de la Historia</i>                        | • D <sup>a</sup> . Laura E. Solís Chávez<br><i>Profesora de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo</i> |
| • D. Cristóbal Colón<br><i>Duque de Veragua</i>  |   |

Para este primer premio han sido elegidos la Universidad de París IV La Sorbona, representada por la Directora del departamento D<sup>a</sup>. Araceli Guillaume Alonso, y el profesor D. Jean - Paul Le Flem, también de La Sorbona. ❖

## TEMARIO DEL XII CONGRESO INTERNACIONAL DE CAMINERÍA HISPÁNICA

### TEMARIO GENERAL

- Arqueología y Caminería. Las Calzadas.
- Caminería Hispano - Americana.
- El Arte de Navegar. Su evolución.
- Toponimia y Caminería.
- Legislación y vigilancia viaria.
- Caminería Militar.
- Rutas de Peregrinación. Caminos de Santiago.
- Caminería y Medio Ambiente.
- Caminería Mediterránea.
- Caminería Literaria.

### TEMAS DE ESPECIAL ATENCIÓN EN EL XII CONGRESO INTERNACIONAL DE CAMINERÍA

- Caminería Internacional.
- Caminería Hispano - Italiana.
- Caminería Hispano - Francesa.
- Itinerarios Internacionales.
- Cosmografía: Hernando Colón.
- Caminería en España y América.
- Caminería Portuguesa.
- Aniversario de la edición del Quijote de Avellaneda.
- Situación actual de la investigación del autor del Quijote de Avellaneda.
- Itinerarios de Don Quijote en Cervantes y en Avellaneda.
- Hispanoterm, terminología científica y técnica en español.
- Diccionario de terminología informática.

El temario podrá concretarse con las propuestas de los congresistas dentro del tema general de Caminería.

### NORMAS EN LA PRESENTACIÓN DE LAS COMUNICACIONES

- El tiempo de exposición oral de las comunicaciones será de 15 minutos.
- La extensión máxima de los textos, incluidos gráficos, fotografías, cuadros, apéndices, etc., será de 20 páginas, que deberán ser entregadas a la secretaria del congreso, en PDF o Microsoft Office Word.
- La organización del congreso podrá divulgar esos trabajos, bajo el nombre de sus autores.
- Los cambios que puedan surgir en la presentación de comunicaciones serán avisados en el Orden del Día correspondiente.

Más información en la página web [www.ai-camineria.com](http://www.ai-camineria.com)

# PRIMERAS JORNADAS FIDEX SOBRE INGENIERÍA Y EFICIENCIA

## CALIDAD Y EFICIENCIA EN LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURAS



Inauguración del acto, de izquierda a derecha: D<sup>a</sup>. Liana Ardiles, D. Rafael Catalá Polo, D<sup>a</sup>. Cristina Cifuentes, D. Carlos Espinosa de los Monteros y D. Pedro D. Gómez González.

El pasado día 26 de marzo se celebraron en el salón de actos de la Delegación del Gobierno en Madrid las primeras JORNADAS FIDEX SOBRE INGENIERÍA Y EFICIENCIA, con gran éxito de convocatoria, ya que reunió a altos representantes de múltiples administraciones españolas, tanto central como autonómicas o municipales, y a directivos de empresas y asociaciones del sector de la ingeniería y de la construcción. Todos los presentes tenían una inquietud y un objetivo común: trabajar para que en España se alcancen los más altos niveles

de eficiencia en la inversión en infraestructuras, obteniendo el máximo retorno posible de cada euro que se invierte y garantizando que esa inversión cumplirá su objetivo social a lo largo de todo el plazo de vida de la infraestructura.

### Inauguración

En la inauguración del acto intervinieron D<sup>a</sup>. Cristina Cifuentes, Delegada del Gobierno en la Comunidad de Madrid, D<sup>a</sup>. Liana Ardiles, Directora General del Agua (Ministerio de Agricultura, Alimentación y

Medio Ambiente), D. Rafael Catalá Polo, Secretario de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (Ministerio de Fomento), D. Carlos Espinosa de los Monteros, Alto Comisionado del Gobierno para la Marca España, y D. Pedro D. Gómez González, Presidente de FIDEX. Por su parte, la clausura de la Jornada corrió a cargo de D. Antonio Silván Rodríguez, Consejero de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, y D. Pablo Cavero Martínez de Campos, Consejero de Transportes, Infraestructuras y Vivienda de la Comunidad de Madrid.

## Conclusiones

En el acto de clausura de la Jornada, el Director General de FIDEX, D. Fernando Argüello, procedió a la lectura de las Conclusiones de la Jornada, que resumimos a continuación:

La Consultora McKinsey, con la presentación de su estudio *"Infrastructure productivity: How to save \$1 trillion a year"*, nos ha planteado una serie de medidas necesarias para lograr un ahorro anual del 40% de la inversión en infraestructuras, medidas que se agrupan en tres bloques:

- Una mejor selección de las actuaciones, tanto en lo que se refiere a la decisión de acometer o no acometer una actuación, como en lo referente a la selección de la mejor solución técnica para resolver la necesidad.
- Un mejor y mayor control de todo el proceso creador de las infraestructuras, para evitar desviaciones en coste y en plazo con respecto a las previsiones.
- Un mejor análisis de las infraestructuras existentes para mejorar su aprovechamiento, ya sea mediante labores de conservación y mantenimiento o mediante la búsqueda de nuevas utilidades para infraestructuras obsoletas o infrutilizadas.

Los tres bloques de medidas tienen un factor común: una mayor y mejor utilización de la ingeniería en las fases de planificación, proyecto, ejecución y mantenimiento de las infraestructuras. Esta mayor y mejor utilización de los servicios de ingeniería puede tener un coste del orden del tres o el cinco por ciento del total de la inversión, por lo que de acuerdo con el estudio de McKinsey puede suponer a nivel mundial un ahorro neto en el proceso del 35%.

También McKinsey nos dice que es necesario un compromiso político a favor de la técnica. Las áreas de competencia políticas y técnicas

deben estar claramente separadas, y las decisiones de carácter técnico deben ser tomadas por los técnicos, dentro del marco político y presupuestario establecido por los políticos. El político debe demostrar amplitud de miras y anteponer los intereses del país y las futuras generaciones a intereses más cortoplacistas, respetando los plazos necesarios para que las cosas se hagan bien, sin improvisaciones ni prisas provocadas por el calendario político. Solo así garantizaremos que las cosas se hacen bien, y a su precio justo y necesario. La opinión pública de dentro de diez años sabrá agradecer estas decisiones políticas, porque los ciudadanos no quieren verse de nuevo envueltos en las consecuencias de un excesivo endeudamiento del país, pero sí quieren tener las infraestructuras que necesitan.

Mr. Peter Boswell, con su "Estudio FIDEX-EFCA sobre el Sector de la Ingeniería de Consulta", nos ha dicho que la ingeniería de consulta es una industria clave, responsable

de la concepción, diseño e implementación de las infraestructuras y edificaciones que se necesitan para abordar los desafíos de la humanidad. Y en la actual situación de dificultades económicas, el principal desafío es la eficiencia de las inversiones. El Estudio confirma que el sector está preparado para afrontar sus retos, pero analiza y compara las cifras de inversión en ingeniería de los diferentes países de Europa, con respecto a la inversión global en infraestructuras que se han dado en los últimos años en cada uno de ellos, a partir de datos del observatorio europeo Eurostat.

Aislando las cifras correspondientes a infraestructuras (esto es, obra civil y edificación), del estudio se deduce que la inversión media europea en ingeniería civil supone un 8,4% de su inversión total. Sin embargo, la inversión de España apenas llega al 4,5%, situándonos a niveles similares a Portugal y Polonia, y muy por debajo del resto de los países de Europa, incluidos los de la Europa del Este. Esto



### McKinsey & Company:

"... mayor y mejor utilización de los servicios de ingeniería puede tener un coste del orden del tres o el cinco por ciento del total de la inversión, por lo que puede suponer a nivel mundial un ahorro neto en el proceso del 35%"

### Mr. Peter Boswell:

"... en España se está desaprovechando la enorme capacidad de retorno que tiene la inversión en infraestructuras"



La clausura de la Jornada corrió a cargo del Consejero de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, D. Antonio Silván (izqda.) y del Consejero de Transportes, Infraestructuras y Vivienda de la Comunidad de Madrid, D. Pablo Cavero (dcha.).

puede suponer un serio *"handicap"* para garantizar el acierto en la inversión.

Por tanto, es necesario hacer ver a los distintos actores implicados en la creación de infraestructuras que es imprescindible aproximarse al resto de países europeos en cuanto a porcentaje de inversión en ingeniería, puesto que en España se está desaprovechando la enorme capacidad de retorno que tiene dicha inversión. Debemos premiar la compra de ingeniería innovadora.

Las empresas españolas de ingeniería se sitúan a la cabeza del mundo en lo que se refiere a nivel tecnológico y capacidad técnica. Los enormes logros alcanzados por el desarrollo de las infraestructuras en España en el período 1990-2010 han permitido la formación de un sector de la ingeniería civil con un enorme potencial, lo que ha favorecido la expansión de la ingeniería española por países de los cinco continentes. Las ingenierías españolas son responsables del diseño y control de ejecución de muchas de las mayores y más sorprendentes infraestructuras del mundo, contribuyendo así al desarrollo social y económico de más de cien países en todo el

mundo. Sin embargo, es precisamente ahora y en nuestro propio país donde menos se aprovecha el potencial de nuestros profesionales, invirtiendo en ingeniería porcentajes muy inferiores a los necesarios, y sufriendo numerosas e importantes incidencias en la ejecución de las obras que pueden provocar notables desviaciones en precio y plazo.

**Las ingenierías españolas son responsables del diseño y control de ejecución de muchas de las mayores y más sorprendentes infraestructuras del mundo, contribuyendo así al desarrollo social y económico de más de cien países en todo el mundo**

Reclamemos a la clase política una mayor implicación con el largo plazo. "Pensar antes de actuar". Y la capacidad de "pensar" a nivel técnico es el gran potencial de las empresas españolas de ingeniería. La mitad de los países del mundo ya lo saben; hagámoslo saber también a los españoles, y logremos que un sector que está dotando a la Marca España de contenido tecnológico e imagen avanzada sea capaz también de contribuir a alcanzar la máxima eficiencia posible en las inversiones en nuestro país. El FORO PARA LA INGENIERÍA DE EXCELENCIA (FIDEX) entiende que para garantizar esta eficiencia, el proceso de Planificación, Proyecto, Control de Ejecución y Gestión de la Conservación debe estar controlado por la Administración, siempre apoyada en equipos multidisciplinares y experimentados que, con ambición de máxima calidad y espíritu de servicio público, tengan la capacidad técnica necesaria para garantizar un óptimo resultado social en el proceso inversor. Y esta actitud solo puede tener un nombre: EXCELENCIA. ❖

# XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014

La Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC) celebró del 4 al 7 de febrero de 2014 el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal en Andorra. Es la primera vez que este país acoge un evento de estas características, que registró más de 3.000 participantes. Durante cuatro días, el Centro de Congresos de la capital, Andorra la Vella, y su recinto ferial, que albergó una Exposición y varias Sesiones de Póster sobre las novedades del sector, se convirtieron en el foro donde los profesionales de la vialidad invernal de todo el mundo intercambiaron experiencias. Este evento internacional, celebrado cada cuatro años en algún país miembro de la AIPCR, se centró esta vez en la gestión invernal en tiempos de contención presupuestaria y los efectos del cambio climático. Las visitas técnicas y el Campeonato Internacional de Máquinas Quita-nieves completaron el programa del Congreso.



D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Rosa Ferrer, Cónsul Mayor de Andorra la Vella; D. Antoni Martí, Jefe del Gobierno de Andorra y D. Óscar de Buen, Presidente de la Asociación Mundial de la Carretera, durante el acto de inauguración del XIV Congreso Internacional de Andorra la Vella.

La Redacción/Andorra

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

Andorra la Vella se convirtió por primera vez en el centro de la vialidad invernal, del 4 al 7 de febrero del 2014, al acoger el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC).

La AIPCR organiza estos Congresos cada cuatro años, desde 1969, en algún

país miembro de la Asociación y reúne a expertos en vialidad invernal de todo el mundo, de tal manera que puedan intercambiar conocimientos y experiencias. Canadá (Québec - 2010), Italia (Turín - Sestriere - 2006) y Japón (Sapporo 2002) fueron las sedes de los últimos Congresos Internacionales de Vialidad Invernal. En esta ocasión, se registraron

más de 3.000 participantes (de éstos, 924 eran congresistas y 2.900 visitaron la exposición, según datos de la Secretaría Técnica del Congreso). Este evento internacional, que giraba en torno a la gestión invernal en tiempos de contención presupuestaria y los efectos del cambio climático, se desarrolló principalmente en dos espacios: el Centro de Congresos de Andorra la Vella, que acogió las Sesiones Técnicas, y un recinto ferial de 4.500 metros cuadrados, donde se celebraron la Exposición y las Sesiones de Pósters. Durante las Sesiones Técnicas y las Sesiones de Póster se expusieron más de cien conferencias, en las que sus autores - expertos profesionales de vialidad invernal, tanto del ámbito público como privado-, plasmaron los aspectos, políticas o estrategias nacionales de la vialidad invernal en sus respectivos países.

Muchos de los temas tratados en las Sesiones Técnicas se expusieron también en las Sesiones de Póster, pero en éstas, tanto ponentes como asistentes



Centro de Congresos de Andorra la Vella.



La Ministra de Fomento, D<sup>a</sup>. Ana Pastor (izqda.), el Ministro de Economía y Territorio de Andorra, D. Jordi Alcobé (centro) y el Viceministro de Transporte de Corea del Sur, Mr. Hyung Koo Yeo, en la Sesión Plenaria del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de Andorra 2014.

podieron relacionarse de una manera más interactiva con el apoyo de paneles informativos.

Todas las Sesiones Técnicas y de Póster se articularon en torno a estos ocho bloques temáticos: "Servicios invernales y cambio climático", "Servicios de invierno en un contexto de contención presupuestaria", "Eventos extremos en época invernal", "Gestión de la vialidad invernal", "Enfoque operacional, equipamientos y productos", "El usuario de la vía en condiciones invernales", "Túneles de carretera en condiciones invernales" y "Puentes de Carretera en condiciones invernales".

La Exposición, con más de cien marcas representadas y 64 empresas presentes, se dividió en tres partes: por un lado, los *stands* de los Comités Nacionales de la AIPCR (las organizaciones constituidas en algunos países miembros de la AIPCR, que representan a la Asociación Mundial de la Carretera), entre los que se encontraba el pabellón nacional de España, que inauguró la Ministra de Fomento, Ana Pastor; por otro, las empresas dedicadas al sector de la conservación; y por último, un espacio dedicado a la exhibición de maquinaria.

## Inauguración

Antoni Martí, Jefe de Gobierno de Andorra, junto con el Presidente de la

Asociación Mundial de la Carretera y Vicepresidente del Comité de Honor del Congreso, Óscar de Buen, y la Cónsul Mayor de Andorra la Vella, Rosa Ferrer, inauguraron el XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal el 4 de febrero.

Antoni Martí comentó en este primer acto, previo al comienzo del Congreso, cómo la nieve y su vinculación con las carreteras han marcado el progreso y la modernidad del Principado de Andorra: "Los andorranos han sabido sacar partido de la nieve y de la situación privilegiada de Andorra en el corazón de los Pirineos", afirmó. Por su parte, Óscar de Buen comentó la oportunidad que supone comprobar los múltiples retos que el clima y el medio ambiente natural plantean a la Administración de Carreteras del Principado de Andorra, en especial durante el invierno, y la posibilidad de conocer la forma en que ésta se ha organizado para superarlos y contribuir al crecimiento de la sociedad y la economía del país a lo largo de todo el año.

Antes de terminar su intervención y agradecer a las autoridades andorranas y al Comité Organizador del Congreso su labor, Óscar de Buen dedicó unas palabras para recordar a Esteve Comes, Director de Ordenamiento Territorial del Gobierno de Andorra, Primer Delegado de Andorra de la Asociación Mundial de la Carretera y Vicepresidente del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal, que falleció el año pasado.

Tras la inauguración del Congreso, Antoni Martí, Óscar de Buen y Rosa Ferrer, acompañados del Ministro de Economía y Territorio, Jordi Alcobé, inauguraron la Exposición mientras que en la Plaza del Pueblo de Andorra la Vella, donde se encuentra el Centro de Congresos de la capital del Principado, tenía lugar un espectáculo de danza, que formaba parte de la ceremonia de apertura.

Óscar de Buen compareció ante los medios de comunicación, congregados en la Exposición Técnica del Congreso, y puso de manifiesto la excelente gestión que lleva a cabo el Principado de Andorra, en el desarrollo de las actividades relacionadas con la vialidad invernal, así como su rápida respuesta ante las dificultades que presenta un clima tan adverso.

En cuanto al Congreso, el Presidente de la Asociación Mundial de la Carretera, señaló que constituye un punto de encuentro para realizar un intercambio de conocimientos y experiencias entre aquellos países que presentan una problemática similar.

## Garantizar la seguridad

El Centro de Congresos de la capital andorrana, celebró una Sesión Plenaria, que estuvo formada por dos mesas redondas. En la primera de éstas participaron la Directora



Sesión Técnica "Reducir los costes", presidida por el Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, D. Roberto Alberola (izqda.). A la derecha, le acompaña en la mesa Mr. Pertti Nurmi, Copresidente del Standing International Weather Commission (SIRWEC), en Finlandia.



Exposición del Congreso Internacional de Vialidad Invernal de la AIPCR en el recinto ferial de Andorra la Vella.

La Ministra de Fomento afirmó que hablar de vialidad invernal es hablar de seguridad, por ello, dijo que aun en momentos de crisis *"esto debe ser prioritario"*

## Sesiones Técnicas

Durante los cuatro días que duró el Congreso, se celebraron 152 Sesiones Técnicas en el Centro de Congresos de la capital de Andorra, organizadas en Mesas Redondas, en función de su temática. En estas sesiones y a lo largo del Congreso los idiomas oficiales fueron español, inglés y francés.

El Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, Roberto Alberola, presidió la Sesión Técnica "Reducir los Costes", perteneciente al tema genérico del Congreso "Servicios de invierno en un contexto de contención presupuestaria". Roberto Alberola presentó a los conferenciantes entre los que se encontraba Enrique Soler (Getinsa), quien expuso la ponencia titulada "Vialidad invernal eficiente para un contexto presupuestario restringido". Esta conferencia, en la que el ponente hablaba sobre la situación económica actual en España y su influencia en la reducción de inversión en el sector de las carreteras, fue elegida la mejor por los asistentes al Congreso.

Ese mismo día, en otra sala, también se celebraron otras Sesiones Técnicas: "Sobre vialidad invernal y cambio climático", presidida por Pertti Nurmi, Copresidente de SIRWEC (*Standing International Road Weather Commission*), en Finlandia; la Sesión Técnica "Gestión de episodios extremos", dentro del bloque "Eventos extremos en época invernal", presidido por el Director francés de las Infraestructuras de Transporte, Christophe Saintillan; y "Seguimiento de los resultados", perteneciente al

de Infraestructuras y Tecnologías de Quebec y expresidenta de la AIPCR, Anne-Marie Leclerc; la Directora de Conservación de Carreteras de Finlandia, Jukka Karjalainen; el Director de Infraestructuras de Transporte de Francia, Christophe Saintillan, y el Consejero Especial del Ministro de la Ordenación del Territorio de Japón, Shigeru Kikukawa. Los miembros de esta mesa redonda debatieron sobre el cambio climático y los eventos extremos.

La siguiente mesa redonda estuvo formada por el Ministro de Economía y Territorio de Andorra, Jordi Alcobé, la Ministra de Fomento de España, Ana Pastor, y el Viceministro de Transporte de Corea del Sur, Hyung Koo Yeo, quienes comentaron la optimización del servicio invernal como respuesta a las expectativas de los usuarios. En concreto, la Ministra Ana Pastor habló de los pilares en

que se basan las actuaciones de vialidad invernal en España, es decir, explicó la importancia de protocolizar esas actuaciones o tener un plan de acción preparado, que comienza con la prevención. Además, destacó la necesidad de contar en estos casos con personal formado y un presupuesto que permita tener maquinaria actualizada. Aparte, destacó la calidad de las infraestructuras españolas que facilitan la labor. Asimismo, la Ministra de Fomento afirmó que hablar de vialidad invernal es hablar de seguridad, por ello, dijo que aun en momentos de crisis *"esto debe ser prioritario"*.

Como conclusión, en este debate se puso de manifiesto la necesidad de mejorar la coordinación y la comunicación entre todos los profesionales implicados en la vialidad invernal, para que los usuarios disfruten siempre de la máxima seguridad en carretera.



bloque temático de "Gestión de la vialidad invernal", presidida por la Viceministra Adjunta del Ministerio de Transportes de Canadá – Québec, y ex-presidenta de la AIPCR, Anne – Marie Leclerc. La última Sesión Técnica del 4 de febrero, "Impactos de los productos antihielo", formaba parte del bloque temático "Enfoque operacional, equipamientos y productos" y estuvo presidida por Didier Giloppé, Presidente del Comité Técnico de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera.

El miércoles 5 de febrero continuaron las Sesiones Técnicas, y entre los ponentes españoles destacó Luis Azcue (Presidente del Comité Técnico de Vialidad Invernal de la Asociación Técnica de Carreteras), quien presentó la conferencia "Correcciones en tiempo real y procesamiento de la información en los sistemas de ayuda a la toma de decisiones en vialidad invernal", perteneciente al bloque "Gestión de la vialidad invernal".

Luis Azcue comentó a *RUTAS* cómo fue su experiencia en este evento internacional, tanto como ponente como asistente: *"Me pareció que el Congreso estaba muy bien, hemos tenido una importante representación española, tanto en lo que se refiere a congresistas como a ponentes. Hemos tenido una representación sobre el 10% del total. El nivel ha sido muy alto y además ha habido novedades: se han planteado temas de otros Comités, como era el Comité de Túneles y el Comité de Puentes. Es decir, yo creo que ha sido un éxito tanto desde el punto de vista de la participación como de nivel técnico"*.

El jueves 6 fue notable la presencia española en las Sesiones Técnicas. Dentro del bloque temático "Gestión de la vialidad invernal", la Subdirectora General de Conservación, Carmen Sánchez Sanz, presentó la ponencia "Estrategias preventivas del mantenimiento invernal en las carreteras de la red del estado español", que formó parte de la mesa redonda "Estrategias", en la que habló sobre la gestión de la vialidad invernal aplicada a las características de las carreteras españolas,



La Ministra de Fomento, D<sup>a</sup>. Ana Pastor, visita el pabellón de España en la Exposición del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de Andorra la Vella, acompañada, entre otros, por el Director General de Carreteras, D. Jorge Urrecho Corrales.

en las que se tienen en cuenta las condiciones meteorológicas de este país así como los tratamientos antihielo menos contaminantes. El Director General de Carreteras, Jorge Urrecho Corrales, presidió más tarde la Sesión "Estudios de Casos".

Por su parte, Pablo Sáez (Director Gerente de la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras, ACEX) intervino con la ponencia "Hacia la versión 2.0 de los sistemas de gestión del mantenimiento invernal". Ésta formaba parte de la mesa redonda que presidió el Director General de Infraestructuras de Movilidad Terrestre de Cataluña, Xavier Flores. Pablo Sáez explicó a esta revista que su conferencia es una línea de investigación que tiende a minimizar los costes a base de mejorar el conocimiento de las previsiones meteorológicas de carácter puntual y de mejorar

el conocimiento del estado previo de la carretera.

Dentro del mismo bloque, Vicente Vilanova (Ministerio de Fomento) Presidente del Comité Técnico Conservación y Gestión de la Asociación Técnica de Carreteras, presidió la mesa "Fricción".

También, Álvaro Navareño (Ministerio de Fomento), participó con la ponencia "Estudio del deterioro de varias cubiertas de puentes de hormigón en zonas de mantenimiento invernal intenso", que contenía los resultados detallados de las quince inspecciones especiales de puentes realizadas sobre la red nacional de carreteras de España, en la Sesión Técnica "Mantenimiento de puentes de carretera en condiciones invernales".

Gonzalo Arias Hofman, Director del Departamento de Ingeniería de Explotación y Conservación (INES Ingenieros) y



D. Jordi Alcobé, Ministro de Economía y Territorio de Andorra y Mrs. Anne - Marie Leclerc pasean por la Exposición del XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal Andorra 2014.



D. Luis Azcue (Presidente del Comité Técnico de Vialidad Invernal de la ATC) habla con D. Pablo Sáez (Director Gerente de ACEX).



El Área de Conservación y Explotación de Carreteras (COEX) expuso algunas de sus máquinas quitanieves por la ciudad, desde la frontera hispanoandorrana hasta Grau Roig.

Secretario del Comité de Puentes de la ATC expuso la conferencia "Protección por fases frente a la degradación de una estructura en Andorra por uso de sales de deshielo", dentro de la Sesión Técnica "Impacto de la sal antihielo en los puentes y métodos de protección".

El último día, Ignacio del Rey, Presidente del Comité Técnico de Explotación de Túneles Carreteras (3.3) de la AIPCR, y Responsable del Grupo de Seguridad en Túneles en el Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica (CEMIM), presidió la Sesión Técnica "Túneles de Carreteras en condiciones invernales", correspondiente al bloque temático homónimo. En ella, participaba Rafael López Guarga, Jefe de la Demarcación de Carreteras de Aragón, con la conferencia "Los túneles de carretera durante el invierno. Problemática de mantenimiento y explotación".

Precisamente el Comité Técnico que preside Ignacio del Rey y el Comité de Puentes de Carreteras (4.3) de la

AIPCR también celebraron reuniones durante este Congreso. Como apuntó David Palmitjavila, Vicepresidente del Comité Organizador del Congreso, el hecho de abrir el Congreso a túneles y a puentes fue una de las causas por las que estaba siendo un éxito de asistencia.

## Visitas técnicas y Campeonato Internacional de Quitanieves

Los asistentes al Congreso pudieron visitar el Centro Nacional de Tráfico de Andorra, compuesto por el Centro de Información y Gestión del Tráfico y por el Centro de Control de Túneles, que controla la red vial del país. Además de ésta, se programaron otras visitas al Túnel de Envalira, uno de los túneles más grandes de Europa, situado a 2.050 metros de altitud; al Túnel del Pont Pla, en el centro urbano, que fue valorado en el 2008 como el más seguro de Euro-

pa, según el programa Euro Tap, así como el Funicamp, que conecta la población de Encamp con las pistas de esquí a 2.502 metros de altitud. Por último, el Dique de Arinsal también formó parte de las visitas técnicas. Se trata de una infraestructura para la prevención y control de aludes. Otra de las actividades de este Congreso de Vialidad Invernal fue el Campeonato Internacional de Conductores de Máquinas Quitanieves y demostración de maquinaria en el circuito de Grandvalira (en el puerto de Envalira a 2.200 metros de altitud). Diez participantes procedentes de seis países diferentes disputaron unas pruebas previas el martes pero en la gran final del miércoles se enfrentaron a un recorrido con giros, paradas y obstáculos. Los ganadores del concurso fueron Bertran Lestang (Andorra) que quedó en primera posición, seguido de Jonathan Díaz (Andorra) y Pierre Theninge (Francia), en tercer lugar.

El viernes 7 de febrero de 2014 tuvo lugar la clausura de este evento que puso punto y final a un amplio programa técnico y cultural, centrado en la vialidad invernal. Este último acto contó con la presencia de Jordi Alcobé, Óscar de Buen, Ignacio del Rey, Satoshi Kashima, Presidente del Comité Técnico 4.3 de la AIPCR, Jean-François Corté (Secretario General de la AIPCR) y los Primeros Delegados de Polonia y Corea. La próxima cita será en 2018, en Gdansk, Polonia. ❖

# Entrega de diplomas a la promoción de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del curso 2012 -2013

El tradicional acto académico de entrega de diplomas, que todos los años se celebra en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, contó con la presencia de la Ministra de Fomento, Ana Pastor, quien lo presidió, junto con el Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, Carlos Conde, y el Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, Francisco Javier Martín Carrasco. Tanto el Director de la Escuela como el Rector reivindicaron en este evento la habilitación del nivel académico de Máster en el extranjero para los Ingenieros de Caminos.



D<sup>a</sup>. Ana Pastor preside el acto de entrega de diplomas a la promoción de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del curso 2012 - 2013 junto al Rector de la UPM (a su derecha), el Director de la ETSICCP (a su izqda.) y Juan Antonio Santamera, Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, entre otras autoridades académicas.

La Redacción/Madrid.

La Ministra de Fomento, Ana Pastor, participó en el acto de entrega de diplomas a los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del curso 2012 - 2013, que tuvo lugar el pasado 17 de febrero de 2014.

Junto con Ana Pastor, el acto estuvo presidido por el Rector de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Carlos Conde, y el Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid, Francisco Javier Martín Carrasco, que estuvieron acompañados por otras autoridades académicas. La titular de Fomento entregó el diploma al número uno de la promoción, Pablo del Pozo Arán, quien pronunció el discurso para todo el auditorio, donde se encontraban desde alumnos y profesores hasta el Secretario General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Manuel Niño, junto a los cargos directivos de las empresas más importantes del sector.

En la elocución que Pablo del Pozo dirigió a sus compañeros de promoción,

profesores y, en especial, a la Ministra de Fomento destacó: *“Estos jóvenes son un activo muy valioso de nuestro país y no podemos permitirnos que lo abandonen sin billete de vuelta. Por eso, créame que confío que usted irá más allá de las buenas palabras, que promoverá nuevas y planificadas infraestructuras y, lo que es más importante, el correcto mantenimiento de las que hoy tenemos, porque eso nos puede ayudar a mantener a estos chicos entre nosotros”*.

## Título de Máster

El Director de la ETSICCP también se dirigió a Ana Pastor y le manifestó su preocupación sobre la situación actual de los Ingenieros de Caminos: *“Quiero pedirle que siga intercediendo para conseguir el reconocimiento del nivel de Máster para nuestros titulados. Tras haber pasado por seis años de durísimos estudios, estos Ingenieros y todos los que les han precedido no pueden acreditar en el exterior que su nivel académico es de Máster”*.

A continuación, tomó la palabra la Ministra de Fomento y tras felicitar a los recién graduados aseguró que recogía

la petición de Pablo del Pozo Arán, y como respuesta a sus palabras, afirmó: *“Lo más importante es que los recursos públicos de todos los españoles se destinen a las prioridades de la sociedad, y además se haga con rigor, se pague lo que se debe y se consiga que todos los españoles tengan las mismas oportunidades, también en infraestructuras y en transporte en nuestro país”*.

A estas palabras, Ana Pastor añadió que compartía con todos ellos el esfuerzo que se está haciendo para que salga adelante la habilitación de Máster. Para finalizar, recordó que España es líder en Ingeniería Civil porque cuenta con el mejor capital humano. No es casual por tanto que seis de los diez principales grupos empresariales que lideran el mercado sean españoles y que las concesionarias españolas gestionen el 40% de las infraestructuras del transporte en todo el mundo.

Cerró el acto el Rector de la UPM, Carlos Conde, quien también lamentó que aún no se haya reconocido la equivalencia de Máster en el extranjero y animó a los nuevos Ingenieros a seguir esforzándose y ser creativos en el contexto económico actual, porque es la forma como se sale de las crisis económicas, según indicó. En este acto académico se entregaron también diplomas a la segunda promoción de los titulados en el grado de Ingeniería de Materiales, a varios alumnos que habían obtenido el título de Máster y a los que fueron premiados por los mejores proyectos fin de carrera, tesis y expedientes académicos. ❖

# Juan Antonio Santamera defiende la colegiación universal en el Senado

El Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Juan Antonio Santamera, compareció el pasado 12 de marzo de 2014 en el Senado, para informar sobre la posición del Colegio ante el Anteproyecto de Ley de Servicios y Colegios Profesionales.

Colegio de Caminos Canales y Puertos / Madrid.

En su intervención en el Senado, el pasado 12 de marzo de 2014, el Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Juan Antonio Santamera, puso de manifiesto la necesidad de colegiación, para asegurar el correcto ejercicio de una profesión regulada como es la Ingeniería de Caminos, por el bien de la sociedad y la seguridad de personas y bienes. Juan Antonio Santamera defendió la colegiación universal para toda la profesión, incluido los funcionarios públicos y personal al servicio de las Administraciones Públicas.

El anteproyecto, aprobado inicialmente por el Gobierno, no contempla la colegiación obligatoria de todos los profesionales intervinientes en el proceso de diseño, proyecto, construcción, mantenimiento, explotación y concesión de obras de ingeniería, públicas o civiles. Sin embargo, en tal proceso pueden participar muchos profesionales que realizan actos facultativos, toman decisiones técnicas de relevancia y con posible repercusión en la seguridad de las personas y el medio ambiente, que quedarían fuera de la obligación de colegiarse y fuera del control deontológico de la profesión.

Por otra parte, el anteproyecto deja fuera a los funcionarios y personal al servicio de las Administraciones Públicas, aún cuando, como sucede con las profesiones sanitarias, los actos facultativos de los Ingenieros de Caminos pueden tener trascendencia directa en los ciudadanos, en su integridad y la seguridad de sus bienes y en el medio ambiente.

## Atribuciones de actividad

Según el Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos debe haber una regulación de atribuciones de actividad, unas exclusivas y otras compartidas, que esté destinada a garantizar la seguridad de los ciudadanos, así como la calidad y competitividad de los proyectos, lo que genera un evidente beneficio económico en la propia construcción de las obras y en su conservación y explotación.

El Colegio considera que es preciso preservar la atribución de actividad a los Ingenieros de Caminos en, al menos, carreteras e infraestructuras de transporte, presas y obras hidráulicas, puentes, estructuras y obras subterráneas, costas, puertos y obras marítimas. Y para que estas actividades se realicen con garantías de plena seguridad para el medio ambiente, las personas y sus bienes, sólo es posible que se hagan después de adquirir unos conocimientos que sólo se consiguen con la formación que habilita para el ejercicio de la profesión regulada de los Ingenieros de Caminos.

## Visado para los proyectos y direcciones de obras civiles

Para el Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Juan Antonio Santamera, se deben actualizar los criterios para establecer el visado obligatorio, incluyendo no sólo los de integridad física y seguridad, sino otros conceptos, de especial interés general como el medio ambiente, así como reparar el olvido del Gobierno respecto al visado de proyectos y direcciones de obras civiles. En opinión de Juan Antonio Santamera los trabajos de

construcción e ingeniería civil que son de competencia de los Ingenieros de Caminos debían de haber sido incluidos en la relación del artículo 2 del Real Decreto 1000/2010 sobre visado colegial obligatorio, que no los contempló en su redacción final.

Juan Antonio Santamera recordó la llamada de atención del Consejo de Estado sobre el hecho de que los trabajos de construcción de obra pública o civil deberían de estar sometidos a visado. Por ello, se propone una Disposición Adicional que repare la omisión del Real Decreto regulador del visado colegial obligatorio y establezca que *"serán objeto de visado colegial obligatorio los proyectos y direcciones de obras civiles"*.

## Seguro de responsabilidad civil

En vez de remitirlo a otra legislación, que en algunos casos es inexistente, el Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos entiende que la regulación completa de los servicios profesionales requiere exigir un seguro en aquellas actividades que tengan incidencia en la seguridad o integridad de las personas o el medio ambiente. Por ello, debe exigirse, para seguridad de los ciudadanos y de las Administraciones, un seguro de responsabilidad civil en aquellas actividades sujetas a colegiación obligatoria.

Por otro lado, el senador Manuel Altava anunció que el grupo de trabajo de senadores va a hacer un seguimiento de la evolución del proyecto normativo, todavía no aprobado por el Gobierno tras el Dictamen del Consejo de Estado, y estudiará las posibles enmiendas que, en su momento, se puedan introducir. ❖

# La ATC convoca el III Premio Jóvenes Profesionales

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

## BASES DEL PREMIO

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

Se entregará un diploma y el premio estará dotado con una gratificación económica de 5.000€, una afiliación gratuita durante un año a la Asociación Técnica de Carreteras y la publicación del trabajo en la Revista **RUTAS**. El Jurado podrá declararlo desierto o repartir el premio entre varios aspirantes al mismo.

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

Los trabajos deberán estar realizados por un único autor y serán inéditos, es decir, no habrán sido previamente publicados ni presentados a otras convocatorias de premios. Respecto al tamaño, no excederán de 8.000 palabras ni de 20 páginas, incluyendo fotos, gráficos y dibujos.

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

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

## Jurado

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

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

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

**Los trabajos de los candidatos deberán presentarse antes del 1 de octubre del año en curso, en la Secretaría de la Asociación Técnica de Carreteras**

## Entrega del Premio

El fallo del Jurado se comunicará a todos los participantes durante el periodo comprendido dentro de los **últimos diez días del mes de noviembre**; y la entrega del premio se realizará coincidiendo con la fecha en la que se celebre la Junta Directiva de la ATC, correspondiente al mes de diciembre de 2014.

# NUEVAS HERRAMIENTAS DEL SIGLO XXI APLICADAS A LA CONSERVACIÓN DE REDES DE CARRETERAS



**D**urante estos primeros años del siglo XXI se han producido grandes modificaciones en las técnicas utilizadas para la obtención de información topográfica en general y, en nuestro caso en particular, en la forma de obtener información relacionada con las carreteras y su entorno.

Entre las herramientas que se están incorporando a proyectos de explotación y gestión de redes de carreteras en los últimos años se encuentran aquellas basadas en nuevos sensores como son los siguientes:

- Sistemas autónomos de obtención de imágenes aéreas sincronizados con datos de posicionamiento GNSS (GPS, GLONASS) instalados en equipos aéreos no tripulados (UAV o UAS de su acrónimo inglés: *Unmanned Aerial Vehicle* o *Unmanned Aerial System*), que permiten obtener como resultado ortofotografías y modelos tridimensionales de infraestructuras lineales y su entorno.
- Equipos denominados de "*mobile mapping*" que basándose en equipos GNSS con apoyo de unidades inerciales (IMU) y de sensores tanto de adquisición de imágenes de la carretera como de adquisición de nubes de puntos (sensores LIDAR) permiten obtener con

un alto rendimiento y un coste asumible gran cantidad de datos georreferenciados de la situación real de las carreteras y su entorno.

Los sensores utilizados en este tipo de equipos han sido históricamente utilizados en equipos de toma de datos aéreos pero generalmente asociados a proyectos de producción cartográfica de alto coste.

La evolución de la tecnología, reduciendo su coste y aumentando su disponibilidad, ha permitido crear un nuevo escenario con el uso de nuevas herramientas, que potencian las posibilidades de adquisición y gestión de la información relacionada con la carretera y su entorno.

Estos sistemas permiten tener un conocimiento más detallado de las infraestructuras, generando conocimiento que puede emplearse para optimizar el desarrollo y la conservación de nuestras redes de carreteras basándose en información técnica de su situación.

Así, donde antes se utilizaban trabajos de fotogrametría aérea apoyados con técnicas de topografía "convencional" terrestre (para la toma de datos de detalle en campo) para obtener planos con las características de las infraestructuras (con el elevado coste de estos trabajos), ahora se dispone de nuevas

herramientas que permiten disponer de una información mucho más detallada sobre la geometría de las carreteras y su entorno de una manera más ágil, flexible y con un coste mucho más asumible.

En este artículo vamos a tratar la experiencia de los autores en el uso y aplicación de algunas de estas tecnologías, en concreto el uso de un sistema UAV dotado de un sistema de adquisición de imágenes. Veremos cómo los responsables de la conservación de una infraestructura vial pueden disponer de una información detallada y actualizada del estado de la infraestructura mediante la obtención de ortoimágenes y modelos tridimensionales de la infraestructura que deben conservar.

Se trata de presentar cómo sistemas UAV pueden plantearse como alternativas razonables frente a otros más clásicos de fotogrametría aérea que utilizan de manera combinada sistemas de adquisición de imagen, equipos LIDAR aéreo y sistemas de navegación GNSS. Sin pretender ser su sustituto, pero sí una alternativa cuando las necesidades del proyecto se adaptan a las especificaciones alcanzables con un sistema como el presentado (basado únicamente en adquisición de imágenes y sistemas de navegación básicos).



### ¿Qué es un UAV?

Un UAV es un vehículo aéreo no tripulado (por sus siglas en inglés *Unmanned Aerial Vehicle*). No se trata de vehículos totalmente autónomos, sino que como bien refleja su nomenclatura inglesa son vehículos que vuelan sin la presencia a bordo del hombre, es decir, controlados de forma remota por el hombre ya sea mediante el pilotaje asistido o mediante la preconfiguración de un plan de vuelo. Esta última es una de sus características fundamentales ya que pueden realizar gran parte de su trabajo de manera autónoma de acuerdo a una planificación previa del vuelo a realizar.

Como una gran proporción de avances científicos y técnicos, los UAV tienen un origen militar (en general se ha usado el nombre dron asociado a este tipo de equipos cuando se han utilizado en labores militares, estando más extendida la nomenclatura UAV para aquellos equipos destinados al uso civil). Las primeras necesidades para contar con estos aviones

no tripulados surgieron tras la primera guerra mundial, cuando con la tecnología existente se empezó a hacer volar aparatos sin ningún ser humano a bordo. Este hecho fue permitiendo cada vez mayor número de actividades sobre el cielo enemigo, ya fuera para sobrevolar líneas enemigas, para labores de vigilancia, para lanzar artefactos explosivos o para ser utilizados como señuelos sin poner en riesgo vidas del propio bando. El caso es que el uso y evolución de los UAV siempre estuvo ligado al ámbito militar hasta hace relativamente poco. La electrónica ha ido permitiendo que estos vehículos aéreos no tripulados hayan ido reduciendo sus dimensiones para ofrecer otro tipo de prestaciones e integrar en ellos sistemas tecnológicos aplicables a usos no militares.

### ¿Por qué un UAV para conservación de carreteras?

Aunque parezca mentira, para dar respuesta a esta pregunta desde Alauda nos costó varios meses de

análisis del mercado, una gran cantidad de reuniones con proveedores del servicio y con fabricantes y, fundamentalmente, tener un cliente en Perú con el ánimo de marcar la diferencia en la conservación de carreteras.

Esto último fue el hecho diferencial, ya que gracias a ese impulso y al reto singular que suponen las carreteras en Perú emprendimos esta línea de desarrollo. Alvac acababa de firmar su primer contrato de conservación en el país andino en consorcio con Johesa, una empresa local. El recién formado consorcio decidió hacer un estudio de las necesidades para implantar un sistema de conservación según el alto estándar de calidad que ambas empresas han mantenido desde su fundación y que permitiera aplicar el *expertise* de Alvac con 30 años de excelencia en la conservación de carreteras. Se barajó la posibilidad de realizar un vuelo fotogramétrico convencional con el que disponer de información cartográfica de base con la situación actual de la infraestructura a conservar.

Alauda como asistencia técnica del consorcio participó en la búsqueda de una solución para esta necesidad de obtención de cartografía de base. Para ello se contactó con las pocas empresas locales, resultando la mejor opción la realización de un vuelo programado durante el año 2013 (no realizado ex profeso para este contrato) con el siguiente equipamiento:

- Cinco aviones bimotor (Dos Cessna 441 "Conquest", un Piper Chieftain PA31-350 y dos Cessna T310).
- Cuatro cámaras digitales Leica métricas (Dos ADS-40/80, una RCD-30 y dos RCD-105).
- Cuatro sensores LIDAR aerotransportados (Un ALS-70, dos ALS-60 y un ALS-SOII) y treinta equipos GPS Trimble (R-7) de doble frecuencia.
- Más de 15 estaciones de edición 3D para sus proyectos de restitución digital y edición láser.

La resolución ofertada era de un píxel, 50 cm de promedio. Sin embargo, el presupuesto ofertado quedaba absolutamente fuera de las posibilidades del contrato y la precisión y calidad del trabajo no se terminaba de adaptar a lo requerido.

La utilización de técnicas convencionales de obtención de cartografía no parecían asumibles para las necesidades del proyecto, y se pensó en una solución más flexible y que permitiera realizar los trabajos adaptándose a las necesidades reales del proyecto.

Es conveniente destacar que la conservación de carreteras en Perú tiene algunos problemas derivados de las particularidades del país que todavía no se han conseguido resolver. Por un lado, la inestabilidad de sus taludes, provocada en gran medida por el hecho de disponer de desniveles de 4.000 m en corredores viales con climas de enorme variabilidad (oscila entre un clima semicálido muy seco con precipitaciones anuales inferiores a 150 mm

### Un UAV llamado Mateo

El UAV con el que vuela Alauda se llama Mateo, y se llama así porque Mateo es un niño madrileño de 10 meses con una gran sonrisa y la cabeza bien alta. Mateo simboliza la esperanza de una familia y de una gran movilización social para conseguir concienciar sobre la donación de médula ósea. Porque Mateo nació con leucemia y necesita un trasplante para seguir viviendo, necesita fórmulas innovadoras en el campo de la medicina. Desde Alauda se quiere contribuir simbólicamente a la concienciación sobre la importancia de hacerse donante. Las células de Mateo no se reproducen adecuadamente y por eso necesita un donante cuya sangre sea compatible con la suya. España es líder mundial en donación de órganos, pero no así en donación de médula. Lo que la familia de Mateo está consiguiendo movilizando a tantas y tantas personas famosas tiene un valor incalculable, porque la vida de una sola persona ya es incuantificable. Miles y miles de personas han decidido hacerse donantes después de ver esa sonrisa, y unos pocos han sido ya llamados para donar parte de su médula, por increíble que pueda parecer. En su web ([www.medulaparamateo.com](http://www.medulaparamateo.com)) lo explican todo, la médula ósea no tiene nada que ver con la médula espinal, y la donación puede suponer regalar una vida. Con esa idea en la cabeza, la de poder contribuir a difundir la causa de Mateo y todos los Mateos del mundo surgió la idea de bautizar el UX5 de Alauda con su nombre, para que allá donde vuele, por muy alto y lejos que sea de Madrid, difunda el mensaje positivo de la esperanza en la vida.

### Especificaciones Técnicas

Este UAV funciona de forma automática, mediante un sistema dirigido por GPS. El avión tiene una autonomía de vuelo de 45 min, un alcance de 5 km y puede volar a alturas de entre 75 y 750 m a partir de la cota de lanzamiento y puede fotografiar un máximo de 1.000 ha en un solo vuelo a 750 m de altura.

Lo más sorprendente es la resolución que se puede obtener en las imágenes captadas por el UX5. Este UAV ha sido diseñado para garantizar una calidad de imagen óptima con la máxima precisión fotogramétrica. Para ello incorpora la cámara sin espejo de Sony NEX-5R de 16,1 megapíxeles con sensor de gran tamaño APS-C (CMOS). Esto permite obtener ortofotos con una precisión máxima de 2,4 cm de resolución por píxel volando a 75 m de altura, y una precisión mínima de 24 cm por píxel volando a 750 m.

Peso	2,5 kg
Envergadura	1 m
Dimensiones	100 cm x 65 cm x 10 cm
Material	Espuma de polipropileno expandido con estructura de fibra de carbono
Autonomía	50 min
Alcance	60 km
Velocidad de crucero	80 km/h
Techo de vuelo máximo	5.000 m
Espacio de aterrizaje recomendado	50 m x 30 m
Comunicaciones y distancia de control	5 km



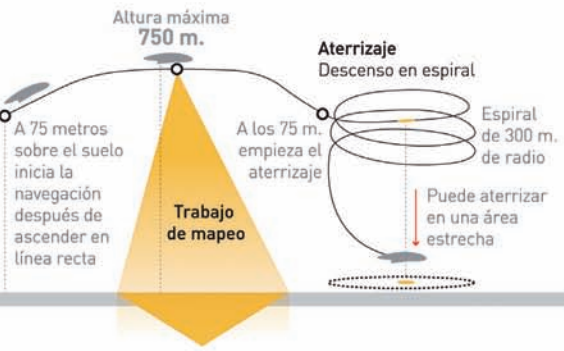
# Tecnología UAV

Los UAV para uso civil llegaron para quedarse.  
¿Cómo funcionan y cuáles son sus usos?

## ¿CÓMO FUNCIONA?

### Lanzamiento

En una área plana y despejada se coloca la catapulta de lanzamiento



## RETOS DEL UAV EN EL PERÚ

- Altura de trabajo alcanzada: 4.500 msnm
- Soporta vientos: 65 km/h
- Puede volar en llovizna

## DATOS TÉCNICOS

- Peso: 2.5 kg
- Material: Espuma y fibra de carbono
- Autonomía: 50 minutos /60 km
- Velocidad: 80 km/h
- Cámara: 16.1 MP

## ¿CÓMO SE HACE EL MAPEO?

- Desde tierra se establece el área que va a recorrer el UAV
- El UAV sigue una ruta aérea automatizada
- Durante el trayecto toma fotografías digitales en sucesión
- Las imágenes son descargadas y procesadas en un PC



## ¿PARA QUÉ SE PUEDE USAR?

### Ortofoto

El UAV captura imágenes digitales de toda el área durante el vuelo

ÁREA

Luego son descargadas y procesadas vía software



Finalmente se obtiene una gran imagen de toda el área



Fuente: Trimble, Alauda Ingeniería S.A.

### Imágenes en HD

La cámara utilizada por el UAV permite obtener imágenes y videos de alta definición

### Levantamientos topográficos

Se escanea el área para obtener los detalles del terreno que serán utilizados para obtener información topográfica

La calidad y el tipo de cámaras utilizadas hacen posible obtener un estudio topográfico del área sobrevolada

### Modelo 3D

Se escanea el área en detalle, registrando altitud, longitud y profundidad

ÁREA

Tras procesar los datos e imágenes obtenidos por el avión, se puede obtener un modelo tridimensional a detalle de toda el área sobrevolada

y un clima tropical húmedo con 2.000 mm al año). Este hecho, unido a la geología de la zona, facilita que se produzcan enormes deslizamientos de tierra (que deben ser controlados durante la vida de la infraestructura). Otro de los grandes problemas de la conservación en el país andino viene provocado por una distribución demográfica con continuas corrientes migratorias, la cual, unida a una legislación no demasiado impositiva, hace que en muchas ocasiones no se respete el derecho de vía (característica que igualmente debe ser controlada durante la vida de la infraestructura).

Por tanto, derecho de vía y control de deslizamientos de laderas, que en algunos casos pueden llegar a 10.000 m<sup>3</sup> en una vía que pasa de una altura de 4.184 msnm a una altura de 508 msnm en un trazado de montaña de 408 km, eran y son dos de las actividades en las cuales la disponibilidad de una cartografía real y actualizada frecuentemente va a permitir llevar a cabo las labores de control y seguimiento del estado de la infraestructura.

Además de los aspectos analizados anteriormente es importante resaltar que, con carácter general, esta tecnología puede ser utilizada siendo muy competitiva en los siguientes casos:

- Cuando la extensión del proyecto no haga competitiva la fotogrametría clásica ni la topografía convencional.
- Cuando la accesibilidad de la zona sea complicada.
- Para realizar seguimientos periódicos o actualizar cartografía.

Entendimos los beneficios que un UAV podría aportar al proyecto pero en primer lugar debíamos estudiar que no existieran limitaciones legales que nos impidieran operar el UAV una vez adquirido tanto en Perú como en España. Muchos aspectos de las operaciones con UAVs están todavía sin regular en Perú, pero también en España, desconocían-

dose en este momento cómo y por dónde irá dicha regulación: vuelo sobre ciudades, tratamiento de datos, acreditación del cumplimiento de unos requisitos de seguridad mínimos, cualificación de las empresas fabricantes y operadoras, licencias para su manejo, etc. Éstos son, entre otros muchos, aspectos que todavía están por aclararse.

La Orden Ministerial 18/2012, de 16 de marzo, por la que se establece la aptitud y se crea el título de Operador de Sistemas Aéreos no Tripulados para los miembros de las Fuerzas Armadas, publicada en el Boletín Oficial del Ministerio de Defensa de 26 de marzo de 2012, es la primera disposición española que se adentra en este ámbito y permite vislumbrar hacia dónde iremos. Se puede leer en su preámbulo que *"... dado el carácter novedoso, pionero y de creciente interés general de los sistemas aéreos no tripulados, esta disposición se dicta con la vocación de, en un futuro, poder servir también como marco de regulación de otros sistemas de propiedad estatal que pudieran ser empleados por otros departamentos ministeriales"*.

### No todos los UAVS son iguales

Una vez entendido que los aspectos legales se movían en una nebulosa de indefinición a ambos lados del Atlántico decidimos apostar por las ventajas que nos conllevaría implementar esta tecnología, aunque la gama de productos era casi infinita. Los drones o UAVs suelen ser de tamaño reducido y pueden ser de tipo cuadricóptero, octocóptero, dirigibles, aviones, etc., e independientemente de la tipología, su propio rango de características de cámara e instrumentación (GPS, radio de conexión con controlador en tierra, memoria interna con la programación del vuelo, etc.) hacía casi imposible hacer una comparación homogénea. Al final decidimos

fijar tres parámetros para el análisis multicriterio. En primer lugar, la precisión: decidimos fijarnos sólo en equipos que permitieran hacer labores de *surveying* y *mapping*, desechando el resto de opciones. A partir de aquí, analizamos tres aspectos: versatilidad, precisión y rendimiento. Examinamos ocho equipos y decidimos quedarnos con el modelo UX5 de Trimble que, si bien no era el más versátil, era el que obtuvo la mejor puntuación. Además, por lo menos en teoría, se solucionaba el problema de la sustentación en zonas en altura con una baja densidad del aire (otro problema propio de trabajos en redes de carreteras en zonas de alta montaña como los Andes). El proveedor aseguraba vuelos en condiciones de seguridad a una altura nominal de 5.000 msnm aunque más adelante veremos que surgían otros problemas no mencionados por el fabricante.

### Cada vuelo, una experiencia

Desde un punto de visto práctico, Alauda ya ha acreditado en Perú vuelos en lugares no controlados, es decir, sin estar especialmente acondicionados para ello, lo cual permite tener una visión real de las dificultades y retos de estos trabajos. Uno de los primeros proyectos en el país andino fue para la concesionaria Vía Parque Rímac. Dicha concesión comprende la explotación y mantenimiento de una vía urbana con una IMD superior a los 150.000 vehículos en un entorno poblado en la ciudad de Lima. El vuelo se realizó sobre el enlace de intersección de la avenida Javier Prado con la vía de Evitamiento. Esto suponía un reto por las dificultades y riesgos que presentaba el volar en una vía con un elevadísimo tráfico vivo, en una zona de alta densidad poblacional y gran cantidad de posibles obstáculos (edificios, antenas, depósitos, estructuras, etc.) que podían dificultar el vuelo.

Para Vía Parque Rímac se realizaron tres vuelos. En el primero de ellos hubo un incidente sin daños personales pero con daños materiales en un vehículo de la empresa y en el propio UAV. Tras realizar una exhaustiva investigación junto con responsables del propio fabricante del avión, se concluyó que el fallo se había producido por la presencia de un helicóptero de la policía que produjo interferencias en la comunicación del avión con la base. Dicha experiencia sirvió para modificar los protocolos y aumentar las medidas de seguridad.

La segunda experiencia que ha resultado más enriquecedora para Alauda ha sido el levantamiento topográfico de un tramo de la Carretera Longitudinal de la Sierra de Perú, cuya conservación está a cargo en la actualidad del consorcio Alvac-Johesa. Este proyecto supone un auténtico reto tanto en logística como en ingenio ya que el perfil longitudinal y las descarnadas condiciones meteorológicas del tramo han obligado al departamento de I+D+i de Alauda a diseñar nuevas soluciones.

El aterrizaje del UAV es el principal obstáculo en este tramo debido a dos problemas fundamentales. El primero es la baja densidad del aire en estas altitudes, lo que hace que la sustentación sea menor y, por tanto, la velocidad del avión en su toma de contacto con tierra sea mucho más elevada. Este hecho es más grave teniendo en cuenta el segundo obstáculo: la orografía del terreno hace difícil encontrar localizaciones que cumplan con las especificaciones requeridas para el aterrizaje. Por ello, en Alauda, conscientes de las ventajas que esta avanzada solución tecnológica aporta a este tipo de proyectos, está desarrollando una serie de alternativas al aterrizaje tradicional que salvaguarden la integridad del equipo y que no pongan en peligro ni a personas ni bienes particulares o de terceros.



**El flujo de trabajo y los resultados de un trabajo bien hecho**

El primer paso que se debe realizar para la adquisición de las imágenes es planificar el trabajo. Los usuarios definen la zona de la misión, añaden mapas de fondo y, si fuera necesario, definen zonas a evitar en la aplicación de planificación de la toma de datos. También se deben definir la altura de vuelo sobre el nivel del suelo, la resolución de imágenes en metros/píxel (GSD) *Ground Sample Distance* y el solape de las imágenes adquiridas. El software calcula el tiempo total de vuelo necesario para cubrir la zona de la misión y permite al usuario dividir la zona en varios vuelos cuando sea necesario debido al tamaño de la zona.

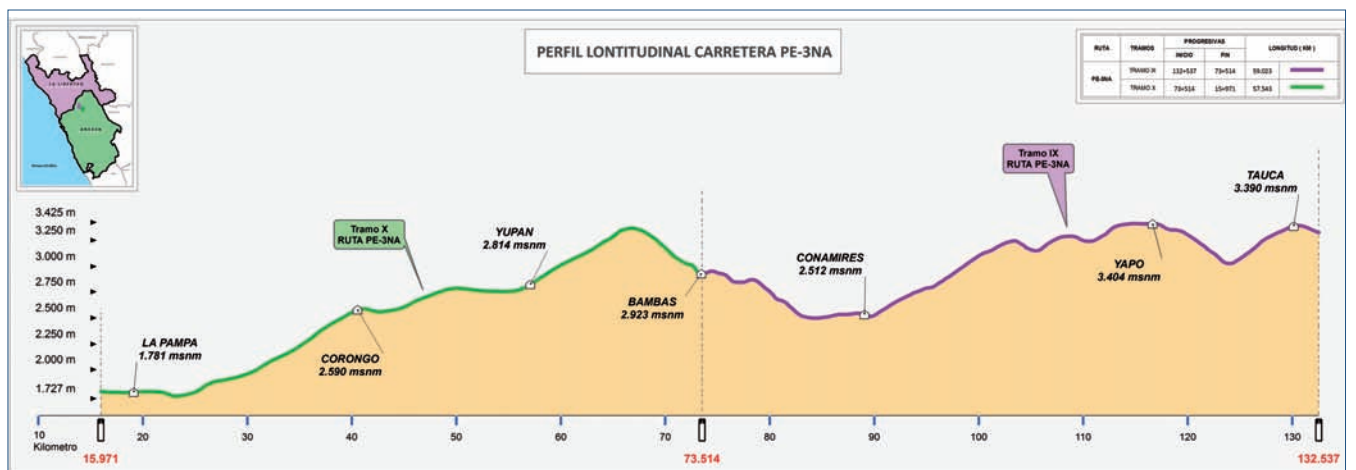
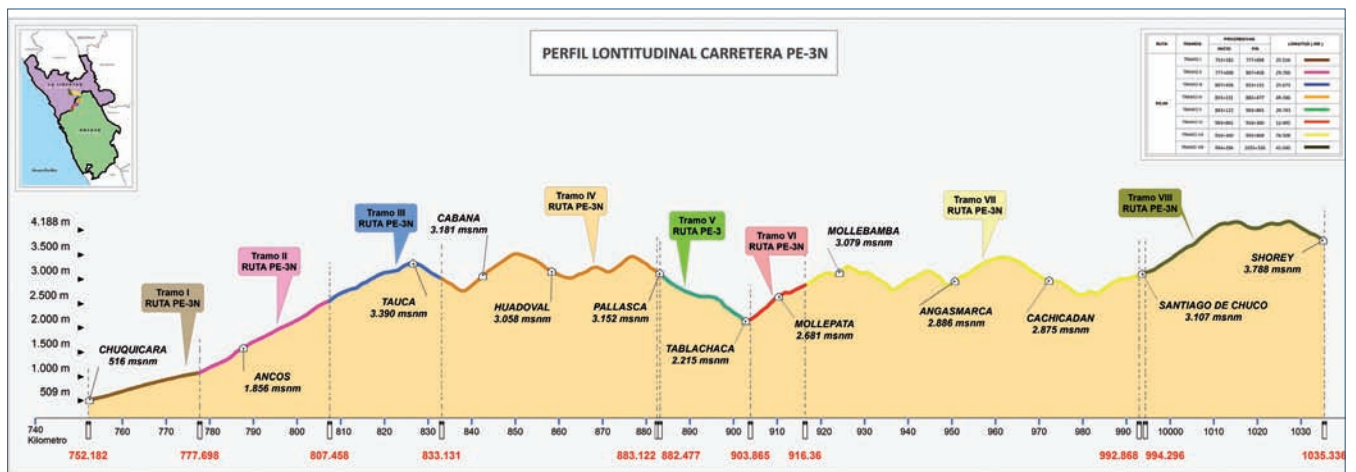
Como quizás puede resultar obvio, la adquisición de un UAV para

realizar estas funciones no se limita a la inversión económica en el aparato y a esperar a que realice su trabajo por su cuenta. Detrás hay un complejo trabajo en equipo y de ingeniería. Sin ir más lejos, para un vuelo de estas características en Perú se necesita una unidad GPS geodésico (Base+Rover) que permita realizar un levantamiento en PPK o RTK (en nuestro caso el equipo utilizado es un Trimble R10) con la que realizar el apoyo de campo para poder referenciar correctamente el vuelo; un distanciómetro láser; un anemómetro; dos radios; dos técnicos formados en el manejo del equipo; y un topógrafo.

El UAV permite sobrevolar las áreas definidas, manteniendo líneas de vuelo paralelas entre sí, abarcando toda la superficie programada. Para cada vuelo, el piloto identifica la dirección del viento, la ubicación del lanzamiento y el lugar de aterri-

raje, por lo que la duración del vuelo se recalcula en base a las condiciones de campo en el momento del vuelo. Para el despegue se necesita un frente despejado para que pueda coger rápidamente altura y el avión es lanzado de forma similar al funcionamiento mediante el uso de un tirachinas gigante, una catapulta. Una vez en el aire, se activa el rotor de las hélices y comienza a volar de forma autónoma hasta completar su misión de toma de imágenes.

Después de lanzar el avión, el vuelo se controla con la estación de control en tierra. Si no hay ningún imprevisto, el operador no intervendrá. No obstante, en cualquier momento puede maniobrar el UAV para desplazarlo hacia un lado, aumentar la cota, ordenar su aterrizaje o cualquier otra acción. El alcance máximo de la radio del controlador es de 5 kilómetros en zona despejadas, aunque el UAV



volará de forma automática a su punto de destino en caso de perder la conexión. Una vez a la altitud programada, el avión entra en el área a estudiar y las fotografías se van capturando automáticamente, ordenándose en el *eBox* almacenándose junto con la información de posición en la memoria interna del equipo. El UAV va capturando las imágenes a lo largo de la línea de vuelo hasta salir del área a sobrevolar. Entonces, gira hasta volver a alinearse en sentido contrario al último recorrido y comienza a obtener imágenes en la nueva línea de vuelo. El avión realizará este recorrido hasta completar la cuadrícula planeada. Las que se registran tiene un solape frontal y lateral de entre el 70 y el 90 % (según lo establecido por el operador), para conseguir la mayor perpendicularidad posible y eliminar el efecto de la perspectiva.

Las características de la cámara permiten al operador utilizar una velocidad de obturación fija y una ISO ajustada automáticamente que oscila entre 100 y 3.200, lo que produce imágenes nítidas y ricas en contraste con un brillo constante, incluso en condiciones de luz adversas y cambiantes, así como en zonas de sombra. Esto elimina la necesidad de los usuarios de juzgar el brillo y tener que ajustar manualmente la velocidad de obturación y el ISO a un valor fijo durante el vuelo.

Después de cada vuelo se obtienen, por un lado, las imágenes aéreas y, por otro lado, el archivo de vuelo con las posiciones de cada una de las imágenes. En este archivo figura la posición GPS de las capturas, y el recorrido (*track*) que ha realizado el equipo, información que se utilizará en el postproceso para la obtención del modelo de la superficie, y las ortofotos. Es el momento de comprobar la integridad de los datos.

Complementariamente al vuelo del equipo es necesaria la realización de un trabajo de campo para

obtener las coordenadas de los puntos de control situados en el área de la que se van a obtener las ortofotografías. Así se realiza un levantamiento de estos puntos de control mediante el uso de un sistema GPS, pudiendo usarse corrección de la señal GPS en tiempo real (en RTK) o en postproceso (o PPK), de puntos de control siendo necesario obtener precisiones por debajo de 5 cm para alturas de vuelo de 150 m.

A continuación se procesan las imágenes aéreas enlazadas a los puntos de control, y se obtiene la ortofoto en sí, una nube de puntos y una imagen ráster con cotas. Procesando la imagen ráster o la nube de puntos se crean superficies, de las cuales se obtiene las curvas de nivel. Con el modelo digital del terreno superficie se pueden realizar infinidad de trabajos de cálculo de volúmenes, obtención de perfiles de terreno, diseño de trazado, etc., y combinado con la ortofotografía, se pueden realizar trabajos cartográficos. También es posible realizar modelos digitales 3D tridimensionales para hacer simulaciones de recorridos/vuelos sobre la carretera, rénderes, vídeos y demás trabajos similares. Por último, la ortofotografía permite realizar mediciones en planta, por su perpendicularidad, y no tiene efecto de la perspectiva.

### ¿Y en España?

Los estándares de calidad de la conservación española son mucho más elevados que los de Perú siendo de los más avanzados de Europa. A pesar de que la fotogrametría clásica en un mercado más maduro como el español es muy competitiva, herramientas tan versátiles como las presentadas en este artículo utilizadas por nosotros proporcionan una información muy valiosa, con un elevado nivel de calidad, adaptándose a trabajos puntuales donde el uso de UAVs puede ser muy competitivo frente a los elevados costes

y tiempos de producción de una cartografía convencional.

En el sector de la carretera, las utilidades de los UAVs para la obtención de imágenes aéreas son muy numerosas. Con un UAV se puede obtener una cartografía de detalle que puede ser de gran utilidad para una mejor explotación de la vía. En general es una herramienta ideal para el control volumétrico de grandes infraestructuras, en las que se llevan a cabo grandes movimiento de tierra. Otro uso interesante en zonas con lluvias torrenciales, es el de topografiar y fotografiar las carreteras antes y después de la época de lluvias para poder observar y analizar volúmenes de tierra desprendidos en los taludes, evolución del curso de los ríos, dominio público viario, etc.

Y aunque Alauda es una empresa consultora especializada en la conservación de carreteras, los usos que se le pueden dar a este tipo de equipos son muy variados. Así, por ejemplo, permite realizar topografía en zonas fangosas de difícil acceso, zonas de gran movimiento de maquinaria, zonas devastadas por catástrofes naturales, etc., y se puede aplicar a infinidad de campos (ingeniería civil, conservación de carreteras, construcción de infraestructuras, agricultura, selvicultura, medio ambiente, urbanismo, protección de restos arqueológicos, control de movimiento de dunas, etc).

En definitiva, resulta evidente que el uso de sistemas UAV para la obtención de modelos de la superficie y ortofotografías es una solución que aporta ventajas de flexibilidad y coste frente a la fotogrametría tradicional, y permite obtener una información más rica que la obtenida mediante topografía clásica. Los retos y proyectos que afronta Alauda en España y Perú son un desafío para seguir buscando soluciones innovadores con los UAV que contribuyan a elevar los estándares de calidad y a ofrecer el mejor servicio posible de ingeniería. ❖

# Socios de la Asociación Técnica de Carreteras

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras pueden ser Protectores , Colectivos o Individuales. Según la categoría, hay diferencias en cuanto a las ventajas que les corresponden, pero tienen descuentos a la hora de inscribirse en Cursos y Jornadas Técnicas que organiza la ATC y reciben la revista **RUTAS**. Además, los Socios Protectores y los Socios Colectivos tienen la posibilidad de formar parte de nuestros **Comités Técnicos**.

## Socios Protectores y Socios Colectivos de la ATC

### Administración Central de España

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO  
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. MINISTERIO DEL INTERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR  
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MINISTERIO DE FOMENTO  
UNIDAD DE CARRETERAS DE CIUDAD REAL. MINISTERIO DE FOMENTO

### Asociaciones

AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN  
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX  
ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE OBRA PÚBLICA, AERCO  
ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA  
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA  
ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI  
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN  
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS, TECNIBERIA  
FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA  
FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, FUNDACIÓN RACC

### Comunidades Autónomas

COMUNIDAD DE MADRID  
GENERALITAT DE CATALUNYA  
GENERALITAT VALENCIANA  
GOBIERNO DE CANARIAS  
GOBIERNO DE CANTABRIA  
GOBIERNO DE EXTREMADURA, CONSEJERÍA DE FOMENTO, VIVIENDA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y TURISMO  
GOBIERNO DE NAVARRA  
GOBIERNO VASCO  
GOBIERNO VASCO. DIRECCIÓN DE TRÁFICO  
JUNTA DE ANDALUCÍA  
JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN  
JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA  
XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE  
PRINCIPADO DE ASTURIAS

**Empresas**

3M ESPAÑA, S.A.  
ACCIONA CONCESIONES, S.L.  
ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
ACCIONA INGENIERÍA, S.A.  
AECOM INOCSA, S.L.U.  
ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.  
A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.  
ACEINSA MOVILIDAD, S.A.  
AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)  
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.  
ALAUDA INGENIERÍA, S.A.  
ALDESA CONSTRUCCIONES, S.A.  
ALVAC, S.A.  
API MOVILIDAD, S.A.  
AP - 1 EUROPISTAS, CONCESIONARIA DEL ESTADO, S.A.U.  
AUCALSA, AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.  
AUDECA, S.L.U.  
AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.  
AUDINGINTRAESA, S.A.  
AUTOPISTAS DEL ATLÁNTICO, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.  
AZUL DE REVESTIMIENTOS ANDALUCES, S.A.  
BARNICES VALENTINE, S.A.U.  
BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.  
BETAZUL, S.A.  
BIDELAN GIPUZKOAKO AUTOBIDEAK, S.A.  
CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.  
CEDINSA CONCESSIONARIA, S.A.  
CEPSA - PRODUCTOS ASFÁLTICOS, S.A.  
CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
COMPOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.  
CONCESIONARIA VIAL DE LOS ANDES, S.A. (COVIANDES)  
CORSÁN - CORVIAM CONSTRUCCIÓN, S.A.  
CLOTHOS, S.L.  
DRAGADOS, S.A.  
DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
ELSAMEX, S.A.  
ESTEYCO, S.A.P.  
ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.  
EUROCONSULT, S.A.  
EUROESTUDIOS, S.L.  
FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.  
FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.  
FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
FERROVIAL AGROMÁN, S.A.  
FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.  
FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL  
FREYSSINET, S.A.  
GEOCONTROL, S.A.

## Socios de la ATC

GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A. (GEOCISA)  
GETINSA INGENIERÍA, S.L.  
GINPROSA INGENIERÍA, S.L.  
GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.  
HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.  
IKUSI - ÁNGEL IGLESIAS, S.A.  
IMPLASER 99, S.L.L.  
INCOPE CONSULTORES, S.L.  
INDRA SISTEMAS, S.A.  
INDUSTRIAL DE TRANSFORMADOS METÁLICOS, S.A. (INTRAME)  
INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)  
INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.  
INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL, S.A.  
INNOVIA COPTALIA, S.A.U.  
INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.  
INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOSA)  
JEROL VIAL, S.L.  
KAO CORPORATION, S.A.  
LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.  
MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
OBRASCÓN HUARTE LAIN, S.A. (OHL)  
PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.  
PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)  
PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.  
PROES CONSULTORES, S.A.  
PROINTEC, S.A.  
PROMAT IBÉRICA, S.A.  
PROYECTOS Y SERVICIOS, S.A. (PROSER)  
RAUROSZM.COM, S.L.  
REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.  
RETINEO, S.L.  
S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)  
S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)  
SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.  
SERBITZU ELKARTEA, S.L.  
SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)  
SGS TECNOS, S.A.  
TALHER, S.A.  
TALLERES ZITRÓN, S.A.  
TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPASA)  
TECNIVIAL, S.A.  
TELFÓNICA INGENIERÍA DE SEGURIDAD, S.A.  
TELVENT TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.  
TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.  
TRABAJOS BITUMINOSOS, S.L.U.  
TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.  
TÚNELS DE BARCELONA I CADÍ, CONCESSIÓ NÀRIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, S.A.  
ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA  
URBACONSULT, S.A.  
VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.  
VSL CONSTRUCTION SYSTEMS, S.A.  
V.S. INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.



## Centros de investigación y formación

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

## Ayuntamientos

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA  
MADRID CALLE 30

## Diputaciones, Cabildos y Consells

CABILDO INSULAR DE TENERIFE  
CABILDO DE GRAN CANARIA  
DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS, CONSELL DE MALLORCA.  
EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA  
EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA  
EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA  
EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA  
EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA  
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZARAGOZA

## Colegios Profesionales

COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera



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



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

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:

Tel.: 913082318 Fax: 913082319

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

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



Para más información:  
puede dirigirse a:

**Asociación Técnica de Carreteras**

**Tel.: 913082318 Fax: 913082319**

**info@atc-piarc.com**

**www.atc-piarc.com**

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

Forma de pago:

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

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa

NIF

Dirección

Teléfono

Ciudad

C.P.

e-mail

Provincia

País

Fecha

Firma



# PREMIO JÓVENES PROFESIONALES ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA (AIPCR -PIARC)



asociación técnica  
de carreteras

comité nacional español de la  
asociación mundial de la carretera



## CONVOCATORIA 2014

Concurso abierto a todos los jóvenes profesionales  
que manifiesten un interés en el sector de la carretera

**BASES DEL CONCURSO EN NUESTRA WEB**  
[www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

## Crecimiento basado en la Innovación

Ferrovial Agroman apuesta por la innovación y el desarrollo, así como por la aplicación de nuevas tecnologías en todos los ámbitos de su actividad de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras.

Con más de 80 años de experiencia y más de 50 años de actividad en 50 países de 5 continentes distintos y más de 650 proyectos realizados con éxito, Ferrovial Agroman es pionera en el proceso de internacionalización de su actividad y referente en la aplicación de las técnicas más avanzadas en la ejecución de sus obras.

