

N.º 137 • II ÉPOCA  
MARZO • ABRIL  
2010  
18 Euros (+IVA)

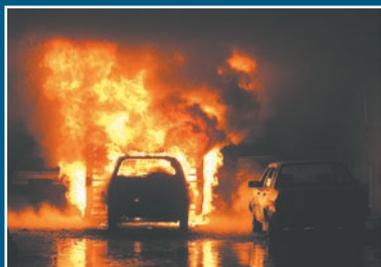
# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

## **Tribuna Abierta**

**La movilidad  
sostenible**

## **Rutas Técnica**



**Análisis probabilista  
de riesgo en túneles.  
La Directiva Europea**

**Uso de materiales  
yesíferos en rellenos  
de infraestructuras  
viarias**

## **Simposios y Congresos**

**V Simposio  
de Túneles.  
“Seguridad para los  
túneles del siglo XXI”**



**XIII Congreso Mundial  
de Vialidad Invernal  
de la AIPCR**



## **En Portada**

**Entrevista a Dña. Inmaculada  
Rodríguez-Piñero Fernández,  
Secretaria General de Infraestructuras  
del Ministerio de Fomento  
y Presidenta de la Sociedad Estatal  
de Infraestructuras  
del Transporte Terrestre**

# ferroser

Una respuesta integral a la conservación  
de infraestructuras del transporte  
y urbanas



→ Infraestructuras  
hidráulicas: presas,  
canales

- Redes y túneles
- Concesiones  
de infraestructuras
- Soluciones  
tecnológicas de tráfico
- Conservación y  
explotación de carreteras

- Plataformas de aeropuertos
- Conservación integral
- Soluciones tecnológicas  
de tráfico
- Imagen corporativa,  
imagen corporativa comercial
- Fabricación de señales  
de código
- Señalización urbana,  
señalética de edificios y de  
información vial

## EL COMIENZO DE UNA NUEVA ETAPA

Grupisa se funde con Ferroser. A partir de ahora los servicios de conservación integral de infraestructuras del transporte y urbanas, serán una actividad desarrollada por Ferroser.

gruPisa---

gruPisa---

gruPisa---

gruPisa---

gruPisa---

ferroser



# RUTAS

Revista de la Asociación Técnica de Carreteras

Nº 137- II Época - Marzo-Abril 2010

### Edita:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS.  
Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha.  
28010 MADRID  
Tfno.: 913 082 318 - Fax: 913 082 319.  
www.atc-piarc.com

### Presidente:

Roberto ALBEROLA

### Comité de Redacción:

#### Presidente:

Roberto ALBEROLA

### Vocales:

José ALBA GARCÍA  
Francisco CAFFARENA LAPORTA  
Alfredo GARCÍA GARCÍA  
Federico FERNÁNDEZ ALONSO  
José María IZARD  
Carlos JOFRE  
Sandro ROCCI  
Manuel ROMANA  
Antonio RUILOBA  
Margarita TORRES  
Carmen VELILLA

### Directora Técnica:

Belén MONERCILLO DELGADO

### Director Ejecutivo:

Vicente BARBERÁ

### Redacción, Diseño, Impresión, y

#### Distribución:

#### V. Barberá, S.L.

D. Ramón de la Cruz, 71, Bajo Dcha.  
28001 Madrid. Tel. 913 092 471  
Fax: 913 091 140.

### Jefatura de Redacción:

Juan VAQUERÍN  
redacción@revistarutas.es

### Coordinación y Planificación:

María Luisa BRIZ

### Departamento de Publicidad:

Adela GARCÍA.  
Tel.: 914 024 972  
publi@revistarutas.es

### Fotomecánica:

Magister Grafistaff

Depósito Legal: M-7028 - 1986.

**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.**

Nuestra portada:  
Autovía A-40. Tramo  
Tarancón-Alcázar del Rey.

# S u m a r i o

## Tribuna Abierta

- 3 La movilidad sostenible, por Sandro Rocci y Luis M. Xumini.

## En Portada

- 4 Entrevista a Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero Fernández, Secretaria General de Infraestructuras y Presidenta de la Sociedad Estatal de Infraestructuras del Transporte Terrestre, por la Redacción.



## Rutas Técnica

- 11 Uso de materiales yesíferos en rellenos de infraestructuras viarias, por Ignacio González Tejada, Claudio Olalla Marañón, Manuel Romana García, Alfonso Cimadevilla Salcines y Vanessa García Fernández.



- 22 Análisis probabilista de riesgo en túneles. La Directiva Europea, por Ignacio del Rey y Enrique Alarcón.



## Autovías del Estado

- 37 Inaugurado el tramo Tarancón-Alcázar del Rey, de la Autovía A-40, por Rafael Moreno Ramírez.



- 42 Finalizado el tramo Santa Cruz de la Zarza (E) - Tarancón, de la A-40 (de Castilla-La Mancha), por Rafael Moreno Ramírez.



- 49 El Ministro de Fomento pone en servicio la Variante de Barbastro de la Autovía A-22, en Huesca, por Joaquín J. López Sánchez.

## Accesos a Grandes Ciudades

- 53 Vía Parque CN-332. Finalizado el tramo Torrevieja-Pilar de la Horadada, por Jesús Redondo González y Rafael Caro Sogorb.



## Simposios y Congresos

- 57 V Simposio de Túneles de Carretera "Seguridad para los túneles del siglo XXI".
- 69 XIII Congreso Mundial de Vialidad Invernal de la AIPCR, Quebec 2010, por Pablo Sáez Villar.



## Actividades de los Comités Técnicos de la AIPCR

- 72 Reunión en Murcia del Comité Técnico TC D.1 "Gestión del patrimonio viario" de la Asociación Mundial de la Carretera, por Ángel García Garay.
- 75 Reunión del Comité Técnico A.3, de la AIPCR "Aspectos económicos de las carreteras y desarrollo social".



## Actividades de los Comités Técnicos de la ATC

- 76 El Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras, por Adolfo Güell Cancela.

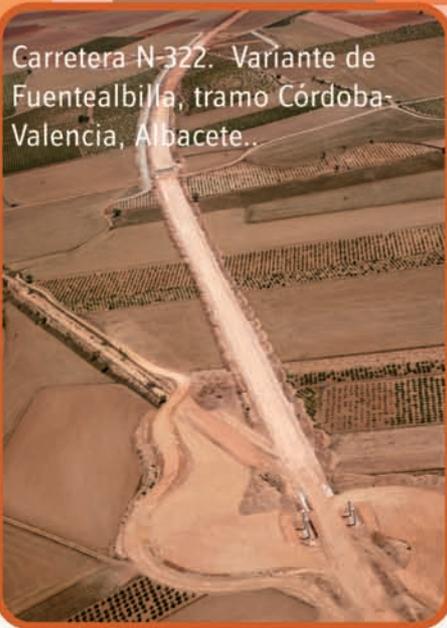
## Fomento informa

## Noticias

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

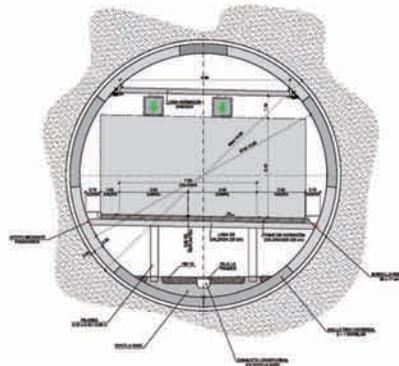


Carretera N-232. Tramo Variante de la Puebla de Alcolea, Teruel.



Carretera N-322. Variante de Fuentealbilla, tramo Córdoba-Valencia, Albacete.

Autovía SE-40. Túneles sur del Guadalquivir, Sevilla.



**Eficiencia, calidad, seguridad y compromiso; los valores de Copisa.**

Cincuenta años de experiencia y una sólida vocación enfocada a la responsabilidad, la calidad, el esfuerzo y la mejora continua son las credenciales del Grupo Copisa, holding de empresas que operan en los sectores de la construcción, industrial y concesiones.

## La movilidad sostenible

**U**no de los mantras que ahora se aplican a los temas que interesa presentar como políticamente correctos es el de “**sostenible**”. Esta palabreja, según el Diccionario de la Real Academia Española, aplicada a un proceso indica que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes. Según el mismo Diccionario, un **desarrollo sostenible** es el que, cubriendo las necesidades del presente, preserva la posibilidad de que las generaciones futuras satisfagan las suyas. Esta definición coincide prácticamente con la primera proclamada por el Informe Brundtland de 1987.

Ahora también se ha acuñado la expresión “**movilidad sostenible**”. Observemos, de paso, que la palabra “movilidad” no figura en el mentado Diccionario más que como “cualidad de movable”, y no en el sentido de un sistema de transporte que, al ser sostenible, cubra las necesidades del presente y preserve la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas. Se va eclipsando la tradicional palabra “**tráfico**”, o sea la “circulación de vehículos por calles, caminos, etc.”, aunque otra acepción lo amplía al “movimiento o tránsito de personas, mercancías, etc. por cualquier otro medio de transporte”. Más que del modo predominante, parece que la movilidad ahora se ocupa predominantemente de los peatones, de los ciclos y del transporte colectivo de superficie; quizás porque se piense que los demás vehículos, al ser mayoría, se cuidan solos...

Aunque se diga que en las ciudades ya se aplican medidas para lograr que la movilidad sea sostenible, no está claro que esas medidas sirvan para algo. Los síntomas más evidentes de que el sistema viario urbano no está configurado correctamente para satisfacer las necesidades actuales del transporte (no ya las futuras) son tres efectos adversos característicos: la congestión, la siniestralidad y la falta de espacio para parar o estacionar. Dado que los dos primeros reciben bastante atención, fijémonos ahora brevemente en el tercero.

La insuficiencia de espacio para parar o estacionar es bastante determinante en el ámbito urbano: es como si no hubiese aeropuertos suficientes para los aviones que están volando. Cuando esa carencia se agrava no sólo aumentan la congestión y la inseguridad; sino que también se agravan otros efectos adversos propios, como por ejemplo un consumo improductivo de combustible por parte de los vehículos que dan vueltas buscando donde parar o estacionar.

En el ámbito del Urbanismo hay escuelas de pensamiento que sostienen que como el espacio público es un bien escaso muy valioso, es un desperdicio dedicarlo al estacionamiento. La aplicación de este filosofismo da lugar al estrechamiento de las calzadas urbanas y a la delimitación de los espacios peatonales mediante bolardos (a menudo agresivos para los propios peatones). Se eleva la altura de las edificaciones, sin prever en las vías que las sirven las necesidades de espacio que implica ese aumento de la población. Las vías ya no se diseñan con el espacio que requieren su correcto funcionamiento.

Otras escuelas piensan que, si no pueden estacionar, los vehículos dejarán de circular. Esto es cierto en gran medida, pero tiene sus limitaciones: una gran parte de los ciudadanos lo seguirá intentando, pues necesita circular o considera que tiene derecho a ello. Otros han descubierto que el estacionamiento, como todo bien escaso, puede ser una fuente de ingresos.

Así, el tráfico urbano no hace otra cosa que agravarse: cada vez más caro, más ineficiente, más incómodo, más contaminante y menos seguro: o sea: menos... sostenible.

Las consecuencias serán aún más graves para las generaciones futuras si no se comienza pronto a diseñar y a gestionar el sistema viario urbano con un nivel tecnológico más adecuado que el actual. Así se podrá invertir la tendencia; y la movilidad sostenible lo será de verdad, en vez de unas palabras vacías, a merced de filosofismos diversos e intereses varios. ■

Entrevista a

# Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero,

Secretaria General de Infraestructuras  
del Ministerio de Fomento y Presidenta de la SEITT

**A**provechando su presencia en el XIII Congreso Mundial de Vialidad Invernal (Quebec, febrero de 2010) de la AIPCR, en la que la Secretaria General representó a nuestro Gobierno, le hemos preguntado sus opiniones sobre el citado Congreso, así como sobre otras cuestiones de gran trascendencia en la actualidad vial de nuestro país.

Inmaculada Rodríguez-Piñero Fernández, aunque nacida en Madrid, en 1958, ha vivido y desarrollado toda su actividad profesional en Valencia, provincia por la que fue elegida Diputada en las elecciones generales de 2008. Licenciada en Ciencias Económicas y Empresariales –especialidad de Teoría Económica– por la Universidad Complutense de Madrid, y Máster en Teoría Económica por la Universidad de Minnesota (EE.UU), es también Funcionaria del Cuerpo Superior

de la Administración de la *Generalitat Valenciana*, y ha sido Jefa del Área de Programación Económica e Inversiones Públicas de la *Consellería* de Economía y Hacienda de la *Generalitat Valenciana*, así como Directora General de Régimen Económico de la *Consellería* de Cultura, Educación y Ciencia. Desde 2004 a 2008 fue Secretaria Federal de Política Económica y Empleo de la Comisión Ejecutiva Federal del PSOE, donde ocupa la Secretaría Federal de Vivienda, Infraestructuras y Ordenación del Territorio desde 2008. Y, desde abril de 2008 a abril de 2009, también fue Portavoz de Economía del Grupo Parlamentario Socialista en el Congreso de los Diputados. Desde el 20 de abril de 2009 ocupa los cargos de Secretaria General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento y Presidenta de la SEITT.

**¿Cuál es su opinión sobre la celebración de este tipo de congresos y, en concreto, qué temas o conclusiones destacaría del celebrado en Quebec?**

Me parece que estos encuentros son muy importantes, ya que permiten intercambiar experiencias y conocimientos y, por tanto, resultan muy enriquecedores. He podido comprobar que todos los países nos enfrentamos a dificultades similares, y aunque cada uno ha de afrontarlas atendiendo a sus propias peculiaridades lo cierto es que siempre es posible aprender de lo que hacen los demás, y de cómo lo hacen. En el Congreso de Québec, por ejemplo, se puso de manifiesto que hay margen para mejorar las actuaciones de vialidad invernal, aumentando su eficacia y reduciendo su impacto ambiental. Y aunque la experiencia de países como Canadá es muy interesante, también lo es la de España, donde las nevadas son más escasas, pero muy intensas en algunas zonas, lo que obliga a organizar las actuaciones de vialidad invernal de forma distinta.

**¿Qué le parecieron las diferentes intervenciones de la delegación española?**

La aportación española fue muy destacada. Creo que sirvió para poner de manifiesto el elevado nivel técnico y el saber hacer de quienes se dedican a organizar y gestionar las actuaciones de vialidad invernal en nuestro país. Personalmente, debo decirle que estuve encantada de encabezar la delegación española y de intervenir para exponer nuestra experiencia, que suscitó un gran interés entre los asistentes.

**¿Cómo calificaría la labor que desarrolla la AIPCR? ¿Y la de su Comité español, la Asociación Técnica de Carreteras?**

Es fundamental contar con una asociación como la AIPCR, un foro independiente que ya podemos



Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero en un momento de su intervención en la Sesión de Ministros del Congreso de Quebec.



De izquierda a derecha, el Ministro de Equipamiento y Transportes de Marruecos, la Ministra de Transportes de Quebec, el Ministro de Transportes de Canada, la Secretaria General de Infraestructuras de España y el Ministro de Ordenación del Territorio, Urbanismo, Medio Ambiente y Agricultura de Andorra.

calificar de centenario, pues cumplió un siglo el año pasado, que sirve como marco para compartir avances y experiencias, y donde además se impulsa la difusión de los mismos hacia países con menor nivel de desarrollo. Respecto a la ATC, que es "su brazo" en España, tengo que resaltar la extraordinaria labor que realizan los comités técnicos, integrados por representantes de las universidades, de las empresas del sector y de todos los ámbitos de la Admi-

nistración, y que hacen aportaciones muy notables a los trabajos de la AIPCR. Estoy muy agradecida por su labor y dedicación.

**La ATC, dentro de la AIPCR, viene desarrollando una labor especial como "puente" entre Latinoamérica y España. ¿Cómo la calificaría, qué cuestiones subrayaría y de qué forma se podría mejorar o incrementar?**

Esta es una labor que nos corresponde, tanto por el pasado que compartimos, como por



La instantánea recoge uno de los momentos del debate, celebrado en la Sesión de Ministros, en los que intervino la Secretaria General.

nuestra proximidad cultural o por la destacada presencia de las empresas españolas en Latinoamérica. Nos queda mucho camino por recorrer. Creo que es necesaria una mayor implicación de los países latinoamericanos que tienen una participación más activa en la AIPCR, como México, Argentina o Chile, así como eliminar algunas trabas, como el idioma, que tienden a desanimarles a participar. Espero que el próximo Congreso Mundial, que se celebrará en México en 2011, defina un antes y un después a este respecto.

**En este congreso se ha analizado la vialidad invernal a nivel mundial. ¿Cuál es nuestra situación con respecto a otros países y qué opina de la labor que ha realizado el Ministerio de Fomento en esta campaña de invierno, tan singular meteorológicamente hablando?**

Creo que podemos estar muy orgullosos de lo que hacemos en España: de la forma en que organizamos las actuaciones de vialidad invernal, de cómo las coordinamos y supervisamos, del nivel de la tecnología que utilizamos, y de los resultados que conseguimos. No puedo más que felicitar a todas las personas que lo hacen posible, y que demuestran cada año su capacidad para desarro-

## En el ámbito de las infraestructuras viarias nuestras prioridades son la conservación, el cierre de itinerarios y el impulso del transporte colectivo

llar tareas que no son fáciles. Por eso es fundamental seguir mejorando. Creo que siempre hay margen para ello, y estos foros permiten aprovechar otras experiencias y extraer lecciones muy útiles. Especialmente, me han interesado los sistemas de gestión de la información, que pude ver en la exposición.

**La vialidad invernal forma parte de la conservación. ¿Cómo calificaría a este sector en nuestro país?, ¿cuáles son los objetivos que persigue el Ministerio en este tema?**

La conservación de las infraestructuras es fundamental para el Gobierno de España, en el marco de su apuesta por la seguridad vial. Por eso, durante los últimos seis años hemos duplicado el presupuesto destinado a conservación. Pero aún nos queda mucho camino por recorrer. Afortunadamente, contamos con ingenieros y empresas conscientes de la importancia de la conservación y de la necesidad de innovar e introducir nuevas técnicas. Además, en un país como España que dispone de una red de infraestructuras de transporte cada vez más madura, la conservación es el futuro.

**¿De qué forma puede influir el ajuste presupuestario en la conservación?, ¿Cómo va a afectar a los presupuestos generales del Ministerio (en todos los sectores) previstos para este año?**

Como le he dicho, la conservación es una prioridad para el Ministerio y, por tanto, no se va a ver afectada por el ajuste presupuestario. En el resto de gastos sí habrá recortes. No podía ser de otro modo, pues el Ministerio de Fomento concentra alrededor del 70% de la inversión del sector público estatal y, como es bien conocido, el Gobierno ha trazado una "línea roja" que limita el ajuste, pues no va a haber recortes en



De izquierda a derecha, D. Francisco Criado, D. Pablo Sáez, Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero, D. Aureliano López Heredia y D. Lorenzo Donado. La foto fue tomada en la inauguración de la Exposición del Congreso Mundial de Vialidad Invernal.

políticas sociales, ni en educación ni en investigación y desarrollo. Sin embargo, somos conscientes de que el papel de las infraestructuras como elemento de reactivación económica y de generación de empleo es fundamental, y por ello hemos elaborado un Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI), basado en la Colaboración Público-Privada, que permitirá anticipar inversiones a 2010 y 2011 sin poner en peligro la estabilidad presupuestaria. Frente a un ajuste de 1770 millones de euros en 2010, un Plan de 17 000 millones de euros

a licitar en 2010 y 2011. Esa es la respuesta.

**¿Cuáles son los proyectos y obras más importantes que está acometiendo (a corto plazo) el Ministerio y con qué objetivos?**

En el ámbito de las infraestructuras viarias nuestras prioridades son la conservación, el cierre de itinerarios y el impulso del transporte colectivo. Es lo que corresponde a un país que dispone de una red de carreteras cada vez más desarrollada. Y en cuanto al ferrocarril, la apuesta es impulsar su uso en el transporte de mer-

cancías, con el fin de favorecer la competitividad de la economía, y seguir desarrollando las redes de alta velocidad y de cercanías, que promueven la movilidad sostenible de viajeros.

**A la hora de resolver la presente situación de crisis, nos veremos obligados a buscar soluciones, tanto dentro como fuera del Ministerio. Por una parte, el ajuste, del que ya hemos hablado, pero también será necesario ser más eficientes en el gasto. ¿De qué forma afronta este tema el Ministerio y qué medidas está adoptando?**

Creo que el Ministro lo ha expresado de una forma muy clara en varias ocasiones: se trata de hacer más con menos. Ello significa que hemos de hacer un esfuerzo para mejorar la eficiencia de nuestras inversiones, de forma que las nuevas actuaciones se proyecten con el mínimo coste posible, sin que ello suponga una merma de la seguridad y la calidad. Por eso estamos trabajando para introducir nuevos criterios en el diseño de las infraestructuras, con el fin de rebajar las ratios de costes por kilómetro. En definitiva, estamos buscando un cambio en la mentalidad que se traduzca en una nueva forma de



Para Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero, podemos estar muy orgullosos de lo que hacemos en España en lo relativo a las actuaciones de vialidad invernal, de la forma en que se organizan, de cómo se coordinan y supervisan, del nivel de tecnología que se utiliza y de los resultados que se consiguen.



La instantánea recoge el momento en que la Presidenta de la Asociación Mundial de la Carretera, Dña. Anne-Marie Leclerc, explica la exposición a Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero, acompañadas por la Ministra de Transportes de Quebec.



De izquierda a derecha, D. Pedro Gómez, D. Francisco Criado (Primer Delegado español), Dña. M<sup>a</sup> Carmen Picón, D. Julio César Ortiz (Primer Delegado de Argentina), Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero, D. Mario Fernández (Primer Delegado de Chile), D. Mayobanex Escoto (Primer Delegado de la República Dominicana) y D. Aureliano López Heredia, Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

hacer las cosas.

**Por otro lado, parece evidente que se hace absolutamente necesaria un incremento en la colaboración público-privada, colaboración que ya había sido contemplada en el PEIT. ¿Qué medidas está adoptando el Ministerio de Fomento?**

El Presidente del Gobierno presentó hace unas semanas el Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI), basado en la colaboración público-privada, que permitirá adelantar inversiones cuando resulta más necesario, anticipando a 2010 y 2011 la licitación de actuaciones ya programadas de acuerdo con el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte. El PEI se basa en un modelo concesional que transfiere los riesgos de forma que las inversiones no computen en déficit durante la ejecución de las obras, para no poner en peligro la consecución de los objetivos de estabilidad presupuestaria. Al mismo tiempo, las características del Plan garantizan que las entidades financieras estarán dispuestas a proporcionar a los concesionarios los recursos necesarios. La participación del BEI y del ICO en la financiación de los proyectos con-

tribuirá a facilitar la captación de recursos en los mercados.

**Estamos asistiendo a un periodo en el que nuestro país está apostando fuertemente por el ferrocarril. ¿Cuáles son las razones que sustentan esta estrategia?**

La apuesta por el ferrocarril es una apuesta por la sostenibilidad de nuestro sistema de transporte. Ningún otro modo de transporte ofrece una capacidad tan elevada con un consumo energético tan bajo. La eficiencia energética del ferrocarril, por pasajero y kilómetro recorrido, es 9 veces la de un avión y 4 veces la de un automóvil. Así, por ejemplo, la puesta en servicio del AVE de Madrid a Valencia permitirá el ahorro de más de 80 000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> al año, lo que equivale al consumo eléctrico de todos los hogares de una ciudad de 260 000 habitantes en un año (como, por ejemplo, Alicante). Por tanto, se trata de aumentar la eficiencia energética, potenciando el uso del ferrocarril para el transporte de mercancías e impulsando las cercanías. No buscamos la competencia entre modos, ya que pensamos que hay lugar para todos.

**También venimos asistiendo a una bajada de la licitación en obras de carreteras. ¿La razón es que ya estamos a un nivel aceptable y hay que impulsar otros sectores?**

Históricamente, se ha invertido más en carreteras, y ello nos permite contar ahora con una red madura, que atiende buena parte de nuestras necesidades de movilidad. Por supuesto, quedan cosas por hacer, como cierres de itinerarios o actuaciones que favorezcan el transporte colectivo, pero como le dije antes, en el futuro deberemos preocuparnos más por conservar la red que tenemos que por seguir desarrollándola. Y tendremos que apostar por la intermodalidad y por otros sistemas de transporte que presentan ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad.

**¿Desea añadir algo más?**

Me gustaría recordar que se acaba de cumplir un año desde que el Ministro de Fomento me dio la oportunidad de participar en el proyecto que lidera, y que no es otro que contribuir a que nuestro país disponga de las mejores infraestructuras de transporte. Es un reto apasionante. ■



## La Clave del Éxito reside en nuestra Capacidad de Superación

Adaptarnos a las nuevas exigencias del mercado, a las tecnologías constructivas más actuales, a la dimensión y complejidad de cada proyecto... nos permite superar los más exigentes requisitos de calidad, seguridad y respeto medioambiental. Manteniendo nuestra responsabilidad con cada uno de nuestros clientes y cumpliendo más allá de nuestros compromisos. Es así como ALDESA se sitúa hoy entre los diez mayores grupos de construcción de España, consolidándose y proyectándose con éxito hacia el futuro.

OBRAS FERROVIARIAS - CARRETERAS Y AUTOVÍAS - AEROPUERTOS - OBRAS MARÍTIMAS E HIDRÁULICAS  
URBANIZACIONES - EDIFICACIÓN - REHABILITACIONES Y REFORMAS



 **aldesa**

# 3M Elementos Ópticos

All Weather Paint AWP y All Weather Thermoplastic AWT



## Una marca vial **más visible,** incluso **bajo la lluvia**

Con lluvia las marcas viales prácticamente desaparecen bajo el agua. **Los nuevos Elementos Ópticos de 3M son la solución para este problema**, porque añadidos a la pintura, en la proporción conveniente, aseguran los mayores niveles de retroreflexión tanto en seco, como en mojado. Están diseñados para dos tipos de marcas viales:

### 3M AWP All Weather Paint

Combinados con la pintura acrílica recomendada y microesferas de vidrio, en las proporciones especificadas, potencian la retroreflexión de las marcas viales, bajo cualquier circunstancia climática.

### 3M AWT All Weather Thermoplastic

Combinados con el termoplástico recomendado, proporcionan una marca vial, de alta visibilidad en todas las condiciones climatológicas, y de larga durabilidad.

**Los Elementos Ópticos de 3M también están disponibles para marca vial de obra.**

# Uso de materiales yesíferos en rellenos de infraestructuras viarias



Los materiales yesíferos tienen una utilización limitada, pero, cuando abundan, deben ser empleados siempre con la máxima seguridad.

*Ignacio González Tejada, ICCP (UPM); Claudio Olalla Marañón, Dr. ICCP (UPM); Manuel Romana García, Dr. ICCP (GETINSA); Alfonso Cimadevila Salcines, I. de Minas (GETINSA); y Vanessa García Fernández, Geóloga (GETINSA).*

### Resumen

Los materiales yesíferos se encuentran en muchas zonas de España y es frecuente que las obras lineales atraviesen terrenos en los que están presentes. Por razones de índole económica, medioambiental y geotécnica es cada vez más necesario que estos materiales naturales formen parte de los terraplenes de las infraestructuras viarias (carreteras y ferrocarriles), de modo que éstas se

construyan con una mayor compensación de los volúmenes de material de relleno y desmonte, con todas las ventajas que ello supone.

En los últimos años, se han construido algunos terraplenes utilizando rocas yesíferas, y son muchas las Administraciones, las empresas y los ingenieros que han mostrado su interés por la construcción con este tipo de materiales. Gracias a los estudios e investigaciones acerca de sus características geotécnicas y a la depuración de las técnicas de construcción más adecuadas para lograr los objetivos deseados, se pueden presentar ya algunas ideas y resultados sobre qué tipos de materiales yesíferos existen y sus posibilidades de utilización y tratamiento.

Se incluyen las consideraciones y

los tratamientos que se empiezan a aplicar en los materiales yesíferos por algunas normativas (españolas y extranjeras) y se incorpora un resumen de las principales experiencias españolas en terraplenes viarios sobre las que se tiene constancia.

**Palabras clave:** Material marginal, yesos, ensayos, rellenos, sostenibilidad.

### 1. Introducción

El terraplén es una infraestructura viaria que se tiene que definir por su fin último y no sólo por los materiales que lo componen. Esto hace que la atención en el diseño se debe dirigir a conseguir que el tránsito sobre ella se produzca en las condiciones de seguridad y funcionalidad oportunas al

servicio del que se trate (automóviles, trenes convencionales o de alta velocidad, etc.). También se debe garantizar que sus cualidades permanezcan a lo largo del tiempo.

Por razones de índole económica, social y ambiental, la tendencia actual en Geotecnia Vial es aprovechar al máximo los materiales presentes en el trazado, para la construcción de infraestructuras viarias. Esta tendencia está haciendo que las normativas sean más permisivas a medida que los conocimientos técnicos son mayores.

En este marco, existe un notable interés en utilizar materiales que contienen yeso o sales, tan presentes en la Península Ibérica. De hecho, ya existen algunas experiencias españolas en la utilización de yesos en el núcleo de terraplenes. Aunque la información técnica es escasa, se va disponiendo de un estado de conocimiento cada vez más detallado y completo.

En general, un material se puede utilizar como relleno de un terraplén siempre que cumpla (Escario, 1986):

- Que sea posible su puesta en obra en las debidas condiciones y con los controles habituales.
- Que la obra ejecutada sea estable a lo largo del tiempo.
- Que las deformaciones que se produzcan durante toda su vida resulten tolerables.

Atendiendo a estos tres requisitos básicos, se presenta a continuación una metodología de diseño adaptada a los terraplenes construidos con materiales yesíferos. Con ello, se pretende establecer un intento de clasificación de estos materiales pensada fundamentalmente para decidir cómo ejecutarlos.

## 2. Aspectos geotécnicos

### 2.1. Criterios generales

La ejecución de un relleno es un trabajo continuo que implica las fases de proyecto, construcción y servicio. Estas tres fases vienen marcadas por qué material se está utilizando y cómo se está disponiendo.

Así, por ejemplo, en el caso de construcción de terraplenes con ro-



Aspecto de materiales con yesos. Se aprecia su color blanquecino.

cas blandas, resulta interesante el esquema desarrollado por la *Federal Highway Administration* para la construcción de terraplenes con pizarras de origen sedimentario (figura 1).

Para tener en cuenta cómo disponer el material en un terraplén, es fundamental plantear qué aspectos geotécnicos se deben seguir en el diseño y ver en qué aspectos puede afectar el tipo de material al resultado.

La compensación de tierras es uno de los objetivos fundamentales en una obra lineal. Por ello es conveniente enviar a vertedero la menor cantidad posible de material. Por otro lado, las propiedades geotécnicas que tiene un material de relleno no dependen sólo de sus características intrínsecas, sino también del procedimiento de ejecución. Este segundo aspecto es al que se debe prestar mayor atención.

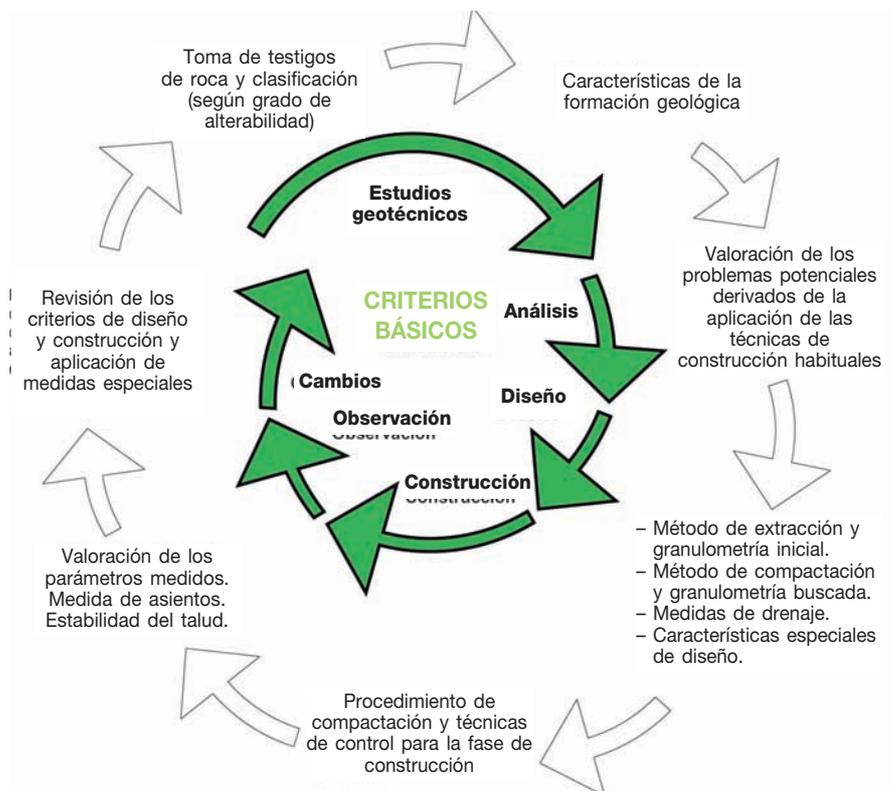


Figura 1: Criterios generales de diseño de rellenos con pizarras sedimentarias (Traducción y adaptación del original. *Federal Highway Administration, FHWA 1980*)

- I Arcillas y limos yesíferos, con yeso disperso en porcentaje inferior al 30%.
- II Arcillas y margas con yeso nodular o disperso.
- III Yeso terroso, en masas con algunos nódulos o terrones y eventual contenido de arcilla o limo.
- IV Alternancia de yesos y margas.
- V Yesos estratificados.
- VI Yesos masivos con fracturas, huellas de disolución o inclusiones margosas.
- VII Yesos masivos sanos, de tipo poroso, sacaroideo o regular.
- VIII Yesos masivos de tipo cristalino o alabastrino.

Clasificación de Rodríguez Ortíz (1994).

La utilización de rocas y suelos yesíferos como materiales de relleno hasta ahora no ha sido nada habitual, bien por la falta de un conocimiento apropiado o bien por la prohibición expresa de las normativas.

En España, el actual Pliego de Condiciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) limita el contenido máximo de yeso al 20%. Si tiene más de este porcentaje sólo permite utilizarlo en aquellos casos en que no existan otros suelos disponibles y siempre que su uso venga contemplado y convenientemente justificado en el Proyecto. Si tiene entre el 5 y el 20% de yeso o tiene más de un 1% de sales solubles, hace falta realizar un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

También en España, el Pliego del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) de 2008 limita al 15% el contenido de yeso.

La normativa francesa GTR (LPCP, 2003) divide las rocas salinas en dos grupos. Las que tienen menos de entre el 30 y el 50% de yeso y menos de entre el 5 y el 10% de sal soluble, y se pueden utilizar en terraplenes, tratándose como otras rocas blandas (arcillosas o carbonatadas), pero teniendo en cuenta la solubilidad. Si se supera alguna de las anteriores proporciones, se descarta a priori su utilización.

Al margen del tratamiento que reciben los materiales yesíferos en las normativas, conviene analizar qué tipo de formaciones evaporíticas existen y si pueden utilizarse.

Generalmente en estas formaciones geológicas conviven carbonatos (calizas y dolomías), sulfatos (yeso y anhidrita), cloruros y otras sales. Estas rocas aparecen masivamente en algunas ocasiones, y otras están mezcladas entre sí y con arcillas.

El yeso, a su vez, en la naturaleza puede presentarse en distintas rocas naturales con estructuras diferentes (espejuelo, laminar, fibroso, nodular, sacaroideo y alabastrino). También existen otros sulfatos de calcio en la naturaleza, inestables a presión atmosférica y con presencia de agua, como son la anhidrita natural y la basanita (hemihidrato de yeso).

Una clasificación interesante de los materiales yesíferos es la propuesta por Rodríguez Ortiz (1994), en que se ordenan en grupos según sean más o menos competentes.

## 2.2. Comportamiento de los yesos

Hasta hace unos pocos años sólo se tenían en cuenta las características intrínsecas de los materiales ya que se buscaba clasificar los suelos en grupos homogéneos, dado que las

operaciones de manejo del material y ejecución dependen, a efectos prácticos, de los contratistas de las obras, de los plazos, etc. y en general se suponía que era difícil poder garantizar unos procedimientos mínimos. Actualmente algunas normativas, como la francesa (LPCP, 2003), se centran en los mecanismos de ejecución apropiados para cada material, e incluyen para su utilización la necesidad de disponer, entre otros, de ensayos de alterabilidad y de considerar los factores ambientales.

Tradicionalmente, en Geotecnia Vial, se han diferenciado, tanto para el proyecto como para la ejecución, tres grupos de materiales, atendiendo a su granulometría:

■ Tipo "suelo": Se ha tendido a clasificar mediante ensayos sencillos, en grupos homogéneos cuyo comportamiento se conoce muy bien y a exigir un valor determinado de la densidad.

■ Tipo "pedraplén": No hay un cri-



Aspecto de los materiales con granulometría tipo terraplén en su ensayo. Foto: Hernán Patiño.

terio único para identificar cuándo un material puede constituir un pedraplén según sus propiedades (resistencia y alterabilidad), su granulometría (una vez puesto en obra) y la forma de los granos. Se suele exigir un parámetro determinado en algún ensayo (placa de carga, por ejemplo). La normativa francesa asigna un

método de compactación según el tipo de roca y añade algunas restricciones.

■ Tipo “*todouno*”: Tratar como suelo o como roca según composición.

La baja resistencia a compresión simple del yeso (menor a 40 MPa, valor del yeso cristalizado sin intercalaciones) hace que sea imposible que éstos formen pedraplenes. Además la compactación del relleno alterará en gran medida la granulometría inicial, alcanzándose fácilmente configuraciones tipo suelo.

Sin pretender ser taxativo, se puede presuponer que las mezclas de yeso – arcilla con más del 50% de arcilla se traten como “suelos” (arcilla yesíferas) mientras que las mezclas con más yeso, se consideran como “*todounos*” o “suelos”, dependiendo de la resistencia de la roca y de la granulometría que se alcanza una vez dispuesto en obra y compactado.

Si se trata como tipo “suelo”, se pueden realizar ensayos convencionales, pero tomando algunas precauciones, entre las que se citan:

- Los materiales yesíferos y salinos son muy solubles, con cinética de disolución rápida, por lo que han de estar dispuestos de modo que queden aislados de los flujos de agua (superficial o subterránea).

- La presencia de algunos minerales salinos (halita, glauberita, etc..) puede hacer que la disolución sea extremadamente rápida.

- Algunas formas de presentarse estas rocas son inestables y la trituration y adición de agua pueden activar reacciones que supongan expansiones o colapsos. Así por ejemplo, la anhidrita natural en presencia de agua tiende a hidratarse, en un proceso expansivo y relativamente rápido (varios meses).

- El yeso tiene agua libre y agua constitutiva, y los métodos habituales para medir la humedad pueden dar errores (tanto en campo como en laboratorio), por lo que hay que tenerlo en cuenta.

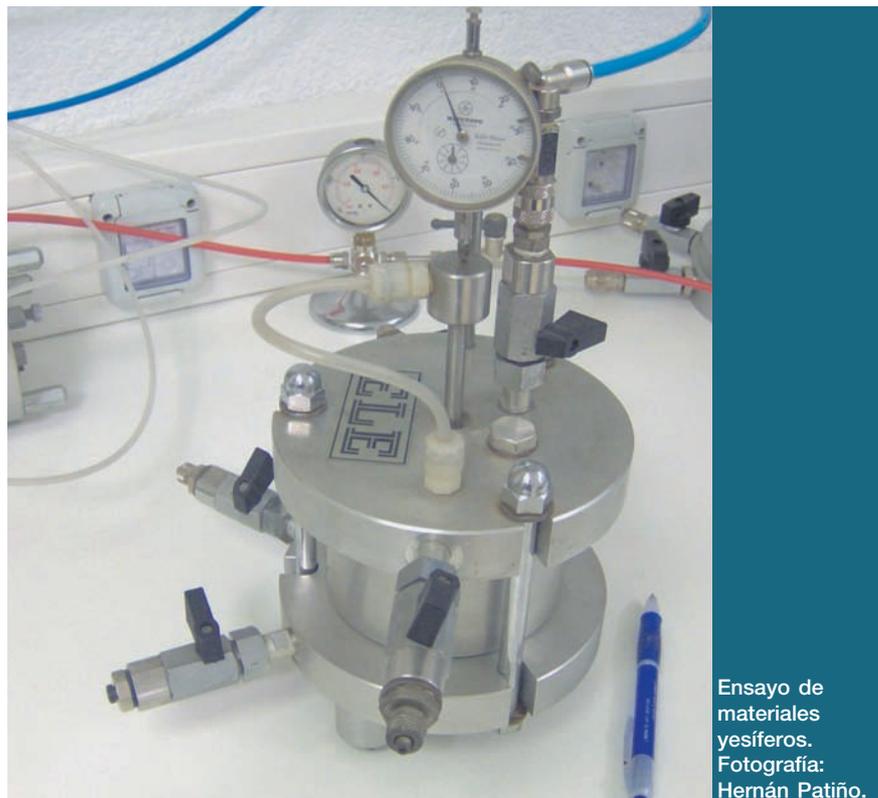
- La humedad afecta a las defor-

maciones a largo plazo.

Si se trata el material como un “*todouno*”, lo habitual es construir previamente terraplenes de ensayo, para decidir el método preciso de compactación. Las propiedades que más afectan al comportamiento de éstos son la granulometría, la forma de las partículas y la calidad de la roca. La mejor granulometría es la

tamiento de pizarras sedimentarias (también rocas blandas y alterables), señala especialmente como buena práctica de control la atención a las curvas granulométricas y el control de la compactación mediante mecanismos adecuados.

La normativa francesa (LPCP, 2003) incluye sistemas de medición de la fragmentabilidad de las rocas



Ensayo de materiales yesíferos. Fotografía: Hernán Patiño.

que tiene gradación continua. Sin embargo, lo que interesa conocer es cómo es ésta una vez puesta en obra, ya que el cambio de la curva granulométrica parece ser un parámetro muy indicativo que permite calificar el comportamiento de una determinada roca (Soriano, 1989).

Por esto, analizar la evolución de la granulometría en la construcción, teniendo en cuenta la resistencia a compresión simple del material y la alterabilidad (mediante algún ensayo determinado, aún por definir) y correlacionar éstas con el comportamiento tensodeformacional del conjunto parece ser un buen método para poder estimar las deformaciones.

Esta línea ha sido seguida por la *Federal Highway Administration (FHA, 1980)*, que, refiriéndose al compor-

como mecanismo de clasificación (variación del parámetro de la curva granulométrica  $D_{10}$  en un ensayo de compactación).

El material, en todo caso, mantiene su carácter evolutivo, de modo que igual que en el material tratado como “suelo” se exige un sistema eficaz de encapsulado.

### 3. Diseño de terraplenes

#### 3.1. Estudio de préstamos

Para analizar la viabilidad de un préstamo hay que atender a una serie de factores. Adaptando los criterios propuestos, para cualquier formación geológica en general, por Román (1994) a este caso, se destacan los siguientes:

- Disposición de los materiales

evaporíticos en la zona de préstamo y forma y extensión del mismo. Normalmente en las formaciones evaporíticas se presentan secuencias de yeso (capas basales) mezcladas con arcillas o margas, halita (capas intermedias) y sales potásicas y magnésicas (capas más altas). Es frecuente que los movimientos geológicos, tales como fracturas y fallas, hayan alterado la disposición inicial.

- Tipo de maquinaria a utilizar en el arranque, la extracción y el transporte.

- Posición del nivel freático, previsiones meteorológicas. El agua puede comprometer el buen funcionamiento de la obra, por lo que tiene que estar controlada la humedad en todo el proceso. En épocas lluviosas no se puede construir con estos materiales.

- Estabilidad de la excavación.
- Afecciones a terceros.
- Impacto ambiental y visual.

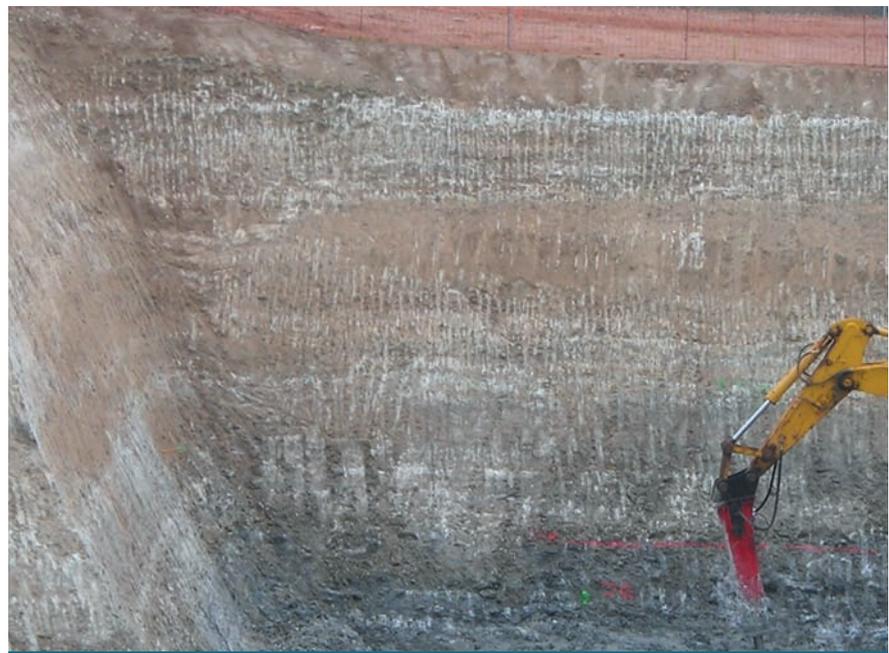
### 3.2. Cimentación

La necesidad de garantizar una buena cimentación del terraplén es común a todos los materiales de relleno y se deben contemplar los efectos sobre la resistencia y deformabilidad.

Sin embargo, la presencia de niveles freáticos altos o de aguas superficiales y la permeabilidad del terraplén, pueden comprometer de manera especial el buen comportamiento de los materiales evaporíticos, si el sistema de encapsulado es ineficaz.

### 3.3. Diseño geométrico

Los taludes habituales en terraplenes viarios (1.5H:1V; 2H:1V) obedecen muchas veces más a criterios prácticos de construcción que a requerimientos por exigencias estrictas de resistencia estructural. Las características geotécnicas del yeso hacen que estos valores sean apropiados en cuanto a la resistencia de la estructura en su conjunto, aunque sí pueden afectar a las deformaciones previstas en el conjunto, en la medida en que con taludes más verticales se producirán mayores deformaciones.



Talud y fondo de excavación en materiales yesíferos.

### 3.4. Protección del material

Es importante que en el diseño se especifique el sistema de encapsulado y la zonificación del terraplén.

Los materiales yesíferos tienen que estar debidamente encapsulados en el núcleo del terraplén, para evitar el contacto directo con la intemperie y con el agua. La construcción de espaldones, cimientado y coronación de arcilla o la disposición de materiales de aislamiento tiene que ser considerada necesariamente en el proyecto y en la planificación de la obra.

Existen dos tendencias en el encapsulado: capa de arcilla compactada con intensidad o membranas impermeables. Las experiencias españolas han utilizado ambos sistemas de encapsulado.

Lo que se pretende con estas técnicas es evitar la afección del agua a los materiales yesíferos.

### 3.5 Extracción y colocación (extruido y compactado)

Hay que tener en cuenta, especialmente que:

- La obtención de una configuración granulométrica adecuada de los materiales yesíferos puede exigir un mecanismo de extracción de las rocas yesíferas determinado, de modo que la granulometría inicial sea apropiada, y sobre todo que la energía de compactación sea suficientemen-

te intensa como para conseguir el fin buscado.

- Generalmente es deseable compactar del lado seco y sin apenas humedecer el material, por lo que es necesario utilizar equipos de compactación pesados (de rodillos o tipo "pata de cabra") que pulvericen el material o lo lleven a granulometrías estables. El nivel de compactación tiene que ser intenso (Soriano, 2002 y 2007; Simic, 2004; Castanedo, 2007). Un sistema tipo mixto, con el uso de un rodillo liso y del "pata de cabra" puede ser adecuado, si se consigue desmenuzar mecánicamente el material para acercarlo a la granulometría deseada (continua y extendida).

- Si se trata de una mezcla de arcillas expansivas con presencia de sulfatos, no se puede añadir cal para mejorar sus propiedades mecánicas, ya que ésta reacciona con los sulfatos y produce etringita, que es expansiva (Olalla et al., 2004; Simic, 2007). El límite de sulfatos difiere según las normativas, pero suele estar por debajo o del orden del 1%.

### 3.6. Control

No está definido cuál es el procedimiento de control más apropiado para estos materiales. La presencia de yeso puede condicionar la utilización de mecanismos de control habituales.

De manera complementaria a las prácticas clásicas de control del compactado, algunas recomendaciones al respecto son:

- El densímetro nuclear puede medir no sólo el agua libre sino también el agua constitutiva. Por eso se tienen que efectuar de manera permanente y cambiar las correcciones adecuadas de los resultados obtenidos (Soriano, 2002).

- La medida en laboratorio de la humedad requiere el secado y pesado a dos temperaturas distintas (40 °C y 105 °C), a las que se espera que el yeso pierda el agua libre y el agua constitutiva, respectivamente.

- Los ensayos de macrodensidad en campo son especialmente adecuados, cuando las granulometrías son extendidas (tipo todouno). La dificultad surge a la hora de utilizar agua para medir el volumen, por la posible afección de este al material de relleno si no se efectúa con las precauciones adecuadas.

- El control de la humedad de obra mediante otras técnicas como el *Speedy Water Meter*, basado en la adición de reactivos químicos y medición de la concentración, puede ser adecuado.

- Otros mecanismos como la placa de carga estática o la placa dinámica son muy apropiados para estos materiales. Los primeros ya se incluyen en algunas normativas españolas como mecanismos de control para pedraplenes y todounos. Los segundos ya se incluyen en las normativas francesas o alemanas (Fdez. Tadeo, 2006 y Saldaña et al., 2004).

- Durante la compactación se ha observado, en algunas ocasiones, la generación de nódulos, aglomerados de materiales, grumos, etc. que pueden afectar negativamente al comportamiento del conjunto (Burbano, 1999).

## 4 Comportamiento

### 4.1. Generalidades

Los tipos de fallo de terraplén más frecuentes son: rotura del cimiento,



Probeta fabricada con materiales yesíferos. Fotografía: Hernán Patiño.

rotura del contacto entre cimiento y terraplén, rotura del cuerpo del terraplén, deslizamientos superficiales, asentamientos del cimiento, expansiones y retracciones, colapso, deformaciones de fluencia, subsidencia, erosiones y asentamientos locales junto a estructuras (Soriano, 1994).

De todos estos modos de fallo, la utilización de materiales yesíferos en el núcleo del terraplén podría incidir fundamentalmente en:

- Expansiones y retracciones (por hidratación de fases anhidras).

- Colapso (por disolución del material).

- Deformaciones de fluencia (largo plazo).

La influencia en todos ellos tiene que ver con el carácter de roca blanda y la naturaleza evolutiva del yeso.

### 4.2. Colapso por disolución

La solubilidad del yeso y de las sales es muy superior a la de otras rocas también solubles (tales como las calizas). No cabe duda que el único modo de garantizar el buen funcionamiento de las rocas evaporíticas es asegurar que el núcleo de yeso se mantiene en todo momento al margen de flujos de agua e incluso de los cambios de humedad.

### 4.3. Expansiones y retracciones

Las rocas evaporíticas tienen un

fuerte carácter evolutivo, de modo que la presencia de agua puede suponer expansiones, presiones de hinchamiento y disminución de volumen.

Las expansiones en el caso del yeso pueden deberse a la hidratación de las fases anhidras (de Villanueva y G<sup>a</sup> Santos, 2002) o al crecimiento dinámico de cristales (Esteban, 1990; GETINSA, 2007; Alonso y Olivella, 2008).

Es frecuente la presencia de proporciones de anhídrita mezcladas con el yeso dihidratado. Al triturar el material, estas fracciones pueden entrar en contacto con el agua libre y rehidratarse. La anhídrita natural tiene distinto sistema cristalográfico que la anhídrita obtenida al deshidratar yeso aljez en estufa. El proceso de hidratación es doble: disolución y precipitación. Este proceso es mucho más lento y algo más expansivo que el de la anhídrita artificial.

Para atenuar los efectos perniciosos de estas rehidrataciones en el conjunto, es necesario conocer la composición mineralógica del material para evitar en la medida de lo posible la adición de agua libre que pueda hidratar estas fracciones.

Además de la hidratación de la anhídrita, el crecimiento dinámico de cristales (disolución del yeso y precipita-

ción en núcleos más favorables) es un fenómeno que puede producir expansiones y presiones de hinchamiento. Este fenómeno es especialmente importante en sistemas abiertos (como, por ejemplo, la excavación de un túnel) donde el crecimiento dinámico de cristales en las fisuras se debe a los flujos de agua y aire. Cuando el yeso está en contacto con el agua se inicia la disolución de éste hasta que el agua se satura. Si el sistema está en contacto con la atmósfera y se evapora, aumenta la concentración y el yeso comienza a precipitar, haciéndolo en los núcleos favorables a ello que son generalmente otros cristales. Si, además, el agua puede circular es más notable el crecimiento de cristales en las zonas más favorables (fisuras, por ejemplo).

Existen algunos materiales yesíferos, como los limos yesíferos de Aljafarín, con estructuras colapsables (Faraco, 1972). Un lavado de estos materiales, en los que el yeso es una parte fundamental, produce el colapso por disolución. Estos suelos han sido estudiados por sus efectos perniciosos para cimentaciones, pero es necesario analizar cómo se comportarían si se utilizan como material de relleno, y, especialmente, cómo cambiaría su estructura durante la compactación).

#### 4.4. Deformaciones de fluencia

Es necesario, en este tipo de materiales, conocer cómo evoluciona su comportamiento a lo largo del tiempo, para identificar posibles problemas que afecten al servicio.

Una vez evitados errores en la construcción que puedan suponer expansiones o disoluciones, la fluencia y los factores que la condicionan, son los factores que hay que estudiar más importantes en cuanto a su afección al servicio de la estructura.

Las deformaciones de fluencia se producen lentamente y se pueden deber a cambios en la humedad, consolidación secundaria en suelos blandos y, especialmente en este caso, a la degradación de los contactos entre partículas, rotura de las mismas y posterior reordenación. Este



Construcción de una explanada o plataforma sobre materiales yesíferos con aportación de suelo.

último proceso depende de la fluencia de la roca (deformación bajo carga constante) y de la pérdida de resistencia a largo plazo que se produce en los fragmentos del aljez. Esta fluencia de las rocas se explica por las deformaciones diferidas entre los planos de los cristales de la roca, o por la generación y crecimiento de las propias fracturas.

La presencia de agua aumenta ambos efectos, porque facilita el deslizamiento entre planos de cristales y porque disminuye la resistencia. La temperatura, el nivel de tensiones y la presión de confinamiento afectan a la magnitud del fenómeno. Pero en el caso de materiales evolutivos, como el yeso, la presencia de agua aumenta además la fluencia por causas fisicoquímicas, por lo que es muy importante controlar su presencia en el proceso constructivo.

## 5 Experiencias con materiales yesíferos en España

A continuación se recogen, de manera muy sintética, algunas experiencias españolas de utilización en terraplenes de yesos o arcillas yesíferas en

España. Estos datos se han obtenido de artículos publicados o conferencias dictadas, y se refieren a obras ejecutadas recientemente, pues hasta hace unos pocos años las normativas eran más restrictivas y no permitían la utilización de materiales con un alto contenido en sulfatos.

Se tiene también constatación de otras obras de importancia llevadas a cabo en el entorno de la ciudad de Zaragoza, pero la no disponibilidad de documentos publicados ha impedido mostrar detalles de sus logros.

#### 5.1. Terraplenes contruidos con yesos

– Pedraplén de yeso experimental en paso superior M-45 (Castanedo, 2007): Yeso procedente de ripado (granulometría extendida). IPI (CBR sin inundar) < 20, con colapso < 2% y  $9 < \alpha < 13$ . En el núcleo, relleno tipo sándwich, con todouno de yeso ripado, compactado en tongadas de 50 a 60 cm mediante maquinaria de cadenas, intercalado con capas de arenas yesíferas. Los espaldones, con ancho de 4,5 m, de yeso ripado colocado en tongadas de 25 ó 30 cm compactadas enérgicamente mediante pata de cabra.

– Ferrocarril de Pinto a San Mar-

tín de la Vega (Castanedo, 2007): El yeso obtenido por voladura (demasiado duro para el ripado) al que se exigió unas características granulométricas determinadas. El núcleo consistió en un todouno o pedraplén de yeso compactado en tongadas de 60 cm a 1 m, sobre un cimientado de todo uno y con una base de geotextil impermeable. La parte superior dispone de una capa de transición de todouno de yeso y va protegida por una lámina impermeabilizante y los espaldones de 2,40 m de anchura de arcilla tratada con cal (el mismo material que en coronación)

– Variante de la Carretera M-307 en San Martín de la Vega (Castanedo, 2007): Todouno de yeso colocado en tongadas de 0,90 m, protegido por espaldones de 2,40 m de material tolerable y lámina impermeabilizante. Los yesos eran desde masivos y cristalizados hasta yesos con intercalaciones margosas.

– Autopista R-4 (Madrid) (Soriano, 2007 y 2009): Todouno de yeso ( $D_{max} < 25$  cm) dispuesto en núcleo encapsulado superior, lateral e inferiormente, compactado en tongadas de menos de 35 cm. La altura máxima del terraplén es de 16 m y la máxima altura de todouno dispuesto fue 12 m. El encapsulado lateral, de 2,50 m, se dispuso como sobreaño del terraplén, admitiendo hasta un 30% de yeso y cubierto con 50 cm de tierra vegetal. El yeso queda en todo momento a más de 1,5 m de la coronación, lo que obligó a disponer de un material arcilloso impermeable entre la coronación y el núcleo.

### 5.2. Terraplenes contruidos con arcillas yesíferas

– Autopista Burgos – Málzaga (Soriano, 2002; Castanedo, 2007): Construida en los años 1976 y 1977, en el tramo comprendido entre Burgos y Pancorbo. La altura de los terraplenes oscilaba entre 3 y 30 m. Se trataba de una matriz arcillosa con porcentajes comprendidos entre un 30 y un 40% de yeso, con una granulometría predominante de grava.

Se construyó sin especial protección y con una compactación muy cuidada (tongadas de 30 ó 40 cm, del lado seco y con rodillo vibratorio). No ha presentado problemas a largo plazo.

– CN-340 en Xátiva (Valencia) (Morilla, 1994; Castanedo, 2007): Mezclas de yeso y arcilla con porcentajes variados. Las arcillas son de plasticidad media (IP de 13 y LL de 40), con predominio de illita y un contenido reducido de montmorillonita. Se recomienda la compactación con rodillo vibrante y alta energía de compactación, en tongadas de 30 cm, o mediante un rodillo vibratorio pata de cabra con altura máxima de tongada de 20 cm, y con humedad no superior a la óptima del Proctor menos un 2% (es decir, del lado seco)

– Terraplenes en las autopistas del sureste de Madrid (Simic, 2004): Se utilizaron arcillas y arenas micáceas con yeso secundario en forma de cristales dispersos y nódulos diagenéticos en terraplenes. Se trata de materiales de granulometría y composición homogénea, con contenidos bajos en finos, y con contenidos me-

**Las normativas, con el paso de los años, han ido permitiendo, bajo determinadas restricciones y exigencias de control, el uso de materiales con un contenido importante de componentes yesíferos**

dios y altos en arenas ricas en moscovita e illita y elevados en yeso, intercalados con fracciones arcillosas donde el combinado de illita y moscovita es el mayoritario (siendo el de otros filosilicatos muy bajo). El potencial expansivo o de colapso de estas muestras es muy bajo (medido en cédula edométrica). El material se dispuso en el núcleo, encapsulado totalmente, con explanada y espaldones impermeables (y sin contenido de sulfatos). Para ello, se procedió al extendido y desmoronamiento de fragmentos del material con un Bulldozer y se compactó con un rodillo pata de cabra (de peso estático superior a 30 t) hasta alcanzar una densidad superior al 97% de la densidad Proctor Normal, mediante 6 u 8 pasadas dobles (en función de la proporción yeso y arcilla). La humedad natural era ligeramente superior a la del Proctor Normal. Un hecho destacado es que se observó un crecimiento con el tiempo de los módulos de deformación del segundo ciclo de carga y una reducción de la relación de módulos. Los ensayos de huella fueron satisfactorios, obteniéndose una media en seis tongadas de 3,2 mm.

– Terraplén de ensayo de margayeso (Soriano, 2002): Terraplenes contruidos con mezclas de margas y yeso (en relación 60% - 40%), dispuestos en obra de modo que el tamaño máximo de los bolos de yeso fuese inferior a 30 cm y las tongadas menores de 40 cm. El resultado fue  $E_1 > 40$  MPa y  $E_2/E_1 > 5$  MPa, con una fluencia apreciable ( $>20\%$  en un día). El colapso también fue apreciable.

## 6. Conclusiones

1. Gracias a los ensayos de laboratorio y al estudio de la respuesta de los materiales yesíferos frente a los efectos del cambio de humedad, para las tensiones en que se encuentra, el estado del conocimiento de sus pautas de comportamiento es más profundo y extenso.

2. Las normativas nacionales e in-

ternacionales, con el paso de los años, han ido permitiendo, bajo determinadas restricciones y exigencias de control, el uso de materiales con un contenido importante de componentes yesíferos.

3. La colocación en obra de los materiales yesíferos debe pretender un máximo desmenuzamiento, un alto grado de compactación (preferiblemente del lado seco), la imposibilidad de variación de las condiciones de humedad y un control exhaustivo en obra.

4. Es necesario seguir investigando acerca del uso de materiales yesíferos en terraplenes de infraestructuras viarias. Además de ensayos de laboratorio, es muy interesante la construcción de terraplenes experimentales y posterior auscultación y experimentación, a lo largo de los años.

## Reconocimientos

GETINSA y el Departamento de Ingeniería del Terreno de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid han colaborado en la investigación sobre el uso de materiales evaporíticos en terraplenes a través de un convenio firmado por la Fundación Agustín de Betancourt, dedicada a promover la investigación científica y técnica.

Los ensayos de laboratorio se realizaron con materiales evaporíticos provenientes del Mar de Ontígola, en la cuenca del Tajo. Las muestras se obtuvieron del material procedente de las excavaciones del túnel, que construye el ADIF, perteneciente al tramo: Aranjuez-Ontígola, de la futura L.A.V. Madrid-Valencia.

GETINSA y la UPM agradecen al Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) que les permitiese y facilitase la extracción de las muestras necesarias para la investigación. Estos materiales no son aptos para la construcción y plantean importantes problemas de interacción con las infraestructuras próximas por los riesgos asociados a fenómenos de disolución y expansividad.



Desmorte en materiales yesíferos. Se aprecia la granulometría de todo uno del material en el pie del talud

## Referencias

Alonso E. y Olivella, S., 2008. Expansive Gypsum Claystones: Mechanism and degradation models. Jornada técnica: Túneles en condiciones difíciles. Madrid. Sociedad Española de Mecánica de Rocas.

Burbano, G., 1999. Incorporation of unless or substandard products (high plasticity clay, gypsum...) for embankment construction. Ground treatments, ENCORD Workshop (Madrid).

Castanedo, F. J., 2007. Metodología para el encapsulado y estabilización de yesos. II Jornada sobre materiales marginales en obras viarias (Sevilla). Asociación Técnica de Carreteras.

Domingo Ayuso, A., Olías, I., Torroja, J., Castanedo, F. J. y Oteo, C., 2000. Caracterización de los materiales yesíferos del Mioceno de la Cuenca de Madrid para su utilización en cuerpo de terraplenes y realización de un terraplén experimental. Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte (Barcelona). Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.

Escarío, V., 1986. Materiales para la construcción de terraplenes. Simposio sobre terraplenes, pedraplenes y otros rellenos. Madrid. Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, Sociedad Española

de Mecánica de Rocas y Asociación Española Permanente de los Congresos de Carreteras.

Esteban, F., 1990. Caracterización experimental de la expansividad de una roca evaporítica. Identificación de los mecanismos de hinchamiento. CEDEX, Cuadernos de Investigación, Vol. C28.

Faraco, C., 1972. Estudio del colapso de la estructura de los limos yesíferos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Fdez. Tadeo, C., 2006. Ensayo de placa de carga dinámica de 300 mm de diámetro. Boletín de la Asociación de Laboratorios Acreditados de la Comunidad de Madrid (ALACAM).

FHA, 1980. Design and Construction of Shale Embankments, Summary. Federal Highway Administration. FHWA-TS-80-219 PB89-0229330.

GETINSA, 2007. Informe interno sobre el Control y Vigilancia de las obras del proyecto: "Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo Zaragoza-Lleida. (Subtramos III y IV).

Justo, J. L., 1971. Propiedades geotécnicas de los terrenos yesíferos. Congreso Hispano-luso-americano de Geología Económica. Madrid.

LCPC, 2003. Manual práctico para la utilización de los materiales naturales en la construcción de terraplenes

(extracto de la Guide Technique Réalisation des Remblais et des Couches de Formes). Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

López Laborda, J. R. y Secades F., 2000. Estudio sobre la evolución a medio y largo plazo de una mezcla de limo yesífero con cal. Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte (Barcelona), Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.

Morilla, I., 1994. Propuesta de utilización de materiales yesíferos del triásico en el proyecto de terraplenes. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial. Vigo. Asociación Técnica de Carreteras.

Olalla, C., Fernández T. y Fraile, M. J., 2004. El ataque por los sulfatos a las estabilizaciones de suelos con cal. IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial (Santander). Asociación Técnica de la Carretera.

Rodríguez Ortiz, J. M., 1994. Empleo y comportamiento de materiales yesíferos gruesos en rellenos. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial (Vi-

go). Asociación Técnica de Carreteras.

Román, F., 1994. Selección de préstamos. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo. Asociación Nacional de Geotecnia Vial.

Saldaña Martín, F., Crespo del Río, R., Fernández Carral, C., 2004. Comparación entre ensayos de carga con placa y ensayos con deflectómetro de impacto portátil.

Simic, D., 2004. Utilización en terraplenes de los materiales de las facies intermedias químico-evaporíticas del sureste de Madrid. IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial (Santander). Asociación Técnica de la Carretera.

Simic, D., 2007. Experiencias del tratamiento con cal en las autopistas M-50 y R-4. II Jornada sobre materiales marginales en obras viarias. Sevilla.

Soriano, A., 1989. Puesta en obra y compactación de rellenos en obras de infraestructura viaria. Simposio sobre el Agua y el Terreno en las Infraestructuras Viarias. Torremolinos

(España) 1989. Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones y Asociación Técnica de Carreteras.

Soriano, A., 1994. Características del comportamiento de terraplenes y pedraplenes. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo. Asociación Nacional de Geotecnia Vial.

Soriano, A., 2002. Los materiales yesíferos en la construcción de terraplenes. Jornadas sobre los suelos marginales en la construcción de Obras Lineales, INTEVIA, Sevilla.

Soriano, A., 2007. Ejecución de rellenos con materiales yesíferos. II Jornada sobre materiales marginales en obras viarias (Sevilla). Asociación Técnica de Carreteras.

Soriano, A., 2009. Materiales yesíferos. Jornadas sobre Terraplenes y Pedraplenes en carreteras y ferrocarriles, INTEVIA, Madrid.

De Villanueva, L. y García Santos, A., 2001. Manual del yeso. Asociación Técnica y Empresarial del Yeso. CIE Inversiones Editoriales. Madrid. ■

# RUTAS

REVISTA DE LA A.I.P.C.R. ESPAÑOLA

Para información y suscripciones pueden dirigirse a:

Asociación Técnica de Carreteras  
Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha.  
Teléf. 91 308 23 18/19  
28010 MADRID

Talón

Giro

Transferencia

NOMBRE .....

CIF .....

DIRECCIÓN .....

TFNO. .... CIUDAD .....

PROVINCIA .....

AÑO 2009

FECHA:

FIRMA:

Deseo suscribirme por un año a la revista RUTAS, cuyo importe de 60,10 € para miembros de la A.I.P.C.R. y 66,11 € para no miembros (+ 4% I.V.A. y gastos de envío) correspondiente envío adjunto por:

*Inventemos el futuro*

**REPSOL**



# Un camino sólido hacia el bienestar de todos.



Las infraestructuras viales y su constante mejora constituyen el motor del progreso que nos permite a todos aumentar nuestra calidad de vida, aportándonos seguridad, ahorro de tiempo y comodidad. Por eso trabajamos para facilitar la vida de las personas que recorren con nosotros el camino hacia el futuro y el bienestar.

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

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

# Análisis probabilista de riesgo en túneles. La Directiva Europea



Ensayo de fuego en San Pedro de Anes (Asturias).

Ignacio del Rey, Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica (CEMIM); y Enrique Alarcón, Sociedad de Investigación, Estudios y Experimentación (SINEX, S.A.).

## Resumen

El incremento de los intercambios comerciales y del parque de vehículos ha provocado una continua exigencia sobre las condiciones del trazado de carreteras que ha influido en el aumento del número de túneles.

Los accidentes catastróficos concentrados alrededor del nuevo siglo han dado lugar al cambio de paradigma sobre las exigencias de seguridad, y han aumentado el énfasis so-

bre la importancia de la toma de decisiones basada explícitamente en criterios objetivos de determinación del riesgo, tal como obliga la Directiva 2004/54/EC de la Unión Europea. Cada país ha intentado adecuarse a ella recomendando tipos de procedimientos diferentes.

En este artículo se trata de poner en perspectiva la situación y describir algunos enfoques de los que se dispone actualmente.

**Palabras clave:** análisis de riesgo, túneles, seguridad, incendio, metodología.

## 1. Introducción

La construcción de túneles está íntimamente ligada al aumento de las

exigencias sobre trazado de las carreteras y ha experimentado un desarrollo explosivo con el crecimiento de la actividad económica y el incremento del número de vehículos particulares.

La *figura 1(a)* (Savy 2007, ref. [29]), de la página siguiente, indica la correlación existente entre la actividad económica de los países desarrollados (medida por su PIB) y el volumen interior de transporte de mercancía medido en toneladas-kilómetro, mientras que la *figura 1b*, de la DGT, muestra el desarrollo explosivo del parque de vehículos en España en miles de unidades.

Conviene recordar que, de todo el transporte terrestre europeo, el llevado a cabo por carretera significa el 85% en mercancías y el 90% en pa-

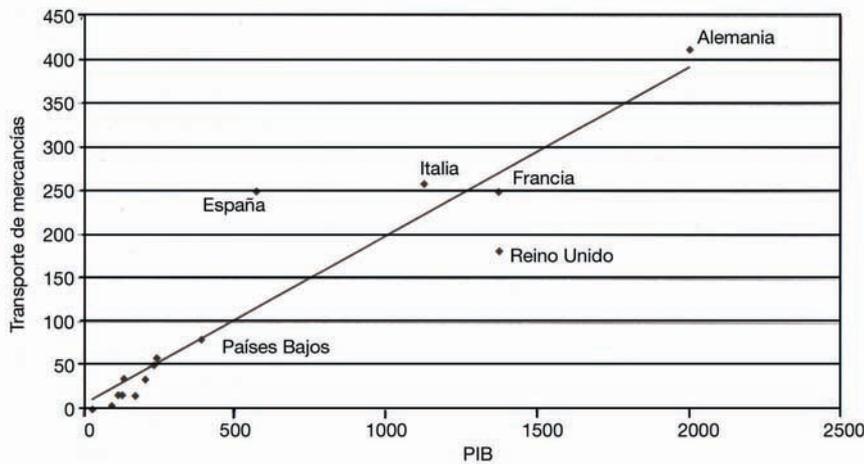


Figura 1a.

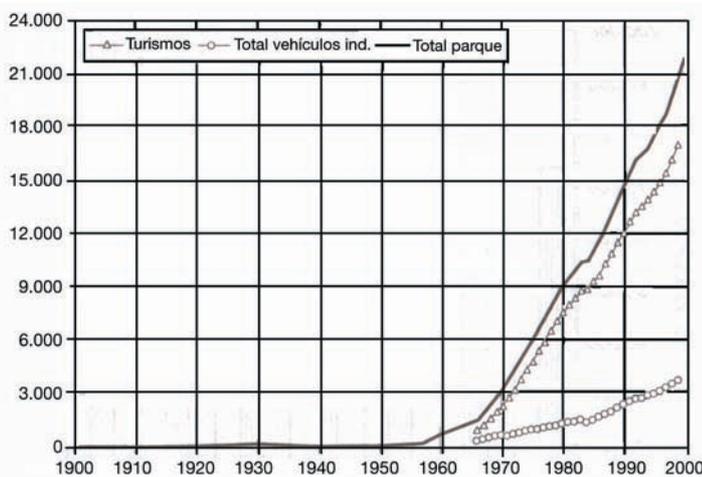


Figura 1b.

sajeros. Estos usuarios exigen unas condiciones de confort y velocidad que han influido especialmente en las características geométricas (radios, pendientes, ancho y número de carriles, etc.), a las que debe ajustarse, con independencia de la topografía del terreno y el trazado de las carreteras.

Así, puentes y túneles han visto aumentada su importancia en número y longitud, y ha crecido igualmente la responsabilidad de los servicios de explotación que pasan a jugar un papel clave tanto en el mantenimiento del trazado como en la seguridad del tráfico que les es exigida por los individuos y por las agrupaciones sociales.

Por ello, los organismos dedicados a la explotación se ven necesitados de procedimientos y métodos que los ayuden en la toma de decisiones en unas condiciones de velocidad de respuesta muy variada.

Por ejemplo, el aumento del conocimiento técnico reflejado en las Normas de buena práctica obliga a un

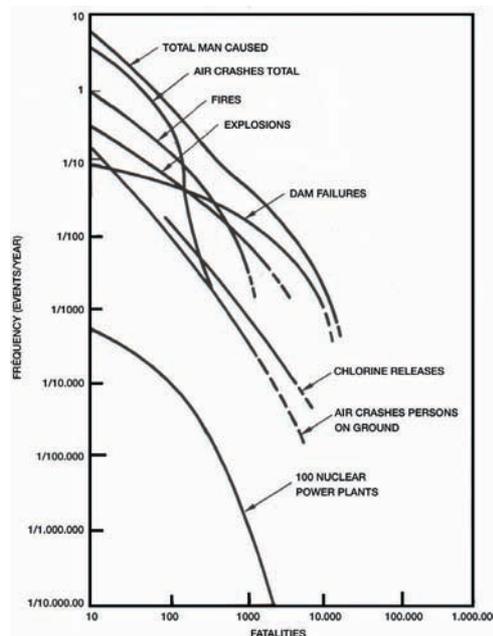


Figura 2. Frecuencia de sucesos conducentes a N o más muertes.

reacondicionamiento de las infraestructuras con un carácter que podría denominarse preventivo y que puede llevarse a cabo a medio plazo, mientras que las emergencias o los accidentes obligan a una acción inmediata que, en el caso de las grandes catástrofes, debe consensuarse y armonizarse con multitud de instituciones, lo que obliga al mantenimiento de protocolos muy claros y a ejercicios de simulación *in situ* para entrenamiento y coordinación de los equipos de salvamento.

De la misma forma podría calibrarse el papel de los accidentes en las acciones de codificación que impulsan y acompañan el progreso en ingeniería. Los pequeños incidentes ponen de manifiesto problemas no contemplados durante el proyecto o mal resueltos por el estado del conocimiento. Por ello suelen limitar su impacto a los círculos técnicos responsables y acaban en actualizaciones de las Normas y Códigos que afectan al problema en cuestión. Sin embargo, las grandes catástrofes producen no sólo convulsiones técnicas sino alarma social e intervenciones políticas radicales que pueden dar lugar, además de las actualizaciones de la práctica técnica, al cambio completo de paradigma normativo, tal como ha sucedido en el caso que nos ocupa.

Todo ello está relacionado con un fenómeno bien conocido, relacionado con la percepción pública del riesgo, que no es igual para situaciones de alta probabilidad y pocas consecuencias o para aquellas de baja probabilidad y muchas consecuencias.

Para evaluar éstas últimas, se suele hablar en la literatura anglosajona de la regla de las 3 D: *deaths, dollars and downtime* que, manteniendo las iniciales, sería traducible como "coste" de los decesos, dinero y demoras.

Un ejemplo clásico de medida de las consecuencias en número de muertes es el gráfico de frecuencias de la figura 2 (U.S. N.R.C. 1975), tipo de representación sobre el que se tratará más adelante.

Utilizando este criterio, podría decirse que, en el caso de los túneles de carretera, una catástrofe como el incendio, con gran impacto en la opinión pública, se mantenía en niveles asumibles hasta finales del siglo pasado.

Repentinamente, entre 1999 y 2001 (ref. [3]) se registraron 4 incendios que provocaron un total de 70 muertos, siendo el más dañino el que originó la catástrofe del Mont Blanc con 39 víctimas mortales. Además, aunque no era de carretera, en noviembre de 2000 se produjeron 170 muertos en un incendio del funicular de Kaprun, cuando el vagón circulaba por el interior del túnel de llegada.

Ello produjo una alarma social inmensa y la intervención de las autoridades nacionales y comunitarias que condujo a la publicación, el 29 de abril de 2004, de una Directiva europea que hace obligatorio para todos los países el planteamiento de una metodología de "Análisis de Riesgos" que sirva como instrumento para conseguir niveles de seguridad semejantes en la red transeuropea de carreteras.

Desde entonces se han multiplicado los esfuerzos en los diferentes países miembros de la Unión y, en este momento, la variedad de las soluciones propuestas es tal que no existe una metodología unificada a la que acogerse.

En este artículo se enumeran en primer lugar los hitos históricos que muestran la evolución de las ideas; a continuación se describen someramente algunos conceptos y herramientas que se manejan habitualmente, y, para finalizar, se resume la estructura de algunos métodos actualmente en uso en países de la Unión Europea.

## 2. Evolución y contexto

Como se dijo más arriba, el año 1999, en que se produjeron los incendios en Mont Blanc (39 muertos) y Tauern (12 muertos), marca un antes y un después en la historia de la normativa relacionada con la seguridad frente a incendios.

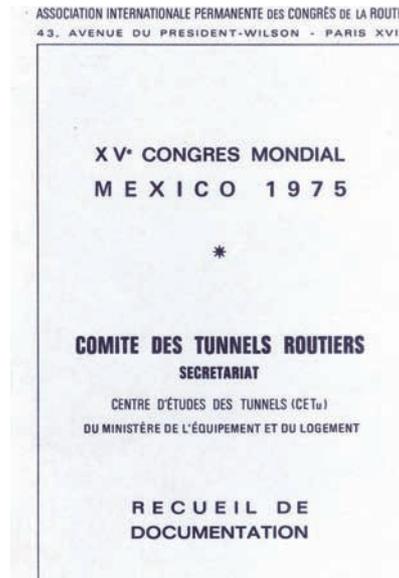


Figura 3a.

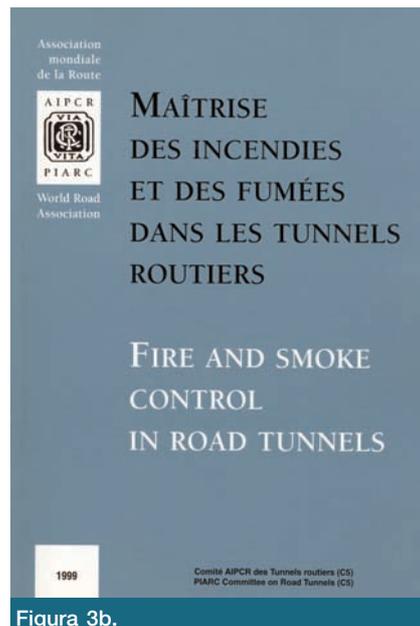


Figura 3b.

Ciertamente, la profesión tenía sus preocupaciones respecto a la manera de afrontar el problema, tal como se observa al comparar la atención dedicada al incendio por publicaciones emitidas por PIARC (figura 3).

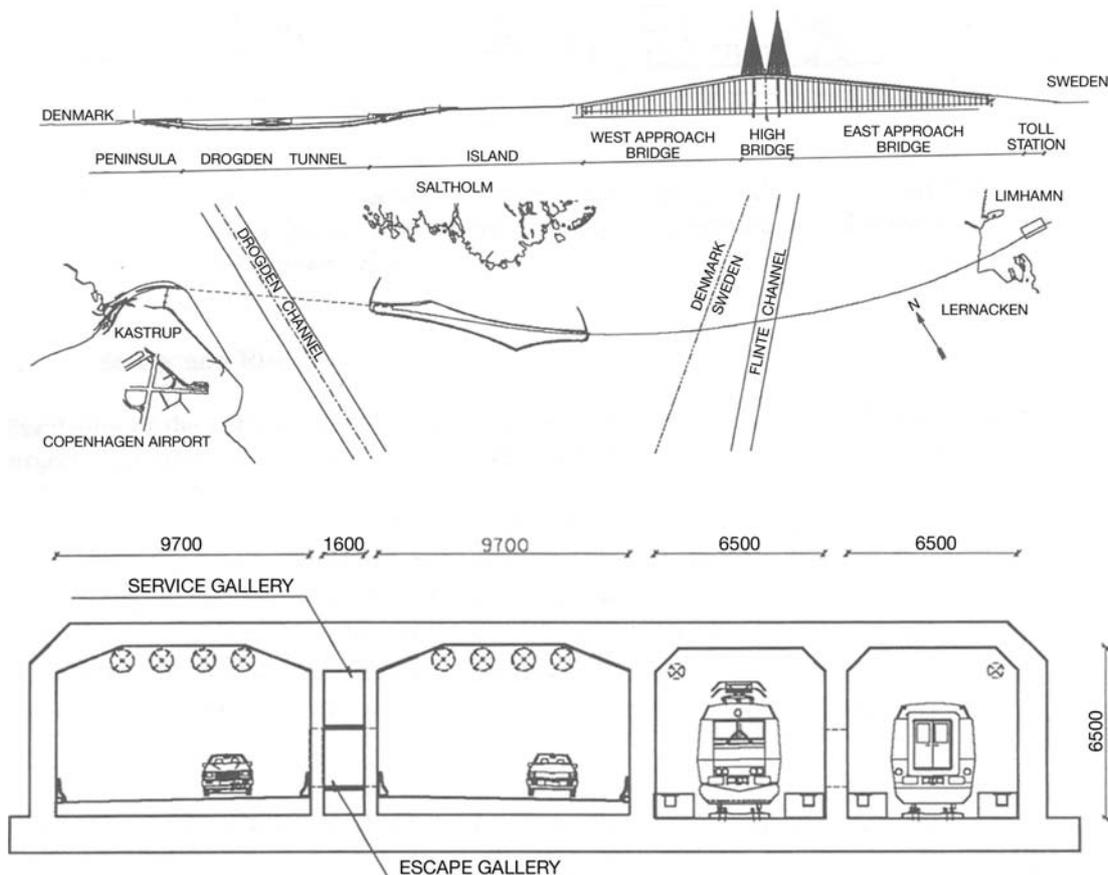
Mientras que el Manual editado tras el Congreso de México en 1975 (ref. [26]) apenas dedicaba 3 páginas a los problemas creados por los incendios, las 300 páginas consagradas exclusivamente al tema en la publicación de 1999 "Fire and smoke control in road tunnels" alcanzaba un éxito sin precedentes (ref. [25]). En el ínterin se habían ido redactando publicaciones que recogían la experiencia adquirida en ensayos de laboratorio o en túneles

abandonados y acondicionados para servir como modelos a escala natural (Repparfjord (1992), Memorial túnel (1995), etc.). Cada país tenía sus propias recomendaciones emitidas por los organismos correspondientes (CE-TU en Francia, RABT en Alemania, etc.), donde el enfoque era prescriptivo y determinista.

Existía, sin embargo, una tradición de análisis probabilista en el campo de la seguridad estructural que había sido iniciado por Freudenthal (ref. [16]), a mitad de los años 40, y desarrollado por Torroja desde su puesto en el Comité Europeo del Hormigón que defendía un enfoque basado en estados límites y factores de ponderación que, calibrados con métodos probabilistas de nivel II, alteraban mínimamente los hábitos de cálculo de los proyectistas.

Este enfoque acogido entusiastamente en Dinamarca, Alemania y Estados Unidos podía haber servido de modelo en el caso de los túneles. Los progresos de la teoría de la decisión y el enfoque bayesiano de la probabilidad, unidos a los riesgos implícitos en los sectores nuclear y aeroespacial, fueron los que finalmente condujeron a la realización de los primeros estudios probabilistas de riesgo (PRA) que, recibidos con desconfianza en un principio, fueron considerados con más atención tras los accidentes de Three Mile Island de 1979, o del Challenger en 1986, cuando se vio que, estimaciones de respectivos PRA, despreciadas como aparentemente pesimistas en su momento, habrían resultado decisivas de haber recibido mayor atención por los responsables. En 1981, la Nuclear Regulatory Commission lanzó el "Manual de árboles de fallo" (ref. [30]) y en 1983 la "Procedures Guide" para PRA (ref. [23]) que contribuyeron a difundir en otras especialidades el uso de estos métodos.

La tendencia fue seguida por la industria química europea que, desde el año 78, procedió a estudios sistemáticos que recibieron el impulso definitivo tras el accidente de Seveso, que originó en 1982 la emisión de una Directiva europea (ref. [11]) en la que,



Figuras 4a y 4b.

como claro precedente de la situación que nos ocupa, se recomendaba que cada país asumiera la responsabilidad de desarrollar su metodología para el análisis y la gestión del riesgo. Holanda condujo una profunda investigación sobre métodos para la determinación cuantitativa del riesgo relacionado con el procesamiento industrial de objetos potencialmente peligrosos, y emitió una normativa de obligado cumplimiento por las empresas que incluía la elaboración periódica de un Informe Externo de Seguridad.

No es por ello extraño que la Normativa holandesa para túneles (KIVI, ref. [21]), que fue presentada en España en el Congreso de Gijón de 1994 (ref. [18]), recogiese ya un enfoque probabilista importante y que sus expertos tuviesen un papel destacado en el proyecto OCDE-PIARC que, entre los años 1995-2001, produjo las primeras versiones del programa DGQRAM donde se desarrolla una metodología de análisis de riesgos para transporte de mercancías peligrosas que llega hasta hoy en día.

Algunas obras de ingeniería civil de

excepcional importancia comenzaron a ser tratadas con las técnicas de PRA. Una de las que tuvo mayor repercusión fue la dedicada a la unión fija entre Dinamarca y Suecia a través del Øresund. La figura 4a representa la sección longitudinal del túnel de 3,7 km bajo el canal Drogben, mientras que la figura 4b recoge una sección transversal de los tubos para tráfico carretero y ferroviario (ref. [12]).

Su estudio PRA fue presentado por Karlsson y Ditlevsen (ref. [20]) en la reunión convocada en 1995, en la ETH de Zürich por J. Schneider (autor de una excelente obra sobre análisis probabilista, ref. [28]), para analizar el estado del arte y su posible aplicación para el estudio PRA del gran túnel ferroviario San Gotardo.

Para entonces, la Comisión de las Comunidades Europeas (CEC), tras constatar la proliferación de modelos destinados a estudios de peligrosidad en ambientes industriales, había creado en 1992 el MEG (*Model Evaluation Group*) encargado de mejorar la cultura relacionada con el uso de

modelos matemáticos para el estudio de riesgos y para ayudar a la CEC en la selección de aspectos necesitados de investigación más profunda. En este grupo tuvieron un papel predominante los miembros del *Riso National Laboratory* danés y los holandeses de TNO, quienes crearon un protocolo aplicable al estudio, verificación y validación para asegurar la calidad científica de los métodos, la comprobación de la congruencia de los resultados con las predicciones del modelo y con el establecimiento de un proceso de comprobación de su validez (selección de la base de datos, selección de parámetros, estimación de la incertidumbre, comparaciones, etc.) (ref. [24]).

Como se decía en el apartado anterior, en el período 1995-2001 se lanzó un programa de cooperación entre la OCDE y PIARC, titulado "*Transport of dangerous goods through road tunnels*", que pretendía, mediante el desarrollo de métodos de evaluación del riesgo, racionalizar y armonizar el proceso de toma de decisiones respecto a las rutas más con-

venientes para el transporte de mercancías peligrosas.

El proyecto, financiado por 11 países, condujo a la elaboración del programa DG-QRAM y a una clasificación de túneles basada en el riesgo de explosiones, fugas de gases o líquidos volátiles e incendio, así como a un principio de clasificación de túneles por categorías según el riesgo de la carga que tiene prohibido su paso por ellos, clasificación que ha llegado hasta nuestros días con la incorporación al ADR 2007 (ref. [1]). El informe final OCED/PIARC se publicó en octubre de 2001 y el propio programa DG-QRAM fue terminado y depurado entre 2001-2005.

Tras las catástrofes de Mont Blanc y Tauern, los países implicados procedieron a la reconsideración de su normativa y la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE) publicó, en Diciembre de 2001, un informe sobre la seguridad en los túneles que incidía (figura 5) en la necesidad de tomar medidas, acordadas en toda Europa, sobre las exigencias no sólo a vehículos e infraestructuras sino a la formación de los usuarios y al desarrollo de una gestión de la explotación basada en principios racionales.

Los Jefes de los Estados miembros de la Comunidad Europea, acuciados por la demanda social, lanzaron redes de proyectos (DARTS, UNTUN, SAFE TUNNEL, FIT, etc.), pero la elaboración de una política común de seguridad en los túneles no fue una prioridad hasta que en 2001 se produjo la catástrofe del Gotardo con 11 muertos y se tomó la decisión de preparar una Directiva Europea. Ésta, 2004/54/EC, fue publicada el 24 de abril de 2004 para fijar los requisitos mínimos en túneles de la red transeuropea. En sus 20 artículos establece condiciones sobre responsabilidades, procedimientos y medidas de seguridad aplicables a todos los túneles de más de 500 m, tanto a nivel de proyecto, como para los ya construidos que deben reacondicionarse en un plazo comprendido entre 10 y 15 años.

Además, todos los países de la

Unión, más Noruega y Suiza, procedieron a trasponer la Directiva que adoptó el enfoque global de UNECE tendente a la prevención y reducción de consecuencias. Respecto a la metodología de análisis de riesgos, en su artículo 13, se establece su obligatoriedad lo que, como se decía en la Introducción, representa una evolución por decreto desde las Normas prescriptivas a un nuevo paradigma que, hasta ese momento, no había sido universalmente aceptado.

Sin embargo, la Directiva no especifica el método tipo ni establece criterios fijos de gestión de riesgo, dejando en libertad a los diferentes Estados miembros para seleccionar su propia metodología. También sugería que el 30 de abril de 2009 publicaría un informe sobre la práctica adoptada por cada Estado para lo que se apoyaría en el asesoramiento de la PIARC.

De hecho, en el propio Comité de Túneles de PIARC, se organizó durante el ciclo 2004-2007 el "Working Group 2" sobre "Management of Road Tunnel Safety" formado por 30 miembros de 16 países, entre los que se encuentran Japón y Estados Unidos. En su primera publicación de 2005, sobre "Study on Risk Management for Roads", PIARC desarrollaba los principios del tratamiento del riesgo y la gestión de las emergencias. Este trabajo preliminar ha sido completado en 2008 mediante un informe con una extensión de casi 250 páginas en que se tratan los principios básicos del análisis de riesgo (capítulo 1), la metodología para el cálculo y la gestión (capítulo 2), el estado del arte en algunos países miembros de PIARC (capítulo 3) y un análisis detallado (capítulo 4) de los métodos usados en la práctica por los técnicos de Austria, Holanda, Francia e Italia, incluyéndose también una descripción del DG-QRAM citado anteriormente. La publicación se completa con 3 apéndices con algunos ejemplos prácticos. A falta del informe prometido en la Directiva, la publicación de PIARC es posiblemente el documento más completo de que se dispone en este

momento para análisis comparativos de normativa (ref. [27]).

Por otro lado, las modificaciones incorporadas en julio del 2007 al Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera, anteriormente citado, establecen una clasificación de las mercancías peligrosas, mediante el denominado Código de Restricción en Túnel, de acuerdo con cinco categorías (A, B, C, D, E) en función del peligro potencial de explosión, fuga tóxica o incendio. Este código se relaciona con el túnel a través del cual pueden ser transportadas, con objeto de seleccionar itinerarios recomendados de transporte (ITRP). Este acuerdo, ratificado por nuestro país y aceptado por los agentes institucionales y sociales involucrados, es obligatorio a partir de enero de 2010 e implica de nuevo el uso sistemático de una herramienta basada en la evaluación cuantitativa de riesgos.

Además de las publicaciones citadas, el tema ha sido tratado en Congresos o Seminarios específicos, como los organizados por PIARC para la difusión del DG-QRAM, celebrados en febrero de 2007 y 2010 en París; el *Workshop* organizado en Atenas, en diciembre de 2008; y las distintas reuniones del grupo de trabajo 2 del Comité de Túneles de PIARC, en abril de 2009; o, la más reciente de noviembre de 2009, en Verona, en la que se celebró una Jornada Técnica con el título "Road Tunnel Safety. State of the Art in the Alpine Countries". Todos estos actos han tenido asistencias masivas que contrastan con el limitado número de expertos (21) invitados a participar en el precursor *Workshop on Stochastic Risk Modelling* de noviembre del 95, en Zürich, citado anteriormente.

En España, la evolución de los proyectos y tendencias ha seguido, con cierto retraso, las líneas generales europeas. Probablemente, la primera llamada de atención se produjo en el Congreso de Gijón ya citado (ref. [18]) donde los métodos CFD, los ensayos en túneles abandonados y la importancia del análisis de riesgos fue-

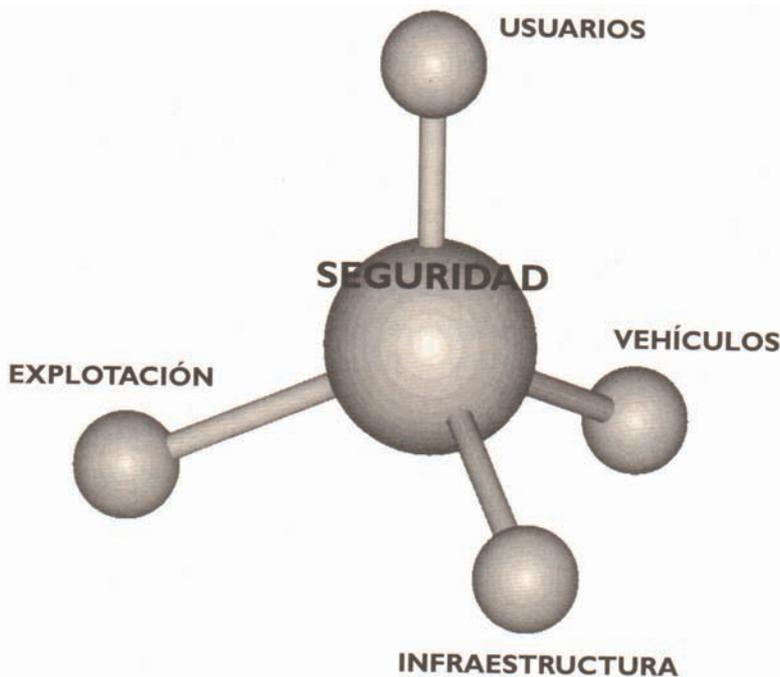


Figura 5.

ron los temas seleccionados por sus organizadores, I. García-Arango y F. Hacar, para abrir las sesiones con conferenciantes expresamente invitados. El proyecto y construcción del túnel de Somport, dirigido por R. López-Guarga en colaboración competitiva con los técnicos franceses, obligó a una puesta al día de los constructores, suministradores de equipos, proyectistas y responsables. A ello cabe añadir el dinamismo del Comité ATC y el empuje provocado por la construcción de túneles nuevos de todas las categorías, tanto en la red de carreteras como en medio urbano.

En noviembre de 1998, el Ministerio de Fomento publicaba la Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-1998) complementada, tras el incendio en el túnel de Mont Blanc, por un borrador de Nota de Servicio de la Dirección General de Carreteras sobre el equipamiento de los túneles de carretera, mientras la Dirección General de Ferrocarriles se embarcaba en la elaboración de una Norma, aunque, desgraciadamente, sin superar la etapa de borrador.

Numerosas instituciones de todo tipo: Colegios profesionales, empre-

sas privadas, universidades, etc., impulsaron reuniones de divulgación. El propio Ministerio de Fomento organizó en colaboración con la Real Academia de Ingeniería (que había dedicado la lección inaugural del curso 2002 a la seguridad de los túneles ref. [3]), un seminario titulado “Seguridad frente a Incendios en túneles” (ref. [4]) que, al igual que un curso en septiembre del mismo año en la Universidad de Santander, tuvo una asistencia masiva.

Los congresos de Carreteras de Jaca (1999), Pamplona (2003) y Andorra (2005), organizados por la Asociación Técnica de Carreteras, recibieron comunicaciones que reflejaban la evolución del conocimiento. Los autores de este artículo hicieron en los dos últimos, en la lección inaugural del Máster de túneles de AETOS y en las “Jornadas Técnicas sobre la explotación y la gestión de riesgos en túneles viarios”, hincapié en la importancia del análisis de riesgo (ref. [2] y [9]), que poco después pasó a ser de obligado desarrollo con la trasposición de la Directiva Europea mediante el Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo.

Entre la labor de difusión del mismo cabe citar la jornada sobre análisis de riesgos organizada en el Cole-

gio de Ingenieros de Caminos de Madrid por uno de los autores de este artículo (ref. [8]), en colaboración con M. Romana, quien se ocupó de la seguridad en la etapa constructiva. En la misma sesión participaron los miembros del grupo de trabajo de PIARC en análisis de riesgos E. Ruffin, quien explicó la aportación de INERIS al desarrollo del DG-QRAM y Jelle Hoeksma que presentó el método holandés.

Desde la aparición del R.D., el Ministerio de Fomento exige una auditoría externa del anejo de seguridad de los proyectos para comprobar su adaptación a aquél. Algunas empresas e instituciones (IDOM, EUROESTUDIOS, CEMIM, etc.) han desarrollado su propia metodología, pero no puede decirse que exista un “método español” equivalente a los mostrados en el informe PIARC.

### 3. Conceptos

Una de las primeras citas que relaciona más claramente las ideas de peligrosidad (hazard) y consecuencias con el concepto de riesgo se remonta a 1662 (ref. [5]). “El terror que sienten las personas por los truenos es irracional puesto que el temor al daño debería ser proporcional no sólo a la gravedad del perjuicio sino también a la probabilidad del suceso y como casi no hay ningún tipo de muerte más infrecuente que la muerte por una tormenta de truenos, difícilmente haya una que debería ocasionar menos temor”. Algo después, en 1730, Daniel Bernoulli introduce la idea de esperanza “moral” o utilidad esperada como la probabilidad de un resultado multiplicada por su valor para el agente”.

Queda así una expresión del tipo:  
 Riesgo= Peligrosidad x Daño  
 O, como se utiliza en ingeniería sismica:

Riesgo= Peligrosidad x Vulnerabilidad x Valor

Si se agrupan los dos últimos términos en el más general de “Consecuencia” se obtiene:

Riesgo = Peligrosidad x Consecuencias.  
 donde peligrosidad es la probabilidad

de superación de un determinado nivel de la amenaza, en un cierto intervalo de tiempo y en un emplazamiento dado. Algunos autores (ref. [19]) introducen una variante

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Peligrosidad}}{\text{Medidas preventivas}}$$

con objeto de remarcar la inexistencia práctica del riesgo nulo.

El análisis de riesgos es una metodología completa que da sus mejores frutos si se adopta con carácter general.

En este sentido debe entenderse que el análisis cuantitativo incluye:

- Una política global desde las instituciones gubernamentales nacionales o supramacionales.
- Una gestión del riesgo.
- La definición de los criterios de aceptabilidad.
- Una metodología de análisis.
- Una adopción de medidas reductoras.

### 3.1. Análisis de riesgo

El análisis de riesgos comprende:

- La descripción del sistema y la recolección de información básica.
- La identificación de los peligros (averías, colisiones, fuego, explosiones, etc.).
- El cálculo de las frecuencias y consecuencias.
- La determinación del riesgo individual y los perfiles de riesgo, también llamados riesgos colectivos.
- La comparación con criterios de aceptabilidad o túneles patrón que

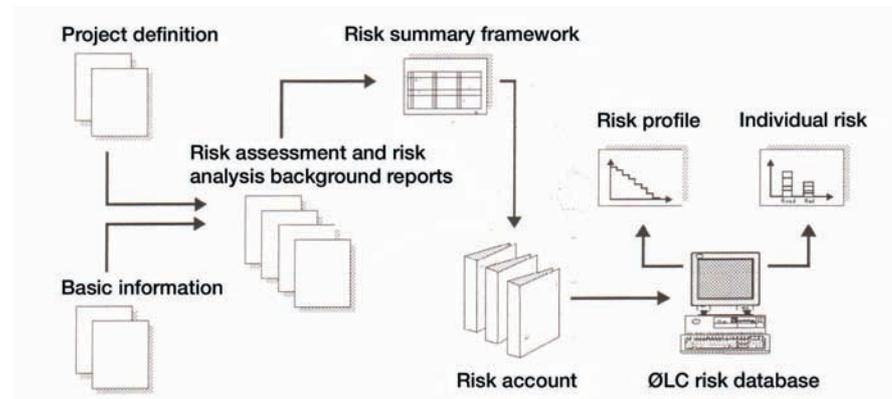


Figura 6.

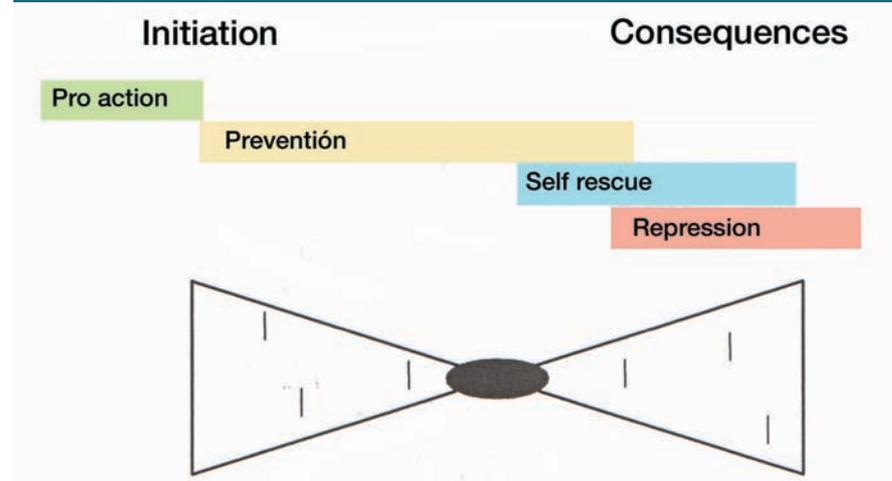


Figura 7.

sean considerados seguros.

— El análisis debe ser completado por la gestión de riesgos entre los que cabe incluir el almacenamiento, ordenación y actualización sistemática (figura 6, ref. [20]) de la información.

Finalmente deben aplicarse las medidas correctoras en la propia obra o en sus alrededores que reduzcan los riesgos anteriores.

El proceso seguido en el análisis de riesgo se suele esquematizar mediante un gráfico de mariposa (figura 7) en que el centro lo ocupa el llamado suceso desencadenante, y, a izquierda y derecha, respectivamente, se identifican los sucesos que han llevado al suceso crítico y las consecuencias que se desprenden de él.

El desarrollo del suceso se hace re-

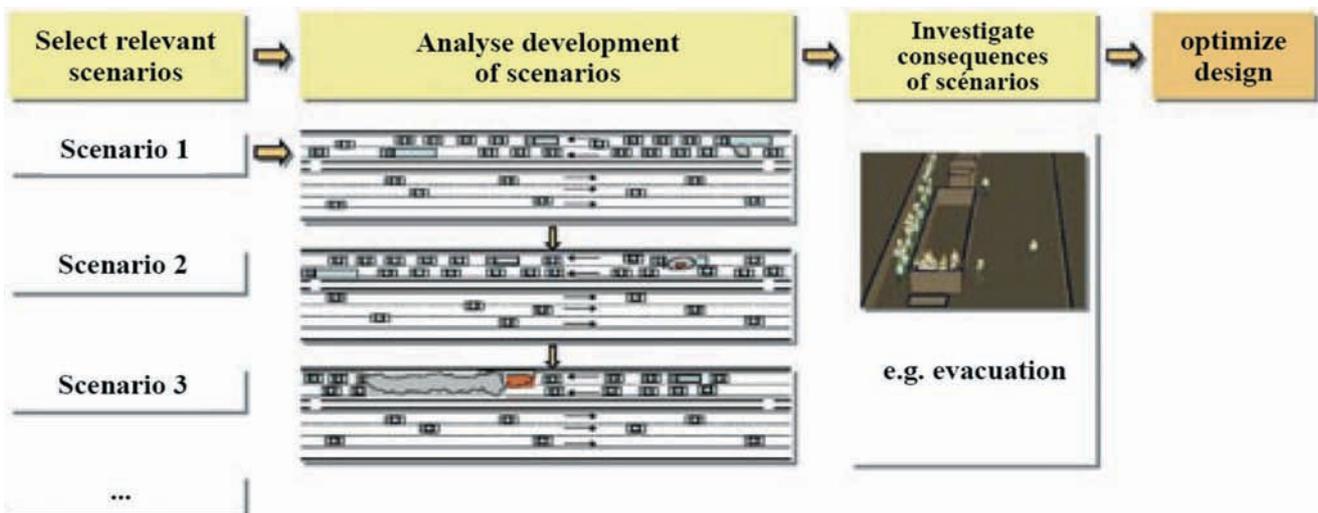


Figura 8.

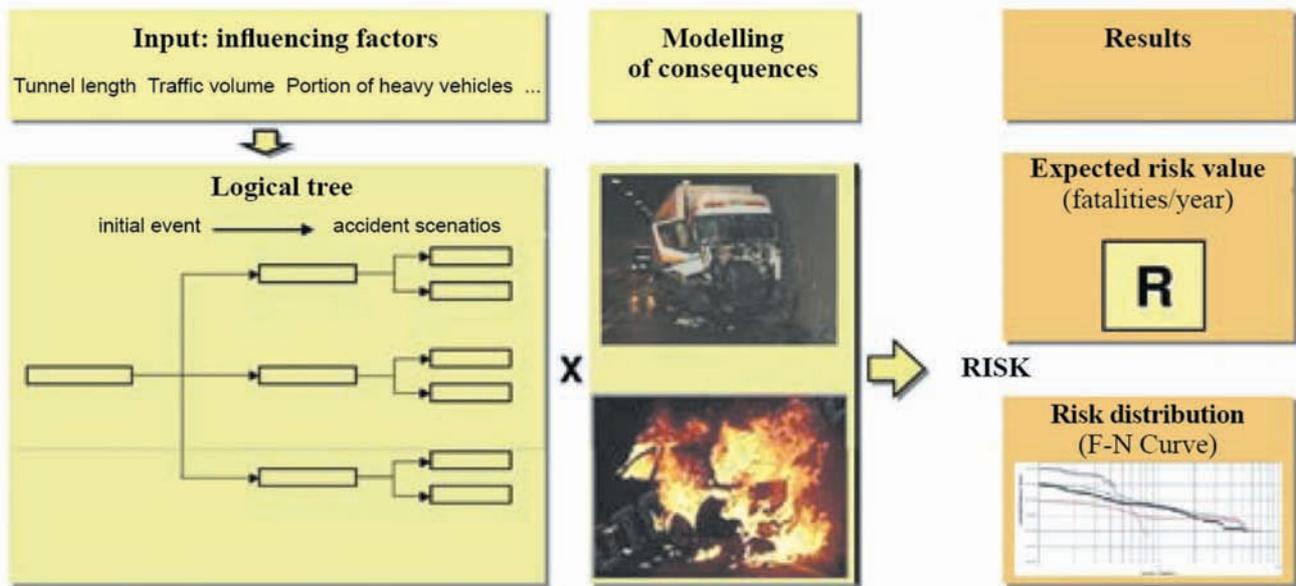


Figura 9.

construyendo hacia atrás mediante árboles de fallo de la probabilidad de las posibles causas que lo han originado.

Es un análisis muy interesante pues, en la etapa de corrección de errores, permite tomar decisiones sobre medidas de prevención.

El desarrollo del incidente, que sirve para analizar los efectos que el suceso desencadenante puede producir, se hace mediante árboles de sucesos que al combinarse producen escenarios de cálculo. En la etapa de corrección de errores, esta estructura permite tomar decisiones sobre equipamientos de seguridad, medidas de evacuación, etc. Por ejemplo, un análisis detallado de la duración de cada secuencia de sucesos puede contribuir (ref. [10]) a una planificación realista de las medidas de emergencia.

El informe PIARC de 2008 (ref. [27]) establece dos familias o tipos de riesgos: el enfoque mediante escenarios y el enfoque sistémico.

En el primero se selecciona un conjunto de escenarios relevantes y se estudian su frecuencia y sus consecuencias (figura 8).

El establecimiento del riesgo se hace separadamente para CADA escenario INDIVIDUAL.

En el enfoque sistémico (figura 9) se estudia el sistema total mediante un proceso integrado que incluye TODOS los escenarios relevantes para el

	I Minor of none	II Significant	III Critical	IV Catastrophic	V Major catastrophe
A very frequent					
B frequent					
C ocasional					
D rare					
E very rare					
F extremely rare					

Figura 10.

riesgo del TÚNEL, con lo que se obtienen valores de riesgo para el sistema total.

Dentro de cada familia, los métodos pueden ser cualitativos o cuantitativos. Los primeros están basados en el conocimiento acumulado y en el juicio de expertos sobre escenarios posibles que, a veces, se organizan mediante matrices de daño en la que se identifican frecuencias de sucesos y consecuencias. Las frecuencias se agrupan en categorías cualitativas del tipo de “muy frecuente”, “ocasional”, “muy raro”, etc., mientras que las consecuencias se tipifican por categorías de intensidad como “poca o nula”, “significativa”, “critica”, “catastrófica”, etc.

La figura 10 recoge uno de los tipos indicados en el informe PIARC que puede utilizarse para cribar los escenarios que se estiman más perjudiciales y completarlos con un procedimiento típico de 3 etapas: en la

primera, se separan los casos estimados como seguros; en la segunda, se analizan los casos restantes mediante métodos cuantitativos simplificados; y, en la tercera, se estudian los escenarios que exigen más detalle mediante métodos cuantitativos detallados. Podría decirse que se trata de métodos semicuantitativos que enlazan con la práctica prescriptiva habitual.

Los métodos cuantitativos aplican la teoría de los árboles de decisión, incluyendo en las ramas de los árboles de fallo y de sucesos las probabilidades relativas de cada acontecimiento. Con ello se puede representar, para cada rama final, la probabilidad encadenada y, estudiando las consecuencias inducidas (medida según PIARC en número de muertos), establecer el par (frecuencia, consecuencia) que sirve para definir el riesgo (figura 11a, de la página siguiente).

Aquí cabe distinguir de nuevo dos alternativas. Normalmente para cada

caso, a pesar de trabajar con un enfoque probabilista, se termina con dos valores numéricos: uno para la frecuencia y otro para las consecuencias, de modo que el cálculo conduce, para cada caso final, a un único valor (el área de la *figura 11a*) y el esquema mental acaba siendo determinista.

Sin embargo, frecuencia y consecuencias son valores estocásticos que deberían definirse mediante distribuciones de probabilidad, de modo que el riesgo es igualmente una variable estocástica.

Situaciones de este estilo se pueden modelar mediante técnicas bayesianas suponiendo que los datos siguen distribuciones hipotéticas fijas y que la consecución de nuevos datos, mediante experimentos físicos o numéricos, sirven para actualizar esas hipótesis *a priori* sobre la distribución de probabilidad de los parámetros de la distribución (a veces, mediante distribuciones conjugadas para simplificar los cálculos). Como dice Bunn (ref. [7]) "los méritos de la inferencia bayesiana no son debidos al teorema de Bayes *per-se*, sino que radican en (1) la revisión de probabilidades subjetivas mediante la información nueva y (2) el tratamiento de la incertidumbre de los parámetros mediante una distribución de probabilidad", y ello permite una mejora acumulativa de la calidad los modelos.

Como veremos, casi todos los métodos cuantitativos planteados hasta ahora son del tipo "determinista" indicado.

### 3. 2. Las curvas F-N

Buscando una representación del riesgo total, los pares de valores (frecuencia, consecuencia) pueden ordenarse y establecer una curva (f, N) de frecuencias de sucesos con N muertos, de modo que la acumulada con la condición "superación de N", conduce a la complementaria de la función de distribución (ya que esta última representa la probabilidad de los valores inferiores a un determinado N). Puesto que se tienen, tanto valores con baja probabilidad y alta consecuencias, como con alta probabilidad

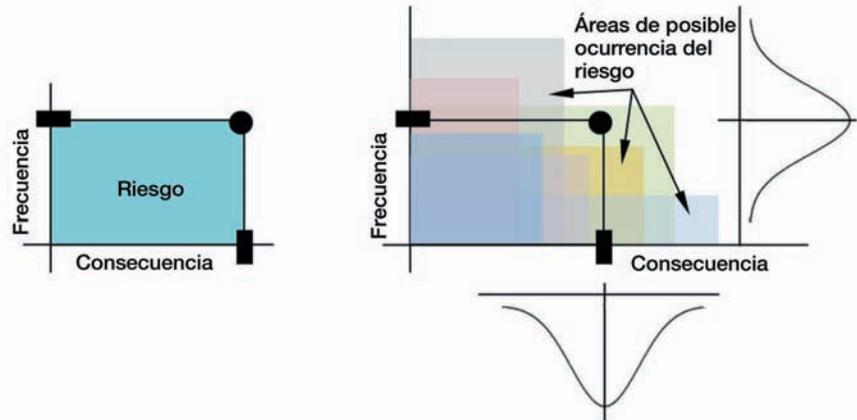


Figura 11.

y bajas consecuencias, es costumbre representar la curva en escala logarítmica decimal.

La primera curva de este tipo, usando frecuencias absolutas, fue propuesta por Farmer (1967) analizando escapes de reactores nucleares, por lo que, a veces (ref. [6]), se indica que la F del par (F,N), con que se deno-

minan las curvas, es un reconocimiento a su apellido.

Un ejemplo típico de esta representación es la *figura 12* donde se muestran los resultados, en la línea escalonada, del análisis del túnel ferroviario de Drogden en la travesía del Øresund citada en el apartado 2.

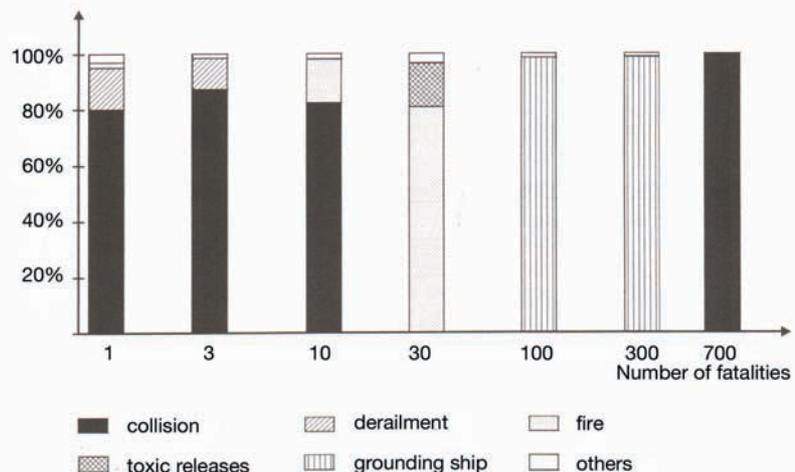
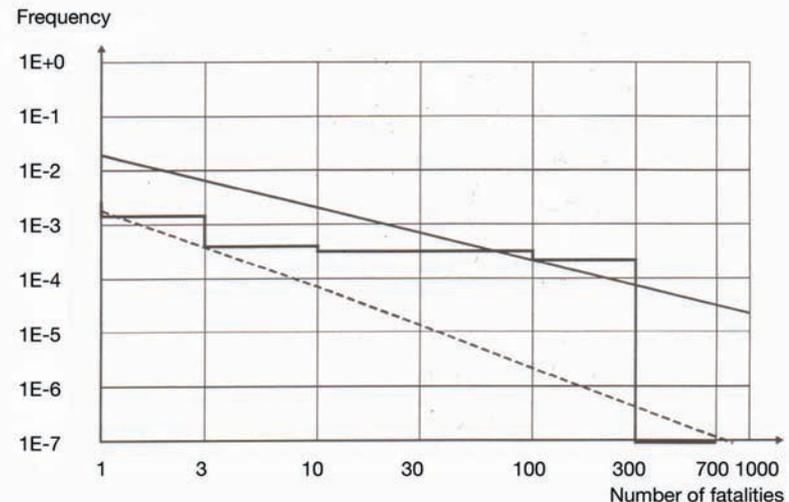


Figura 12.

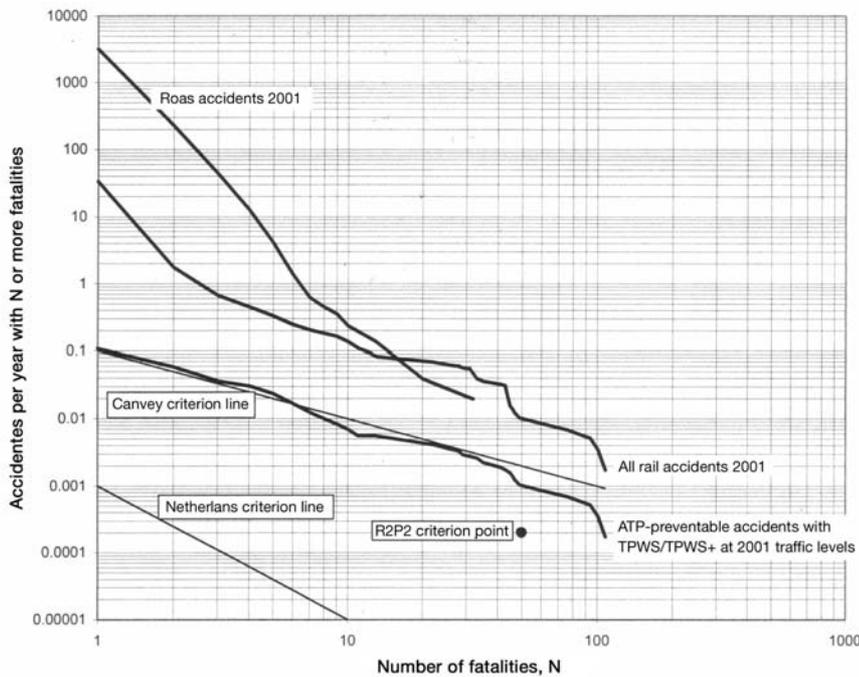


Figura 13a.

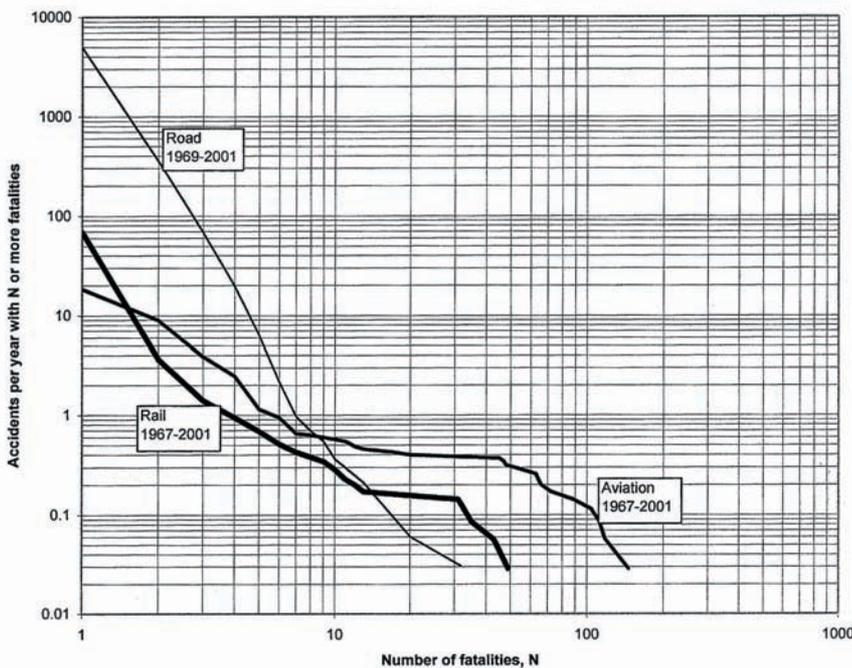


Figura 13b.

Bajo ella se encuentra la distribución de porcentajes de muerte debida a cada escenario, que podría transformarse en un histograma si se hubiese acotado la escala vertical.

De hecho un diagrama (F, N) es otra forma de representar la información habitual, pues la diferencia entre  $F(N)$  y  $F(N+1)$  es la frecuencia absoluta de accidentes con exactamente N muertos  $f(N)$ , y como ésta es no negativa  $F(N) \geq F(N+1)$  por lo que la cur-

va (F,N) debe ser decreciente. Obsérvese que, debido a ello,  $F(1)$  es la frecuencia de muertes totales y el valor  $f(N)$  puede escribirse como  $F(1) \cdot p(N)$  donde  $p(N)$  es la probabilidad de que un accidente produzca exactamente N muertos.

El sistema representado es tanto más seguro cuanto más baja esté su curva en el diagrama, pues tanto menor será la frecuencia de muertes.

Fue el gobierno holandés quien to-

mó la iniciativa en 1988 de promover un criterio dividiendo el primer cuadrante del dominio (F, N) en tres zonas mediante dos líneas rectas con pendientes - 2. La zona exterior representa una situación inaceptable, la próxima al origen la aceptable y la intermedia era llamada ALARA donde debían procurarse reducciones dirigidas por el principio "As low As Reasonably Achievable".

Según el criterio holandés, un nivel admisible de riesgo se consigue cuando la frecuencia es menor que  $10^{-3-2n}$ . Para  $N=1$  se tiene  $F \leq 10^{-3}$ .

La pendiente común en dos rectas significa que ambas representan la misma distribución de probabilidad, siendo la ordenada en el "origen"  $F(1)$  la que diferencia del número total de víctimas.

El *Health and Safety Executive* (HSE, ref. [17]) inglés decidió en 1991 sugerir un criterio semejante, pero tomando líneas con pendiente -1, menos exigentes por tanto respecto a los accidentes de menor probabilidad y más muertos, y definiendo la zona intermedia como ALARP esto es "As Low Reasonably Practical".

De hecho, la elección del criterio es puramente convencional y una expresión del tipo:

$$F(N) \leq \alpha N^\beta$$

se refleja en unas rectas de pendiente -  $\beta$  que puede producir incongruencias como que la combinación lineal de dos estados seguros conduzca a otro inseguro (ref. [13]).

Los puntos de paso de las rectas se fijan mediante valores definidos en un punto.

La regla del 10% que se utiliza en ingeniería sísmica consideraría como límite inaceptable la situación que produjese 50 o más muertos con un periodo de retorno de 500 años, es decir, con una probabilidad anual de  $2 \cdot 10^{-3}$ . En el origen, ello conduce a un valor  $F(N)=10\%$ .

Es el mismo valor incluido por la HSE en el llamado "criterio Canvey", relativo al estudio de un complejo industrial en la isla de ese nombre, a finales de los años 70.

La recta segura se sitúa con una

milésima de estos valores con lo que  $F(1)=1.10^{-4}$  y  $F(50)= 2.10^{-6}$ .

En la *figura 13* (véase la *página anterior*), tomada de un informe de 2003 (ref. [14]) se recoge una comparación las curvas obtenidas en estudios estadísticos relativos a transportes por carretera, avión y ferrocarril, que se comparan con los criterios CANVEY, y el holandés, citado más anteriormente, que es mucho más estricto.

El punto R2P2, otro criterio contenido en un informe HSE de 2001 “*Reducing risk, protecting people*” es un orden de magnitud más estricto que el anterior, ya que una recta paralela al criterio del 10% daría una ordenada en el origen del 1%, (a pesar de lo cual es más optimista que el criterio holandés).

Además del riesgo social, se utiliza también como indicador el valor medio de muertes al año obtenido al integrar la curva de densidad de probabilidad, con lo que se obtiene el “valor esperado” EV, y, a partir de él, el riesgo individual, cuyo valor admisible se fija en  $10^{-7}$ /personas-km, como cociente entre EV y el número normal de personas-kilómetro que pasan por el túnel.

## 4. Descripción somera de algunas propuestas

Desde la emisión de la Directiva europea, algunos países han planteado, en los foros técnicos indicados en el apartado 2, sus propias soluciones. Como se dijo más arriba un enfoque muy detallado puede verse en el informe PIARC de 2008 donde los países, que así lo desearon, enviaron las propuestas que se consideraban representativas, así como algunos ejemplos de aplicación.

A excepción del DG-QRAM que, generalmente, es aceptado en todos los países como herramienta adecuada para el estudio del transporte de mercancías peligrosas, a continuación se comentan algunos de los casos más representativos (ref. [27]).

Debe recordarse que la Directiva deja en libertad al organismo regulador de cada país para elegir el méto-

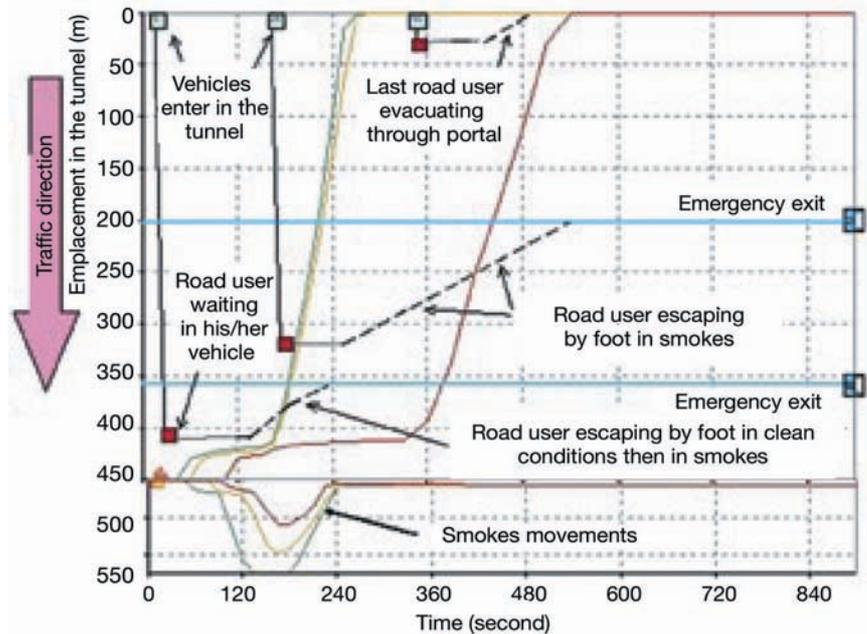


Figura 14.

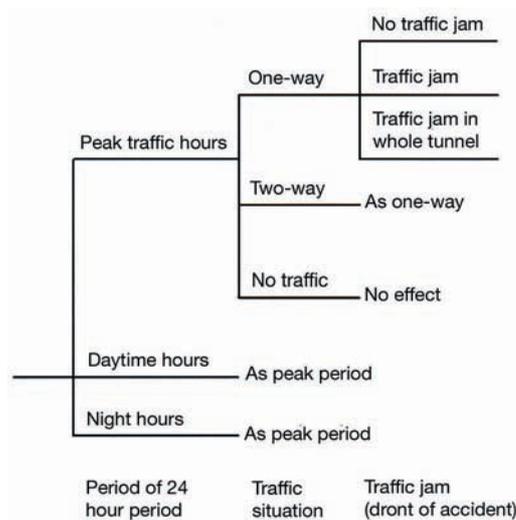


Figura 15a.

do que considere más adecuado.

### 4.1. Método CETU

El enfoque francés es de tipo pragmático: determinista, cualitativo-cuantitativo que aprovecha la experiencia adquirida tras el análisis de la seguridad de los túneles de más de 300 m existentes, o en proceso de construcción en Francia, después del accidente de Mont Blanc, y está descrito en el volumen 4 de la Guía de Documentación para la Seguridad, editado por el Centro de Estudios de Túneles (CETU).

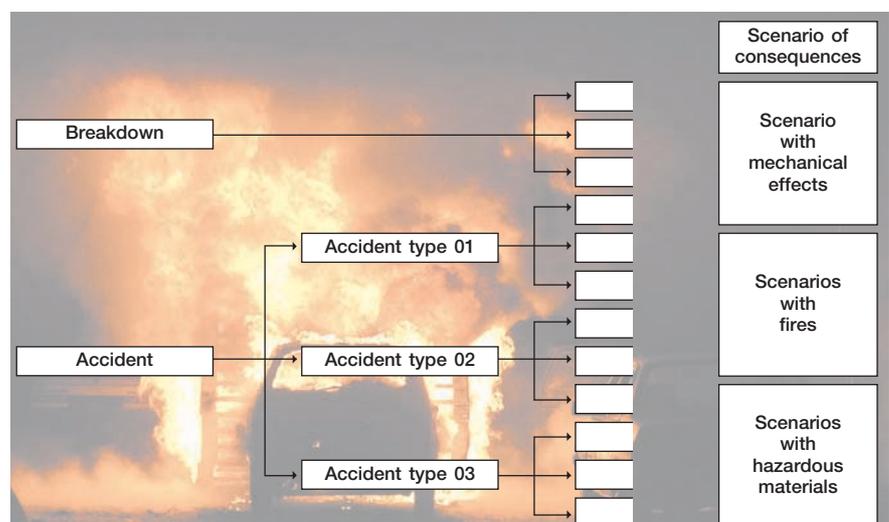


Figura 15b.

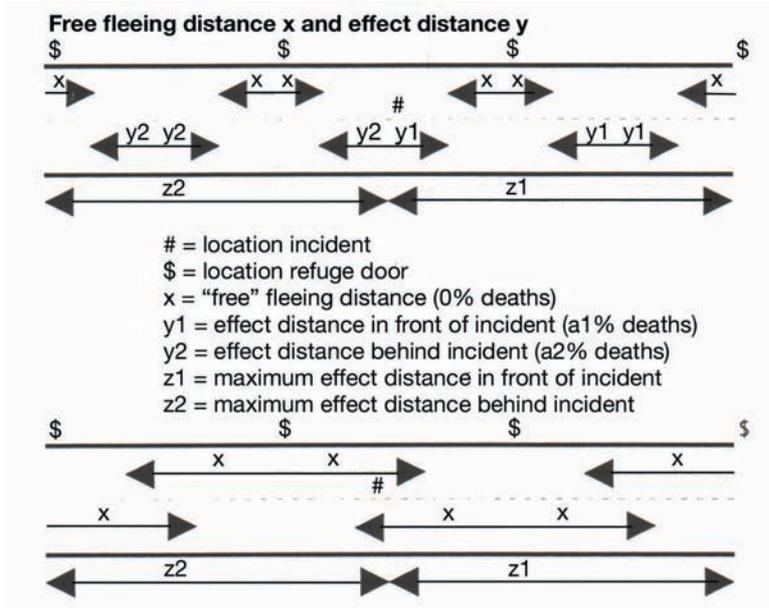


Figura 16.

El estudio cuantitativo de las frecuencias de los sucesos desencadenantes y una aplicación al túnel en estudio permite una clasificación de escenarios de acuerdo con una matriz frecuencia-consecuencias como la indicada en la figura 10.

Una vez separados los escenarios menos agresivos, se lleva a cabo un estudio cuantitativo de las consecuencias en un conjunto representativo extraído de la matriz anterior.

Es decir, se prescinde del ala izquierda de la "mariposa" de la figura 7 y se pasa directamente al estudio de escenarios con modelos tipificados de fuego. En ellos se acopla el modelo del desarrollo del fuego con otro de tráfico y de evacuación clásico en un diagrama x-t (figura 14) donde se compara la evolución de los contaminantes con las dosis recibidas por el trayecto de personas que se mueven hacia las salidas de emergencia o los vehículos.

Con ello, en túneles existentes que no cumplan las condiciones de la Directiva, se ve hasta qué punto queda comprometida la seguridad. También se pueden modelar las medidas tendentes a reducir las consecuencias.

Como se aprecia, el centro de la cuestión se fija en la seguridad del usuario y en su interacción con el

equipamiento y medidas que puedan ayudarle a su auto evacuación.

Sólo se utilizan modelos monodimensionales, reservándose el uso de CFD para situaciones especiales y no se recurre a ningún diagrama (F, N).

Así, la flexibilidad del método estriba en su aprovechamiento de la experiencia y la versatilidad de los modelos sencillos.

Sin embargo, no es adecuado para los transportes de mercancías peligrosas, para cuyos estudios se usa el programa DG-QRAM.

#### 4.2. Métodos holandés (TUNPRIM) y austríaco (TuRisMo)

Estos métodos utilizan un enfoque cuantitativo, sistémico y "determinista" (en el sentido expuesto al final del punto 3.1).

Los árboles de fallo del ala izquierda de la "mariposa" (figura 7) son sustituidos por un análisis estadístico de la base de datos que permite iniciar el proceso tras identificar una serie de sucesos desencadenantes. Es decir, el punto de arranque del estudio es el accidente.

El árbol de sucesos del Centre for Tunnel Safety holandés comprendía 25 sucesos que en el programa actual han sido reducidos a 16. Están relacionados con las condiciones del accidente, el tipo de vehículos, el tipo de vertido, fuga o fuego la de-

tección de incidentes y la capacidad de respuesta del control automático o del operador y la rapidez de llegada de los equipos de emergencia. La figura 15a indica los primeros ramales del árbol de sucesos holandés.

El método austríaco sigue un esquema similar basado en estadísticas propias de los sucesos iniciales (tasas de accidentes) y la distribución (frecuencias relativas) entre las diferentes ramas (figura 15b). Respecto al estudio de consecuencias, ambos métodos combinan un modelo de propagación del humo con otro de evacuación para cuantificar las consecuencias.

En el caso holandés se distinguen tres áreas que pueden variar de escenario a escenario. (Figura 16, a b)

1. Un área segura cerca de las puertas de escape.
2. Un área en la que cierto porcentaje de las personas que intentan escapar no lo consiguen y que incluye a los que quedan atrapados en su vehículo tras un accidente.
3. Un área adicional provocada en los casos en que el accidente bloquea una puerta de escape.

En el caso austríaco las consecuencias se separan en:

1. Escenarios que tienen como consecuencia efectos mecánicos, con una estadística basada en datos adquiridos en el período 99-03 mediante 450 accidentes en 81 carreteras distintas, 61 túneles unidireccionales y 20 bidireccionales.
2. Escenarios con fuego que se estudian mediante una docena de casos típicos, modelos de propagación generalmente monodimensionales y modelos de evacuación basadas en el programa EXODUS.
3. Escenarios provocados por materias peligrosas que, por el momento, sólo se tratan de forma sumaria mediante fórmulas analíticas o juicio de expertos.

Los resultados se presentan indicando el riesgo individual de los usuarios y el EV (muertes/año) que en caso austríaco se separa en efectos mecánicos, fuegos, y mercancías peligrosas, según se dijo antes.

La figura 17 extraída del Informe PIARC 2008 muestra un caso comparativo.

Por su parte TUNPRIM dibuja gráficos F-N como el indicado en la figura 18, donde puede observarse que como límite admisible para el riesgo social se usa la línea  $10^{-1}/N^2$ , es decir, aunque se mantiene para N(1) el valor del 10%, la pendiente de la recta es -2 según la tradición holandesa.

Debe observarse también que el método holandés se refiere a túneles monodireccionales con ventilación longitudinal, mientras que TuRisMo puede aplicarse a todo tipo de ventilación y todo tipo de túneles y accidentes con heridos. A cambio, TUNPRIM incluye el caso de mercancías peligrosas, mientras que el método austríaco debe completarse con el DGQRAM.

Una ventaja muy importante de ambos métodos es la posibilidad de utilizar los resultados, para comparar entre si los efectos relativos de diferentes mejoras destinadas al incremento de seguridad, o la situación comparativa respecto al túnel patrón descrito en la normativa.

La figura 19 incluye un ejemplo de TUNPRIM donde se explora la mejora experimentada por un túnel, inicialmente, sin puertas de seguridad y cómo, gracias a la incorporación de éstas, se consigue hacerlo más seguro que el túnel patrón de referencia.

Un inconveniente de la representación en escala logarítmica es que el ojo poco avezado puede considerar estas mejoras no tan importantes, por lo que el cálculo del valor esperado EV (muertes por año) se añade a las gráficas anteriores, bien como referencia adicional en el caso holandés, bien como resultado único en el caso austríaco.

Este último incorpora también un método simplificado que está pensado como primera fase en el proceso de cribado de túneles existentes.

La fórmula empleada es:

$$R = H * S$$

Donde el parámetro S es el valor medio del daño debido a los accidentes, es decir representa sus consecuencias; fue ajustado aplicando Tu-

## SHARE IN RISK

Societal risk-Expected value (fatalities/year)		Mechanical effects	Fire	Dangerous goods
Existing tunnel (25% heavy goods vehicles)	0.139	86%	14%	<1%
Existing tunnel (25% heavy goods vehicles) Reference case	0.128	85%	15%	<1%
Measure cross passages every 250 m	0.131	91%	9%	<1%
Measure second tunnel tube	0.045	97%	<1%	3%
Measure reduction of velocity 60 km/h instead of 80 km/h	0.101	81%	19%	<1%

Figure D. Graphical overview of results of case study

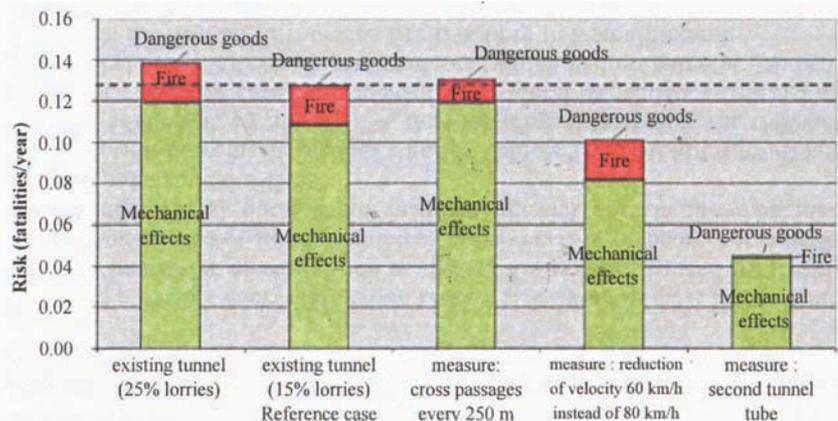


Figura 17.

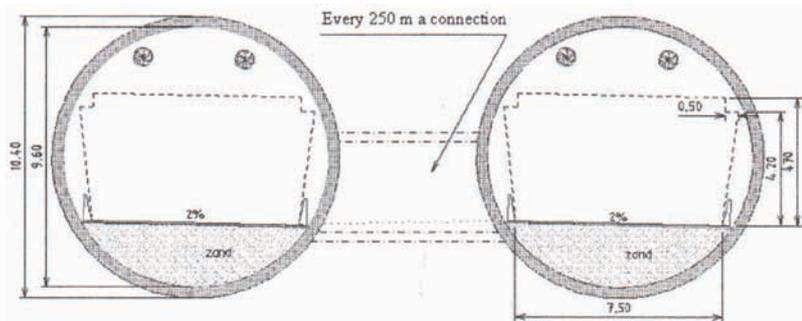
RisMo en un conjunto típico de túneles. Sus valores están tabulados.

Por su parte, H representa los motivos principales de accidente y se expresa mediante el producto:

$$H = 3.65 * 10^{-4} \text{ IMD} * L * U * f_{VK} * f_{TL} * f_{VF}$$

Donde:

■ IMD es la intensidad media diaria del tráfico.



Societal Risk (Internal Safety Risks)

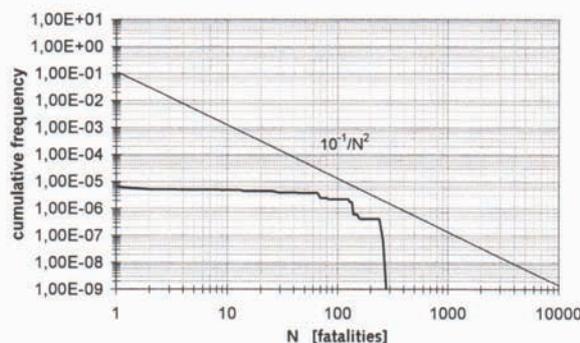


Figura 18.

- L la longitud del túnel en km.
- U la tasa de accidentes (número de accidentes por millón de vehículos-km-año)
- $f_{VK}$ ,  $f_{TL}$ ,  $f_{VF}$  factores correctores del volumen de tráfico, la longitud del túnel y los cambios de sección transversal.
- El factor  $3.65 \cdot 10^{-4}$  traduce los cambios de unidades entre la IMD y U.

**4.2. El método italiano (IRAM)**

El método italiano IRAM (o EURAM según se presentó en la reunión de Verona) reúne las condiciones para ser calificado como un método sistémico, cuantitativo y probabilista.

Según Focaracci (Ref. [15]), que es su más activo publicista, utiliza el diagrama mariposa al completo y se adapta a la normativa europea y su versión italiana de 2006 (ref. [22]). Mediante procedimientos de inferencia estadística y estimación bayesiana permite actualizar los datos del modelo y mejorar la fiabilidad de las estimaciones.

La figura 20 (Focaracci, 2009) indica el esquema general que incluye el acoplamiento sucesivo de los modelos de peligrosidad- evacuación, para llegar a las curvas

F-N semejantes a las anteriores.

Lo que marca la diferencia con los métodos precitados es la definición de leyes de distribución de probabilidad para los fenómenos, y el recurso al método de Montecarlo para resolver estadísticamente la evolución de la peligrosidad y el proceso de evacuación. Ello, unido a la técnica de in-

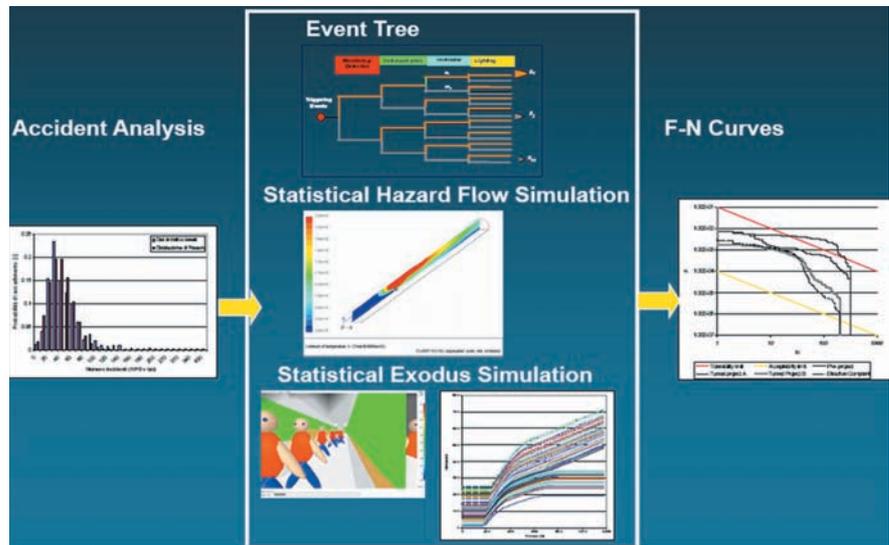


Figura 20.

ferencia bayesiana del análisis de los árboles de fallos y de sucesos, así como de los accidentes, permite hablar de una herramienta muy completa, aplicable a cualquier tipo de túnel, incluidos los de ferrocarril, y capaz de analizar también el transporte de mercancías peligrosas.

El riesgo se determina mediante la operación:

$$R = \sum_{i=1}^N P(S_i) * Sim Re (S_i)$$

donde el primer factor representa la probabilidad de ocurrencia del escenario i-ésimo y *Sim Re S(S)* son las consecuencias, obtenidas mediante la simulación del i-ésimo escenario, expresadas en número de muertes.

El riesgo individual se obtiene dividiendo el colectivo por el número de personas expuestas al riesgo por kilómetro y año recorrido en el túnel.

El riesgo social se representa en un diagrama F-N (figura 21, página 36).

Donde la región ALARP se subdividió en otras tres con los valores  $N(1) = 1.E-2$  y  $1.E-3$ , respectivamente, para indicar zonas en las que protocolos de emergencia, sistemas de seguridad o limitaciones de tráfico deben ser establecidas.

**5. Conclusiones**

La libertad otorgada por la Directiva Europea ha hecho que cada país adapte sus procedimientos a la tradición existente en los mismos con anterioridad. Algunos países, como Alemania, Suiza o España<sup>1</sup>, están en camino de desarrollar su propio enfoque.

Es instructivo que el informe de PIARC de 2008 concluya indicando que ninguno de los métodos propuestos puede reclamar el título de "más adecuado" y que ninguno cubre todas las incertidumbres de forma perfecta, por lo que finaliza con el desconsolado convencimiento de que las posibilidades de armonización a nivel europeo son muy limitadas.

También acaba con unas reflexiones que rebajan los posibles entusiasmos y previenen sobre el uso por

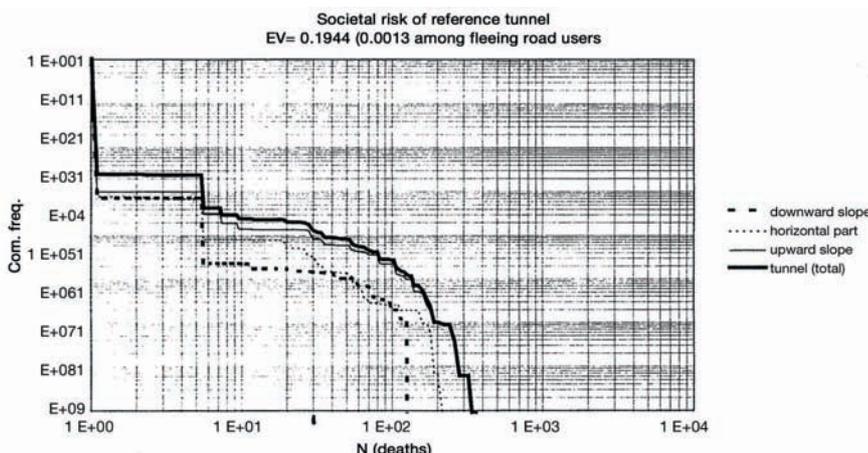


Figura 19.

1. Precisamente en este Congreso se presentó una comunicación de L. Gil, titulada "Propuesta de metodología para Análisis de Riesgo en los túneles españoles".

personas inexpertas. Muy interesante es la observación respecto al equilibrio que debe mantenerse entre la complejidad del método y la estrategia utilizada para alcanzar los niveles de seguridad, así como a la comprobación previa de la base de datos que va a ser utilizada y su compatibilidad con las características del túnel que haya que analizar.

Para apoyar su recomendación final, sobre la importancia de encomendar el trabajo a un experto, el informe PIARC recalca que, a pesar del refinamiento del método utilizado, los resultados sólo indican órdenes de magnitud y no pueden considerarse como valores exactos, sino como evaluaciones borrosas.

Existe un sentimiento mayoritario para hacer transparentes los procedimientos, y, en este sentido, se observa que una mayoría sigue un principio bien conocido entre los teóricos de la percepción: “El riesgo se considera más aceptable, si existe una cierta sensación de control individual del mismo”.

En este caso, se podría parafrasear diciendo que, entre los factores psicológicos que influyen en la selección de un método (cuyas limitaciones los profesionales conocen bien, como no podía ser de otra forma), siempre se tiende a seleccionar aquél que permite controlar personalmente el flujo del proceso, ya que se está ante un instrumento delicado, cuyo mal uso puede conducir a soluciones insensatas.

Lo cierto es que el aumento de capacidad y velocidad de cálculo de las computadoras actuales permite desarrollar en toda su potencia los métodos probabilistas, y que todo ello contribuirá a un incremento del conocimiento, la optimización de las soluciones y la toma racional de decisiones.

En cualquier caso, el cambio de paradigma se ha producido y la profesión deberá adaptarse a su uso en la actividad cotidiana.

## Referencias

[1] ADR 2007. Acuerdo Europeo so-

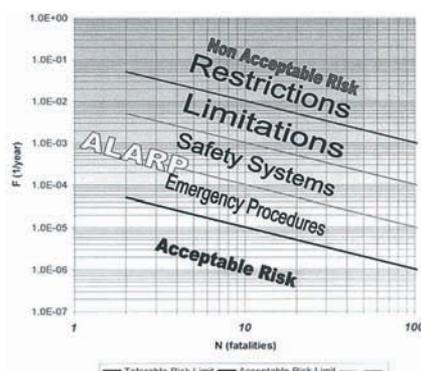


Figura 21.

bre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

[2] Alarcón, E. Lección inaugural Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas. “Enfoque probabilista de algunos temas de proyecto y explotación”. AETOS, febrero 2007.

[3] Alarcón, E.: “La Seguridad de las Infraestructuras. El caso de los incendios en Túneles”. Real Academia de Ingeniería, 2002.

[4] Alarcón, E; Liñán A. “Seguridad frente a incendio en túneles”. Febrero 2002. Real Academia de Ingeniería.

[5] Arnauld A. & Nicole P.: “La logique on l’art de penser”. 1662 en A. Lopez; J.I. Lujan: “Ciencia y política del riesgo”. Alianza 2000.

[6] Bedford T. & Cooke R.: “Probabilistic Risk analysis”. Cambridge U.P 2001.

[7] Bunn D.W. “Applied Decision Analysis”. Mc. Graw, 1984.

[8] Del Rey, I. “Actividades de PIARC y ATC en análisis de riesgos”. Seminario sobre Análisis de riesgos en túneles. Colegio ICCP, noviembre 2006.

[9] Del Rey, I. “Experiencia en el análisis cuantitativo de riesgos en túneles en España”. Jornadas Técnicas sobre la explotación y la gestión de riesgos en túneles viarios. Colegio ICCP, Sept. 2004.

[10] Del Rey, I; Vega, J; Fraile, A.; Alarcón, E. “Cuantificación de la seguridad en túneles”. IV Simposio de Túneles. Andorra, octubre 2005.

[11] EEC, “Major accident hazards of certain industries activities”. Council Directive 82/501/EC. 24 de junio 1982.

[12] Ennemark F. y Nohr H.: “Safety Concepts for the Drogden Tunnel”.

Conference on “Fire Protection in Traffic Tunnels”. Dressden, 1995.

[13] Evans, A.W. and Verlander N.Q. “What is wrong with criterion F-N lines for judging the tolerability of risk?”. Risk analysis. 1997.

[14] Evans, A.W. “Transport fatal accidents and F-N Curves: 1967 – 2001”. Research report 073. HSE. 2003.

[15] Foccaracci, A.; Cafaro, E. “Lo studio del livello di rischio di una galleria”. Strade&Autostrade, 1-2009.

[16] Freudenthal, A: Selected papers. Am. Soc. Civil Eng., 1981.

[17] HSE: “Major Hazards Aspects of the Transport of Dangerous Goods”. HMSO, 1991.

[18] JORNADAS TÉCNICAS SOBRE TÚNELES. La Seguridad en la Construcción y en Servicio. Gijón, 22 a 24 de junio de 1994.

[19] Kaplan, S.; Garrick J. “On the quantitative definition of risk”. Risk Analysis, 1981.

[20] Karlsson, M.: “Risk Modelling of the Oresund Link Railway Tunnel”. Int. Workshop on Statistical Risk Modelling, 1995. Zurich.

[21] KIVI. “Ventilation of Road Tunnels. Recommendations”. Royal Institute of Engineers (KIVI). Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1991.

[22] “Linee-Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali”. Fastigi, abril 2005.

[23] N.R.C: P.R.A. Procedures Guide. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1983.

[24] Petersen K.E.: “European Model Evaluation Activity” Jour. Loss. Prev. Process. Ind. Vol 7. N2, 1994.

[25] PIARC: “Fire and Smoke Control in Tunnels”, 1999.

[26] PIARC: “Recueil de documentation”. Congres Mondial Mexico, 1975.

[27] PIARC: “Risk Analysis for Road Tunnels”, 2008.

[28] Schneider, J. “Introduction to Safety and Reliability of Structures”. IABSE. Structural Engineering, 1997.

[29] Savy. M.: “Le Transport de Merchandises”. Eyrolles, 2007.

[30] Vesley et al. “Fault Tree Handbook”. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1981. ■

# Inaugurado el tramo Tarancón - Alcázar del Rey de la Autovía A-40

Rafael Moreno Ramírez, ICCP y  
Director de las obras.

**E**l pasado mes de abril de 2010 finalizaron las obras del tramo "Tarancón-Alcázar del Rey" de la Autovía A-40, "Maqueda-Toledo-Cuenca-Teruel". Dicha autovía tiene como funcionalidad facilitar las comunicaciones regionales Este-Oeste, lo que, unido al establecimiento de un acceso rápido a las Autovías A-5, A-4 y A-3, mejorará apreciablemente las posibilidades de comunicación de múltiples itinerarios, reduciéndose los tiempos de recorrido, e incrementando la comodidad y la seguridad vial de los mismos.

Este nuevo tramo de autovía, de cerca de 22,5 km de longitud, conecta con los tramos posteriores ya en servicio de la A-40, completándose el itinerario Tarancón-Cuenca de dicha autovía y permitiendo por tanto la conexión completa por autovía entre Madrid y Cuenca.

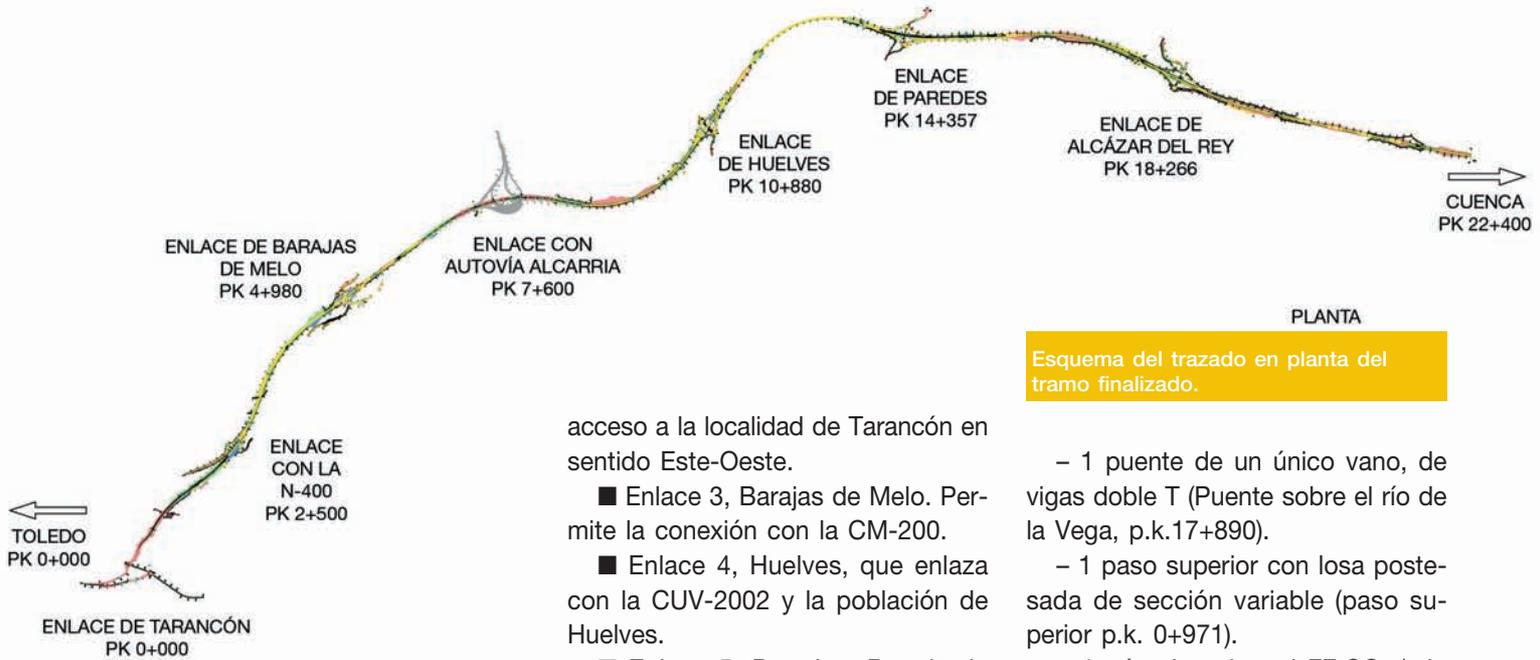
## Descripción del trazado

El origen del proyecto se sitúa en el p.k. 84+700 de la Autovía A-3, conectando con ésta mediante un enlace. En el p.k. 0+136 se produce el cruce con la carretera N-III, discuriendo el trazado por la margen derecha de la N-400, cruzando el FFCC. Aranjuez-Valencia en el p.k. 1+565 y la propia N-400, en los pp.kk. 2+063 y 4+984, materializándose sendos enlaces con ella. Tras el cruce con el ferrocarril, la autovía discurre por la margen izquierda de la N-400 hasta el estrecho de Paredes, cruzándose de nuevo con dicha carretera en el p.k.13+400, y salvando este punto singular mediante un viaducto. De este modo, salvado el Estrecho de Paredes, la autovía se sitúa en la margen derecha de la antigua carretera, dejando en su margen izquierda los pueblos de Paredes y Alcázar del Rey, hasta el p.k. 22+460, donde se sitúa el final del trazado y la conexión con los tramos en servicio hasta la localidad de Cuenca.

## Características geométricas

El nuevo tramo, concebido para una velocidad de proyecto de 120 km/h, ha

Vista aérea del enlace de Alcázar del Rey, que permite la conexión con la citada población.



PLANTA

Esquema del trazado en planta del tramo finalizado.

sido diseñado con una pendiente máxima de rasante del 3,5% y un radio mínimo de 1250 m.

## Secciones tipo

La sección transversal del nuevo tramo de autovía consta de dos calzadas de 7,0 m de anchura, con arcones exterior e interior de 2,5 y 1,0 m, respectivamente. El ancho total de la mediana adoptada es de 10 m (con la excepción de anchura de mediana estricta en el estrecho de Paredes).

La sección del firme adoptada está compuesta por una subbase de 20 cm de suelocemento sobre una explanada tipo E-3 de suelo estabilizado *in situ*, una base de 10 cm de mezcla bituminosa en caliente tipo AC 32 BASE, capa intermedia AC 20 SURF de 7 cm de espesor y capa de rodadura de 3 cm de microaglomerado tipo BBTM 10.

## Enlaces

Se han construido un total de seis enlaces, permitiendo todos ellos el acceso desde y hacia la N-400, con la funcionalidad añadida de:

■ Enlace 1, con la A-3, que facilita la conexión con la autovía A-3 y con la antigua N-III.

■ Enlace 2, con la N-400, que da

acceso a la localidad de Tarancón en sentido Este-Oeste.

■ Enlace 3, Barajas de Melo. Permite la conexión con la CM-200.

■ Enlace 4, Huelves, que enlaza con la CUV-2002 y la población de Huelves.

■ Enlace 5, Paredes. Permite la conexión con la CUV-2011 (hacia Uclés) y la población de Paredes.

■ Enlace 6, Alcazar del Rey, que conecta con dicha población.

## Estructuras

A lo largo del tramo ha sido precisa la ejecución de 18 estructuras:

– 1 puente de un único vano, de vigas doble T (Puente sobre el río de la Vega, p.k.17+890).

– 1 paso superior con losa postesada de sección variable (paso superior p.k. 0+971).

– 1 pérgola sobre el FF.CC. (p.k. 2+565).

– 2 viaductos con losa continua.

– 1 Viaducto sobre N-400 (p.k. 2+063).

– 1 Viaducto sobre la carretera de acceso a Tarancón (p.k. 3+127).

– 1 viaducto triple con vigas doble T y mixto en su parte central (viaducto del Estrecho de Paredes).



Enlace de Huelves, que permite la conexión con la CUV-2002 y la población de Huelves.



La foto de fondo corresponde a una vista aérea del viaducto de Paredes. Abajo, a la derecha, foto realizada durante el lanzamiento del viaducto 2 del Estrecho de Paredes. Viaducto mixto sobre ábacos metálicos. Vista de nariz de lanzamiento.



Foto superior: Vista de ábacos metálicos durante el lanzamiento del viaducto 2 del Estrecho de Paredes.  
Foto inferior: detalle de unión en pila mixta con el viaducto 3 (vigas doble T).

gular de la autovía A-40. Con una longitud total de 1297 m y calzada única de 23,6 m de anchura, permite salvar dicho estrecho con grandes luces, tratando de minimizar la afección al mismo y a los elementos existentes en la zona (río Riansares, FF.CC. y N-400).

El viaducto del Estrecho de Paredes está compuesto de cuatro subestructuras:

- Viaducto V1 de vigas (6 vigas doble T) de 8 vanos de 43 m.

- 12 marcos unicelulares (Pasos inferiores para cruces de caminos y enlaces).

### Viaducto del Estrecho de Paredes

Se trata de la estructura más sin-





Ambas fotos pertenecen al viaducto 2 del Estrecho de Paredes. En ellas, se aprecian el detalle de unión en pila mixta con el viaducto 3, así como una imagen en perspectiva desde la base de las pilas.

centrales del viaducto mixto empujado están provistas de ábacos metálicos, de 32 m de longitud, que permiten una reducción de las luces efectivas de empuje.

Para evitar el derrame de tierras sobre la carretera N-400, en el estribo final del viaducto 3 se han dispuesto muros de tierra armada.

### Ordenación ecológica, estética y paisajística

Las actuaciones ambientales ejecutadas, consisten en la extensión de tierra vegetal en taludes, mediana e

isletas de enlaces, ejecución de plantaciones, restauración de los préstamos, protección de cauces, etc. Asimismo, se han llevado a cabo diversas actuaciones de protección y catalogación del patrimonio arqueológico afectado. ■

- Parque de empuje entre muros (100 m).
- Viaducto V2 mixto, empujado (sección cajón con jabalcones) de 5 vanos (40 + 72 + 88 + 104 + 76 m).
- Viaducto V3 de vigas (6 vigas doble T) de 11 vanos de 43 m.

Para realizar el empuje del viaducto mixto ha sido precisa la construcción de un parque de empuje, donde se ha procedido al montaje y unión de las secciones metálicas hasta completar una longitud de puente suficiente como para proceder al empuje de cada fase completa. Las pilas

### Unidades importantes

<b>Movimiento de tierras</b>
<b>Desmante:</b>
4 279 266 m <sup>3</sup>
<b>Terraplén:</b>
4 822 521 m <sup>3</sup>
<b>Suelo seleccionado:</b>
287 599 m <sup>3</sup>
<b>Firmes</b>
<b>Suelo estabilizado S-Est 3:</b>
204 416 m <sup>3</sup>
<b>Suelocemento:</b>
137 340 m <sup>3</sup>
<b>Aglomerado:</b>
254 863 t
<b>Estructuras:</b>
<b>Hormigones:</b> 100 000 m <sup>3</sup>
<b>Ferralla:</b>
7 290 000 kg
<b>Pilotes de 1500 de diámetro:</b>
2185 m

### Ficha Técnica

#### Titular:

Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla-La Mancha. Ministerio de Fomento.

#### Director del proyecto:

D. Francisco Javier González Cabezas, ICCP.

#### Autor del proyecto:

D. José Luis Pérez-Iñigo Escolar, ICCP.

#### Empresa consultora:

UTE Cotas Internacional-Teco.

#### Empresa constructora:

Dragados, S.A.

#### Dirección de obra:

D. Blas Martín Galdona, ICCP.  
D. Rafael Moreno Ramírez, ICCP.

D. José Luis Guerrero Estebáñez, ITOP

#### Jefe de obra:

D. Vicente Gómez Martín-Aragón, ICCP.

#### Asistencia técnica control y vigilancia de las obras:

Idom Internacional.

#### Jefe de Unidad:

D. Ignacio Díaz Morcillo, ICCP.

#### Presupuesto:

81 906 664,52 euros.



## BETÚN MEJORADO CON CAUCHO: UNA APUESTA TECNOLÓGICA DE PROAS EN SU COMPROMISO CON LA CALIDAD Y EL RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE.

Cincuenta años de innovación dentro del sector del betún dan para muchos logros. Pero, aunque estamos muy orgullosos de todos ellos, nada nos satisface tanto como ser la primera compañía española en suministrar industrialmente betún mejorado con polvo de caucho, procedente de neumáticos fuera de uso (NFUs). El resultado, un betún estable de la más alta calidad y con un claro beneficio para el medio ambiente. Con ello, no sólo conseguimos estar al servicio del cliente, sino también nos ponemos al servicio de la naturaleza. **Y eso nos hace aún más líderes.**

AUTOVÍA A-40

# Finalizado el tramo Santa Cruz de la Zarza (E) - Tarancón

Rafael Moreno Ramírez, ICCP,  
y Director de las obras.

### Descripción de las obras

La obra corresponde al tramo de la Autovía A-40 que se encuentra ubicada en el límite de las provincias de Toledo y Cuenca, discurrendo por los términos municipales de Santa Cruz de la Zarza (Toledo), Zarza de Tajo (Toledo), Belinchón (Cuenca) y Tarancón (Cuenca). El trazado se inicia a la altura del p.k. 84 de la N-400, al este de la localidad de Santa Cruz de la Zarza y se desarrolla entre los términos municipales de Villarrubia de Santiago (Toledo) y la mencionada Santa Cruz de la Zarza (Toledo).

Analizando su trazado podemos descomponer este tramo de la A-40 en dos subtramos:

**-Subtramo I.** Comienzo del proyecto. Tiene una longitud de 11 200 m y el trazado de ambas calzadas es común, discurrendo ligeramente en paralelo a la N-400 en sus 9 primeros kilómetros, a una distancia entre 30 y 230 m, aproximadamente.

**-Subtramo II.** Aquí las calzadas se separan a su llegada al enlace con la A-3 mediante el diseño de ejes independientes, uno para cada sentido de circulación, y discurrendo por las márgenes de la A-3 y en paralelo a la misma. Tienen una longitud de 2 113,50 m en la calzada derecha y de 2 096,17 m en la calzada izquierda. La calzada derecha precisa de un radio de 1 000 m a derechas, para ubicarse paralela a la calzada derecha de la A-3; mientras que la calzada izquierda salva la A-3 mediante la construcción de un viaducto de 870 m de radio y situarse también en paralelo a su calzada izquierda. Una vez se supera el tramo paralelo a la autovía A-3, la obra finaliza en su entronque con el tramo siguiente de la autovía A-40, entre Tarancón y Alcázar del Rey.

La longitud total del tramo es de 13 296,17 m, para la calzada Toledo-Cuenca, y de 13 313,48 m, para la calzada Cuenca-Toledo.

El nuevo tramo tiene una longitud de 11 200 m y ha supuesto una inversión de 34,6 millones de euros.



Enlace de Cambio de sentido.

Los taludes empleados en todos los terraplenes a lo largo de la traza son 3H/2V.

El trazado presenta además cuatro enlaces en el tramo, denominados:

- Enlace Cambio de Sentido.
- Enlace Polígono Industrial.
- Enlace con la A-3.
- Enlace con la CM-200.

El primero, Cambio de Sentido, se ubica en el p.k. 3+500 de la traza, aproximadamente. Se ha ejecutado con una tipología de diamante con pesas, permitiendo de este modo que, además de la función “cambio de sentido”, tenga la de enlace con la actual N-400, que pasa a ser vía de servicio, y que facilite la permeabilidad transversal con los correspondientes accesos a caminos agrícolas de ambas márgenes.

El segundo enlace, Polígono Industrial, se ubica en el p.k. 8+100, de la traza aproximadamente. También se ha ejecutado con una tipología de diamante con pesas, permi-

tiendo así las funciones de “cambio de sentido”, de conexión con la futura vía de servicio y, con ello, al polígono industrial existente que es la primera conexión con Tarancón de los vehículos con destino u origen en Toledo. Así mismo facilita la permeabilidad transversal y conexión con los

caminos agrícolas.

El tercer enlace, con la A-3, se ubica en el p.k. 11+200 de la traza, aproximadamente. Se ha realizado con tipología de direccional.

El cuarto enlace, con la CM-200, se ubica en el p.k. 12+900 de la traza, aproximadamente. Su diseño corresponde al de un diamante con pesas y permite la conexión con la carretera CM-200, así como el acceso a la localidad de Tarancón.

## Sección transversal

La sección transversal del tronco de autovía, en el Subtramo I, está compuesta por dos calzadas con dos carriles por sentido de 3,50 m cada uno, arcén exterior de 2,50 m, arcén interior de 1,00 m, bermas de 1,00 m y mediana de 10 m. En el Subtramo II las calzadas discurren separadas con dos carriles por sentido de 3,50 m cada uno, arcén exterior de 2,50 m, arcén interior de 1,00 m, bermas interiores de 1,00 m y bermas exteriores de 1,00 m más la berma de despeje en función del estudio de visibilidad.

## Estructuras

En lo referente a estructuras, se ha proyectado la implantación de 9 pasos superiores, 3 pasos inferiores, la ampliación de los tableros de dos pasos superiores existentes en la A-3 y

Estructuras ejecutadas			
Denominación	Vanos	Ancho	Tipología
PSA 1.2	20+4x28+20	0,5+7+0,5	Losa continua in situ
PSA 3.5	14+2x20+14	0,5+9+0,5	Losa continua in situ
PSA 6.2	14+2x20+14	0,5+9+0,5	Losa continua in situ
PSA 7.3	14+2x20+14	0,5+7+0,5	Losa continua in situ
PSA 8.0	14+2x20+14	0,5+9+0,5	Losa continua in situ
PSA 9.9	17,5+2x25+17,5	0,5+10+0,5	Losa continua in situ
PBA 11.2 CD	14+20+14	0,5+10+0,5	Losa continua in situ
PBA 11.2 CI	14+20+14	0,5+10+0,5	Losa continua in situ
PBCI 11.6	35+40+41.5+30	0,5+12+0,5	Estructura mixta
PSA 12.1	25+22	0,5+8+0,5	Ampliación losa
PSA 12.9	18+18	0,5+9+0,5	Ampliación losa
PBA 4.5	10,20	7,20	Marco rectangular
PBCD 11.6	4,20	7,20	Marco rectangular
E 3.1-E 3.2	10,00	6,20	Marco rectangular
E 3.3	4,10	4,90	Ampliación marco

la demolición de sus estribos (P.S.A. 12.1 y P.S.A. 12.9), y dos actuaciones sobre estructuras ya existentes en la A-3 (E. 3.3 y E. 3.4.).

El objeto de dichos pasos es la continuidad de las carreteras y caminos que quedan cortados como consecuencia de la implantación de la autovía, además de formar parte de los enlaces proyectados. De los estructuras ejecutadas cabe destacar el proceso constructivo de ampliación de los tableros existentes en la A-3 (P.S.A. 12.1 y P.S.A. 12.9), que permiten el paso de las calzadas separadas sobre la Autovía A-40, y la ejecución de la estructura P.B.C.I. 11.6, de cruce de la calzada izquierda sobre la A-3, formada por una estructura mixta de 4 vanos.

Las **ampliaciones de los tableros de los pasos superiores existentes** se han ejecutado con sendos vanos a cada lado, con longitudes de 22 m en la calzada derecha y 25 m en la calzada izquierda, en el caso de la estructura PSA 12.1; y por vanos de 18 m de longitud, en el caso de la estructura PSA 12.9. Dichos pasos habilitan el paso de las dos nuevas calzadas de la A-40.

El proceso constructivo realizado reduce notablemente la afección en la A-3 eliminándose la necesidad tanto de demoler los tableros de las estructuras ya existentes, que se encuentran en buen estado, como de realizar la construcción de pilas en la mediana. De este modo, se ha aprovechado la estructura actual y se ha sustituido cada estribo por una única pila en la que se apoyan tanto el tablero de la estructura existente como su ampliación, dando una sensación de continuidad y manteniendo la estética actual de la autovía.

Para su construcción ha sido necesaria la ejecución de muros de *soil-nailing* provisionales en los estribos existentes, según la técnica de realización por fases de excavación, bulonado y gunitado. De esta manera ha sido posible verticalizar la excavación bajo los estribos para, posteriormente, apea y gatear



1. Ejecución de muros de soil nailing bajo estribos existentes.



2. Apeo y gateo del tablero existente.



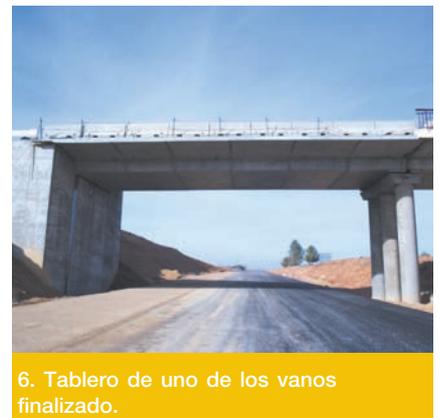
3. Demolición de los estribos existentes.



4. Ejecución de las pilas.



5. Cimbrado de los tableros ampliados.



6. Tablero de uno de los vanos finalizado.

los tableros de las estructuras existentes.

Una vez realizadas estas operaciones, se pudo proceder a la demolición de los estribos para poder ejecutar las ampliaciones comentadas.

Los estribos existentes se sustituyen por pilas de hormigón formadas

por fustes circulares, de 0,90 m de diámetro y un dintel en forma de tronco de pirámide, que servirá de apoyo tanto al antiguo tablero ya existente como a su prolongación.

La ampliación de los tableros de las estructuras ha consistido en la ejecución de los dos vanos laterales



Montaje del cajón metálico.



Homigonado, del tablero una vez colocadas las prelosas y la ferralla.

con la misma tipología que la estructura actual, formados por un tablero postesado de losa maciza de hormigón.

La **estructura PBCI 11.6** es un paso superior formado por una estructura mixta de cuatro vanos con una distribución de luces de 35+40+41,5+30 para el cruce de la calzada izquierda de la A-40 sobre la A-3. El eje de la estructura es curvo, con un radio de 870 m. Los estribos, sin embargo, se disponen normales al eje de la estructura, dado su elevado esviaje, pues en el caso de disponer los estribos paralelos al trazado de la A-3, complicaría la respuesta estructural, previsiblemente con levantamientos significativos de los apoyos, como consecuencia del acoplamiento de la flexión longitudinal con la torsión. Este efecto, además, se acrecentaría debido a la gran luz de los vanos y la importante anchura del tablero. Los derrames de tierras frontales de los estribos, sin embargo, se adaptan geométricamente al esviaje de cruce con la traza de la autovía, paralelos a la traza de la A-3, para la contención de dichos derrames de tierras.

La relación de la luz del vano lateral al vano central es la adecuada para obtener una ley de esfuerzos de flexión compensada, con una longitud del vano lateral suficiente para evitar levantamientos en el estribo.

La estructura mixta se ha realiza-

do con un cajón metálico de 4,60 m de anchura máxima y canto de almas de 1,70 m, sobre el que se hormigona una losa de 25 cm de canto. El canto total de la estructura, por tanto, es de 1,95 m, lo que conduce a una esbeltez de 1/21, dentro del orden de esbelteces para esta tipología estructural de sección cajón mixta. Sobre los apoyos, en la zona de momentos flectores negativos, se dispone hormigón de fondo, materializando una doble acción mixta, que redundará en una significativa reducción de los espesores de chapa de fondo sobre pilas, cuya abolladura se evita con el hormigonado de fondo.

La anchura total del tablero es de 12,98 m, para alojar la calzada iz-

quierda de la A-40, más un sobreesbando de 1,48 m en el arcén interior, requerido para disponer de la visibilidad de parada suficiente. Tal anchura de tablero resulta en unos voladizos de 4,21 m.

Las pilas son de fuste circular de 1,20 m de diámetro con apoyo único bajo el tablero, por lo que toda la torsión se transmite a la riostra transversal en estribos. Las pilas de fuste único son las más adecuadas, desde el punto de vista de permeabilidad visual para el usuario de la A-3, ya que cualquier pila de tipo apantallado supone un obstáculo visual debido a la oblicuidad con que se perciben. Se ha ejecutado cimentación directa en pilas y estribos. Los estribos son cerrados, con aletas y derrame frontal



Vista general de la estructura finalizada.

de tierras, que contiene con los muros de acompañamiento realizados siguiendo la traza esviada de cruce con la A-3.

El procedimiento constructivo ha consistido en la ejecución en taller del cajón metálico y su colocación por fases con grúa sobre la subestructura. La losa se hormigona sobre prelosas de encofrado perdido.

### Drenajes

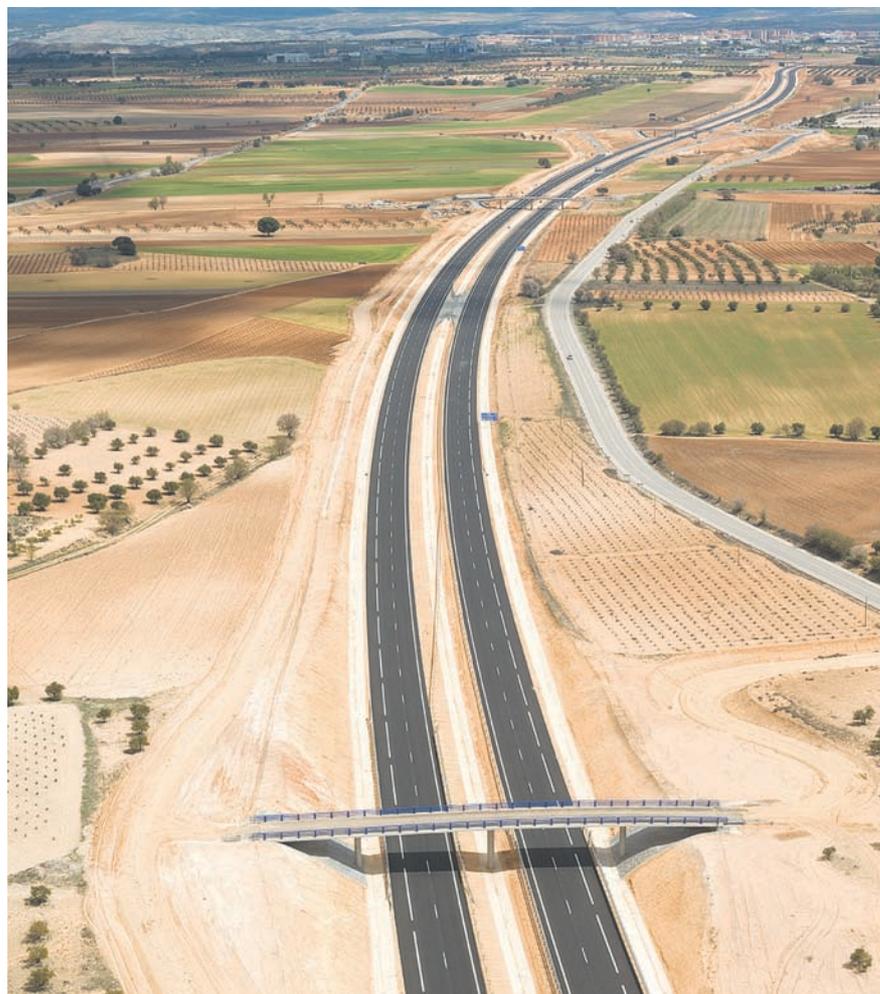
En lo referente al drenaje transversal del tronco, se han ejecutado tubos de hormigón armado, con enchufe de campana de 1800 mm de diámetro, que han sido calculados a partir de los datos meteorológicos disponibles y del estudio de las cuencas correspondiente, siguiendo la Instrucción 5.2.-IC Drenaje superficial, para un periodo de retorno de 100 años, que es el indicado por la citada instrucción.

Con el fin de dar permeabilidad al territorio y no afectar en ningún caso a las infraestructuras ya existentes, se han ejecutado 3 hincas de acero, de 1000 mm de diámetro, y una hincas de hormigón de 1500 mm de diámetro en la autovía A-3, en el tramo comprendido donde las calzadas de la A-40 circulan paralelas a las calzadas de la A-3.

También se han realizado obras de drenaje transversal complementarias en los enlaces y en la reposición de la N-400 (tubos de 1800 mm y 1500 mm).

De igual forma, se ha proyectado una red de drenaje longitudinal basado en un diseño coordinado de cunetas, colectores y arquetas, complementadas con alguna obra de drenaje transversal. El drenaje longitudinal se proyecta para un periodo de retorno de 25 años.

Se ha proyectado también una red de drenaje profundo para evacuar el agua procedente de infiltraciones y que no afecte a las capas de la explanada ni al firme. La red dispuesta consiste en un relleno para impermeabilización de bermas junto con un tubo dren de 150 mm de diámetro y colectores, con un diámetro mí-



Se han dispuesto 9 pasos superiores, 3 inferiores, ampliado dos tableros de dos pasos superiores existentes en la A-3 y actuado en otras dos estructuras en la misma autovía.

nimo de 400 mm, en los casos en que ha sido necesario. Se sitúan estos elementos debajo de todas las cunetas proyectadas tanto de mediana como de desmonte.

### Firmes

La categoría de la explanada utilizada, tanto en el tronco de la autovía como en los ramales de todos los enlaces, es la E-3, consistente en 30 cm de suelo estabilizado con cemento tipo 3 sobre 30 cm de suelo seleccionado.

La sección de firme utilizada en el tronco es la sección tipo 132, compuesta por 20 cm de mezclas bituminosas sobre 20 cm de suelocemento. La rodadura proyectada consiste en un microaglomerado drenante de 3 cm de espesor.

En cuanto a los enlaces, la sección

empleada es la tipo 3232, compuesta por 10 cm de mezclas bituminosas sobre 22 cm de suelocemento.

El afirmado de las reposiciones de caminos y caminos de servicio tiene una sección de 30 cm de zahorra artificial sobre 30 cm de suelo adecuado.

### Impacto ambiental y adecuación paisajística

La ordenación paisajística se ha realizado en función de los siguientes criterios:

1. Elección de las especies en relación a su crecimiento y conservación.
2. La ubicación en la sección transversal, con el objetivo de no encarecer las labores de mantenimiento.
3. Uniformidad con el resto de tramos de la A-40



Vista general de la autovía en su inicio.

En la mediana de la autovía la elección de las especies se ha reali-

zado de forma que su futuro crecimiento no suponga un obstáculo para la circulación, ni para la seguridad por el excesivo desarrollo del tronco. Se han plantado adelfas (3 colores) con una disposición general en hilera simple, a una distancia de 1,5 - 2,5 m del borde de la mezcla bituminosa de arcén o berma, y con una separación de 1,5 hasta 4,0 m entre cada planta. Los tramos no son inferiores a 1000 - 1200 m ni superiores a 2000 - 2500 m por colores, para evitar la monotonía al usuario de la carretera.

En las rotondas de los enlaces, siguiendo los criterios de los tramos de la A-40 abiertos al tráfico, se ha ejecutado la plantación de la especie *Pinus Halepensis* y series circulares de plantas aromáticas *Rosmarinus Officinalis* y *Thymus Vulgaris*.

En las isletas de los enlaces se ha

buscado el efecto de ocultamiento visual de los terraplenes o irregularidades del terreno en las isletas, disponiéndose hileras de, al menos, tres especies de arbustos entremezclados, manteniendo en todo momento el criterio de ocultamiento visual desde el tronco de la autovía.

En las inmediaciones de los encachados de protección de estribos se han dispuesto especies de protección en la zona de contacto entre el encachado y el terraplén (*salvia* y *santolina*).

En las obras de drenaje transversal, al tener función de pasos de fauna, se han realizado plantaciones en sus inmediaciones de las especies *Rosmarinus Officinalis*, *Retama Sphaerocarpa* y *Spartium Junceum* que asemejen un pasillo visual que pueda paliar el efecto "boca de túnel". ■

## Ficha Técnica

### Nombre de la Obra:

Autovía A-40. Tramo: Santa Cruz de la Zarza (E)-Tarancón.

### Promotor:

Sociedad Estatal de Infraestructuras del Transporte Terrestre (SEITT).

### Autor del Proyecto:

Juan José Pablos, ICCP

### Dirección de Obra:

Rafael Moreno Ramírez, ICCP  
Javier de Paz Pulido, ITOP

### Empresa consultora

y control de calidad:

Inocsa.

### Asistencia técnica de seguimiento

medioambiental:

UTE Incosa-Infraeco.

### Empresa Constructora:

UTE Infraestructuras Terrestres, S.A.  
y Compañía General de Construcción Abaldo, S.A.

### Gerente de la UTE:

Juan M. Bernabé Rodrigo, I.T. Minas.

### Jefe de Obra:

Álvaro Lago Álvarez-Ude, ICCP.

### Jefes de Producción:

Luis Toledo García, ITOP.

David Tena Saucedo, I.T.Minas.

### Presupuesto:

34 600 121,17 euros

Um <b>i</b>	Excavación:	1 245 000 m <sup>3</sup>
n <b>á</b>	Terraplén:	1 280 000 m <sup>3</sup>
m <b>s</b>	Coronación	
i <b>p</b>	explanada:	205 000 m <sup>3</sup>
d <b>o</b>	Suelo estabilizado:	160 000 m <sup>3</sup>
a <b>s</b>	Suelo cimiento:	100 000 m <sup>3</sup>
s <b>f</b>	Mezclas bituminosas:	
o <b>t</b>	Convencionales:	120 000 t
e <b>e</b>	Drenantes:	15 000 t
s <b>s</b>	Zahorra artificial	
a <b>s</b>	caminos servicio:	35 000 m <sup>3</sup>
s <b>t</b>	Hormigón en	
o <b>e</b>	estructuras:	14 500 m <sup>3</sup>
s <b>s</b>	Acero activo:	105 t
o <b>t</b>	Acero pasivo:	1600 t
s <b>o</b>	Acero laminado	
s <b>o</b>	S355 J2 G3 W:	315 t
s <b>o</b>	Anclajes de cable	
s <b>o</b>	50 ton:	612 m
s <b>o</b>	Cunetas revestidas:	27 000 m

Madrid, 19 de Mayo de 2010



# V Jornada Nacional asefma 2010

PROVISIONAL

PROGRAMA

V Jornada Nacional  
asefma 2010

19 de Mayo de 2010

**Hacia el crecimiento  
sostenible de la actividad**

Hotel NH Eurobuilding  
Sala MADRID  
C/ Padre Damián, 23 (Madrid)

**Coordinador: Juan José Potti**

**Temática:**

Desarrollo de la ley de Economía Sostenible  
Innovación  
Internacionalización  
Comunicaciones libres del sector  
Próximas publicaciones de Asefma

Patrocinan:



Organiza:

 asefma

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

## Hacia el crecimiento sostenible de la actividad

### INSCRIPCIONES Y COSTE

El coste de la Jornada es de 250 € + IVA = 290 €

La inscripción debe formalizarse en:

**CARLSON WAGONLIT TRAVEL**

Persona de contacto: Rafael Ambit

Teléf.: 91 205 89 50, Fax: 91 724 99 40

E-mail: [rambit@carlsonwagonlit.es](mailto:rambit@carlsonwagonlit.es)

tras haber realizado el ingreso en la Cuenta Corriente:

Bankinter 0128 0013 29 0100041983



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES  
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASEFMA)

Avda. General Perón, 26

28020 Madrid

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

T.: +34 911 293 660

F.: +34 911 293 566

E.: [asefma@asefma.com.es](mailto:asefma@asefma.com.es)

# El Ministro de Fomento pone en servicio la Variante de Barbaastro de la Autovía A-22, en Huesca

Joaquín J. López Sánchez, ICCP y Director de las obras.

**E**l 26 de febrero de 2010, y en un acto presidido por el Ministro de Fomento, D. José Blanco, fue puesto en servicio el tramo "Variante de Barbaastro" de la Autovía A-22, en Huesca, que ha supuesto una inversión de 41,2 millones de euros para sus 10,61 m de longitud troncal.

Con este tramo son ya cinco los puestos en servicio en esta autovía, totalizando 42,1 km de longitud de la nueva infraestructura, un 39% de su longitud total.

El resto de tramos de esta autovía está en avanzado estado de cons-

trucción con la excepción del tramo Huesca-Siétamo, que se encuentra en fase de proyecto.

Asimismo, y tal y como establece la aprobación definitiva de su Estudio Informativo, la obra ha incluido el acondicionamiento de la carretera autonómica A-1226, perteneciente a la Red Autonómica Aragonesa, en los 3,2 km que separan la A-22 de la población de Barbaastro. El objetivo principal de esta actuación ha sido conseguir un estándar geométrico adecuado para una velocidad de proyecto de 80 km/h, en planta, alzado y sección transversal, que mejore la seguridad y tiempos de recorrido en esta conexión con Barbaastro.

## Descripción

El trazado que se pone en servicio, con una longitud total de 10,61 km, y diseñado con un radio mínimo en planta de 1000 m y pendiente máxima del 4%, se desarrolla entre los enlaces de Castejón del Puente y El Pueyo, aproximadamente equidistantes de Barbaastro, ambos ya en servicio parcialmente.

En todo su recorrido, el trazado de este tramo de la autovía es independiente de la N-240, si bien la cruza a distinto nivel en el enlace en que finaliza.

Tanto la conexión del inicio del tramo, enlace de El Pueyo, como la de su final, enlace de Castejón

## Autovías del Estado

del Puente, unen directamente la A-22 con la N-240, asegurando la accesibilidad a la población de Barbastro y el enlace de la N-240 con la N-123, situado junto a dicha población.

Toda la obra discurre sobre la formación geológica “yesos de Barbastro”, que condiciona decisivamente los procedimientos de ejecución de la obra, aprovechamiento de materiales y secciones constructivas de las obras de tierra. Se ha logrado un aprovechamiento de cerca del 80% del volumen de tierras movilizadas en la obra, empleándose los yesos en los terraplenes confinándolos entre materiales impermeables para aislarlos de los cambios de humedad, que podrían condicionar la durabilidad del conjunto.

El trazado se inicia en el término



Esquema del trazado del tramo puesto en servicio.

que hace posible todos los movimientos con aquella vía, discutiendo el tronco de la A-22 en estructura sobre el de la carretera autonómica.

A continuación, el trazado cruza el canal de Selgua con una estructura de vigas doble T de 1,5 m de canto y 31 m de luz (estructura E-1), discutiendo el tronco a partir de ella sensiblemente paralelo al canal.

Poco más adelante se verifica el cruce con la carretera local HUL-9192, que comunica el núcleo de población de Selgua con la N-240. También este cruce se realiza con un paso bajo la autovía ejecutado con sendas estructuras de vigas de 0,90 m de canto y 13,20 m de luz.

Más adelante, a unos 8500 m de distancia del origen del tramo, la au-

**Con este tramo son ya cinco los puestos en servicio en esta autovía, totalizando 42,1 km, un 39% de su longitud total**

municipal de Barbastro, con dirección sureste y un trazado suave, acercándose poco a poco hacia el canal de Selgua a través de un terreno de orografía suave-ondulada.

4670 m más adelante se produce el cruce de la carretera A-1226, de acceso a Barbastro y a su polígono industrial “valle del Cinca”, a



Enlace de Barbastro.

través de la mencionada vía autonómica.

En este punto se ha construido un enlace tipo diamante con glorietas

toavía penetra en el término municipal de Castejón del Puente, en el que finaliza 2,1 km más adelante.

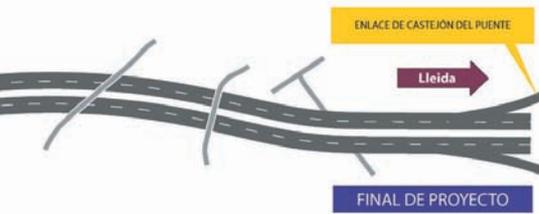
En la zona final del tramo, justo

antes de la conexión con el tramo de autovía denominado “Variante de Monzón”, el tronco cruza la N-240 y, mediante dos estructuras dobles ejecutadas junto con este tramo, forma el enlace con dicha carretera.

Dichas estructuras son losas dobles de hormigón armado ejecutadas in situ, de 41 m de luz total cada una, repartidos en tres vanos de 12, 17 y 12 m de luz respectivamente.

En total se han ejecutado 14 estructuras, que incluyen las tres citadas y seis pasos superiores de caminos, todos ellos losas in situ de hormigón postesado de entre 66 y 94 m de luz total, y cinco inferiores, tres de los cuales son marcos in situ de hormigón armado y dos son estructuras de vigas prefabricadas.

El drenaje transversal de la obra lo aseguran 55 obras de fábrica, for-



madas con tubos prefabricados de hormigón armado 1800 mm de diámetro.

El drenaje longitudinal lo forman las cunetas de mediana, las cunetas de pie y coronación de desmonte, y las de pie de terraplén, así como los bordillos, bajantes de toda la obra.

## Secciones tipo

La sección transversal se compone de dos calzadas de 7 m de anchura, arceles exteriores de 2,5 m e interiores de 1 m y bermas de 1 m. La mediana es de 2 m.

La sección del firme del tronco de la autovía se ha proyectado para un tráfico de categoría T1, construyéndose con 20 cm de mezclas bituminosas en caliente, ejecutados en tres



De arriba a abajo: Enlace de Castejón del puente, enlace de El Pueyo y vista inferior de este último.

# Autovías del Estado

capas, sobre 20 cm de suelocemento.

## Obras complementarias

Como parte de la ejecución de la obra se han modificado las líneas eléctricas y telefónicas directamente afectadas, así como los sistemas de riego interceptados por la traza, y se han repuesto 36 caminos agrícolas que hacen posible el acceso a las propiedades vecinas.

Además, se han dispuesto pasos de mediana, cerramiento en todo el tramo de autovía, canalizaciones para servicios, plataformas para postes SOS y estaciones de aforo.



El tronco de la autovía ha sido diseñado para una velocidad de 100 km/h, y a lo largo de su recorrido se han dispuesto 2 enlaces, 3 estructuras en el tronco, 5 pasos inferiores y 6 pasos superiores.

### Ficha Técnica

#### Titular:

Ministerio de Fomento.  
Demarcación de Carreteras del  
Estado en Aragón.

#### Dirección de las obras:

D. Joaquín J. López Sánchez,  
ICCP y D. Carlos Rodríguez  
Quiñones ITOP.

#### Empresa adjudicataria:

Sacyr, S.A.U.

#### Jefe de obra:

D. David Alende.

#### Asistencia técnica control y vigilancia:

Intecsa-Inarsa.

#### Jefe de Unidad:

Dña. Berta Serrano.

#### Asistencia técnica redacción proyecto:

Aepo, S.A. Ingenieros  
Consultores.

## Impacto ambiental

En general se han incorporado las medidas preventivas y correctoras de la Declaración de Impacto Ambiental aplicables al tramo objeto de las obras, las medidas propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental y las soluciones consensuadas con los Organismos competentes en materia de arqueología, paleontología y vías pecuarias. Entre otros, se han ejecutado hidrosiembras y plantaciones en mediana, enlaces, taludes y otras superficies afectadas.

Se ha dispuesto, además, el cerramiento cinagético de la obra con dispositivos de escape de fauna, y se han realizado los planes de vigilancia ambiental con sus correspon-

dientes programas de seguimiento arqueológico y paleontológico, etc. ■

### Unidades importantes

#### Movimiento de tierras

##### Excavación:

1 341 668 m<sup>3</sup>

##### Terraplén:

1 000 071 m<sup>3</sup>

##### Firmes

##### Suelo seleccionado:

241 136 m<sup>3</sup>

##### Suelo estabilizado con cemento:

139 098 m<sup>3</sup>

##### Suelocemento:

172 222 t

##### Mezclas bituminosas:

172 222 t

##### Estructuras

Hormigón: 14 550 m<sup>3</sup>

Acero para armar: 1276 kg

Acero activo: 62 951 kg

##### Actuaciones ambientales

Plantaciones: 146 842 ud.

Hidrosiembra: 229 068 m<sup>2</sup>



# Accesos a grandes ciudades

Planta general.



1. Torrevieja  
2.- Punta Prima

3.- Playa Flamenca  
4.- La Zenia

5.- Cabo Roig  
6.- Dehesa de Campoamor

7.- Mil Palmeras  
8.- La Torre de la Horadada  
9.- Pilar de la Horadada



Vista panorámica de la vía parque y del carril bici.

con el viario atravesado.

La situación de la carretera N-332 previa a estas actuaciones era la de una carretera convencional, con calzada única para los dos sentidos de circulación, con elevada intensidad de tráfico, numerosos accesos directos, núcleos residenciales en ambas márgenes y abundante tránsito peatonal, tanto longitudinal como transversal, de una manera poco regulada. Estas circunstancias se acentúan considerablemente en época es-

Una de las actuaciones contenidas en este documento es la Vía Parque Torrevieja – Pilar de la Horadada que, junto con el tramo Guardamar del Segura – Torrevieja, constituye la transformación de la carretera N-332 en un eje urbano y periurbano.

La Generalitat Valenciana redactó los proyectos, mientras que el Ministerio de Fomento se ha encargado de la ejecución de las obras. Una vez finalizadas, la carretera N-332 pasará a titularidad autonómica entre el límite de la provincia de Murcia y Alicante.

La directriz básica establecida en el Protocolo para las diferentes actuaciones que contempla es la de dotar a la carretera N-332 de un aumento en su capacidad suficiente y una mejora en la seguridad vial, así como de una adecuada permeabilidad con el territorio, mediante un diseño adecuado de sus conexiones



Vista panorámica de la Glorieta Ríomar.



Fotos superior y central: Pasarelas de La Zenia y de Campoamor.

tival, debido a que su proximidad a la costa determina su elevada componente turística. Por ello, este tramo tenía serios problemas de capacidad y de seguridad vial.

### Secciones tipo

La Vía Parque, de 11 940 m de longitud troncal, consta de calzadas separadas de dos carriles por sentido con mediana variable (entre 1 a 4 m), accesos limitados a través de rotondas con una interdistancia media de 1 km y vías de servicio para los núcleos de población residencial adyacentes. El flujo peatonal queda



resuelto mediante la disposición de carriles bici paralelos al tronco y pa-

tronco (nº 132), se compone de una capa de 3 cm de mezcla bituminosa discontinua M-10, sobre sendas capas de mezclas bituminosas de 6 cm de S-20 y 11 de G-25, que descansan sobre 20 cm de suelocemento, 30 cm de suelo estabiizado S-Est 3 y otros 30 cm de suelo seleccionado de tipo 2. Para las vías de servicio y ramales se ha dispuesto la sección 232, y la 121 para las rontondas.

### Enlaces y estructuras

El tramo ejecutado entre Torrevieja y Pilar de la Horadada comienza al final de la variante de Torrevieja, en el enlace de la carretera CV-95 a Orihuela y San Miguel de Salinas (p.k. 54 de la N-332) y termina en el acceso a Torre de La Horadada (p.k. 42). A lo largo del tramo finalizado se



Vista panorámica de la Vía Parque.

## Accesos a grandes ciudades

han dispuesto dos enlaces y once glorietas, de las cuales se han ejecutado en esta actuación, 4 glorietas en el tronco y 2 en enlaces.

Las estructuras que forman parte

<b>U m i n á m i s p i s p a d a s a d e s t a n t e s</b>	<b>Movimiento de tierras y explanaciones</b>
	<b>Excavación:</b> 327 989,75 m <sup>3</sup>
	<b>Terraplén:</b> 192 779,91 m <sup>3</sup>
	<b>Suelo seleccionado S-Est 3:</b> 63 735,59 m <sup>3</sup>
	<b>Firmes</b>
	<b>Zahorra:</b> 13 358,67 m <sup>3</sup>
	<b>Suelocemento:</b> 35 407,72 m <sup>3</sup>
	<b>Mezclas bituminosas en caliente:</b> 97 236,88 t
	<b>Mezclas bituminosas discontinuas:</b> 237 968,00 m <sup>2</sup>
	<b>Hormigones HA-25:</b> 3052,52 m <sup>3</sup>
<b>Hormigones HA-30:</b> 4048,61 m <sup>3</sup>	
<b>Aceros:</b> 875 599,11 kg	

de este tramo son, en su mayoría, ampliación o duplicación de las ya existentes. No obstante, se ha llevado a cabo la construcción de un paso superior que forma parte del enlace de la Dehesa de Campoamor y se resuelve con una estructura de 3 vanos formada por un tablero mixto.

### Impacto ambiental

La obra ha incluido actuaciones de ordenación ecológica, estética y paisajística mediante plantaciones en mediana y en el entorno de la carretera con especies autóctonas, además de un tratamiento estético urbano de separadores entre calzadas; carril-bici, de 13 890 m de longitud, y vías de servicio.

La obra ha supuesto una inversión total de 27,450 millones de euros. ■

### F i c h a T é c n i c a

#### Titular:

Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana.

Ministerio de Fomento.

#### Dirección de las obras:

D. Jesús Redondo González, ICCP y D. Rafael Caro Sogorb, ITOP.

#### Empresa constructora:

Intersa

#### Jefe de obra:

D. Jesús Riquelme Rodríguez, ICCP.

#### Asistencia técnica control y vigilancia de las obras:

Incosa, Investigación y Control de Calidad, S.A.

#### Jefe de Unidad:

Dña. Cristina Pena, ICCP.

#### Asistencia técnica a la redacción del proyecto:

Intecsa-Inarsa

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

# incosa

Investigación y Control de Calidad S.A.

## SOLUCIONES INTEGRALES EN INGENIERÍA

Barcelona  
Bogotá  
Burgos  
La Coruña  
La Rioja  
León  
Madrid  
Murcia  
Oviedo  
Santander  
Valencia  
Valladolid  
Zaragoza

25  
1985 • 2010

**INCOSA ha ejecutado el Servicio de Asistencia Técnica de Control y Vigilancia de la Via Parque, tramo: Torre Vieja-Pilar de la Horadada**

# V Simposio de Túneles

## “Seguridad para los túneles del siglo XXI”



En la foto superior y en la inferior de la izquierda, autoridades que presidieron el acto inaugural del Simposio. De izquierda a derecha, D. José Polimón, D. Ibón Areso, D. José Luis Bilbao, D. Aureliano López Heredia y D. Rafael López Guarga. En la foto inferior de la derecha, el “Auresku” con el que se recibieron a autoridades y asistentes al Simposio.

**D**urante los días 24 al 26 de febrero de 2010 y en el *Euskalduna Jaureguía* de la ciudad de Bilbao, tuvo lugar la celebración de este V Simposio organizado por la ATC, con el patrocinio del Ministerio de Fomento y la Diputación Foral de Bizkaia, y la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, AETOS y AUSIGETI.

El simposio contó con la participación de más de 740 asistentes y 29 stands y en el que se presentaron más de 60 ponencias y comunicaciones, además de una visita técnica a las importantes obras de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao.

### Miércoles, 24 de febrero

#### SESIÓN INAUGURAL.

El acto fue presidido por el *Diputado General de Bizkaia*, **D. José Luis Bilbao**, acompañado por **D. José Polimón**, *Vicepresidente de la ATC*; **D. Ibón Areso**, *Teniente de Alcalde de la ciudad de Bilbao*; **D. Aureliano López Heredia**, *Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento*; y **D. Rafael López Guarga**, *Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón del Ministerio de Fomento* y *Director Técnico del Simposio*.

Tras este acto se procedió a la inau-

guración de la Exposición Técnica.

**PRIMERA SESIÓN: “La Seguridad. Distintos puntos de vista para abordarla”.**

La sesión comenzó con la presentación de la ponencia **“El Comité de túneles y la evolución técnica de la concepción del túnel”**, por **D. Rafael López Guarga**. En su intervención, el ponente hizo un repaso de los principales temas abordados en los cuatro simposios anteriores, así como de sus conclusiones más importantes, dando una visión de cómo había evolucionado en el tiempo la concepción técnica de un túnel, fundamentalmente en lo que a la seguridad se refiere,

y cómo habían influido en ello los accidentes en los túneles alpinos acontecidos en 1999 y en 2001, así como la promulgación de la Directiva Europea 2004/56/CE sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red transeuropea, y, en el caso de España, en su transposición mediante el R.D. 635/2006, de 26 de mayo.

El Sr. López Guarga hizo interesantes referencias a temas relacionados con la prevención de riesgos, mejora de la sensibilidad y fiabilidad de los equipos, nuevas tecnologías de comunicaciones, armonización de criterios sobre requisitos mínimos, estabilidad de las estructuras frente al fuego, infraestructuras para la evacuación y auxilio, técnicas de información al usuario y necesidad de coordinación entre los diferentes servicios intervinientes en los planes de intervención y evacuación en emergencias.



Primera sesión. De izquierda a derecha, Sres. Schmitz, López Guarga, Sra. Comejo y Sres. Alarcón y Romana.

En cuanto a la ventilación, constató los grandes avances que se han logrado en los cálculos de los diferentes sistemas, señalando que ya en 1993 se habían realizado los ensayos del *Memorial Tunnel* de Charleston, Virginia,

mediante el desarrollo de distintas configuraciones de ventilación "tipo" y, en Europa se había comenzado con el proyecto EUREKA 499 con la determinación de las curvas de incendio. Hasta entonces, la caracterización del fuego se basaba únicamente en la potencia calorífica liberada (MW).

Finalmente, y después de haber hecho referencia a la problemática de los modelos de análisis de riesgo y de la conveniencia o no de la implantación de sistemas de diluvio y sistemas fijos de extinción, el ponente abordó la problemática de los "Túneles en servicio". La Disposición Transitoria Tercera del R.D. 635/2006 establece la obligatoriedad de que la Autoridad Administrativa realice una Inspección de todos los túneles existentes, ya realizada en el caso de los de la Red de Carreteras del Estado, y, si fuese necesario, en que por parte del Gestor se establezca un Plan de adaptación, aprobando las medidas correctoras o modificaciones que se precisen para el cumplimiento de las condiciones establecidas en el Real Decreto, fijándose como plazo el 30 de abril de 2014, extensible, según los casos, hasta el año 2019. El Plan de Adecuación afecta principalmente a las salidas de emergencia, al sistema de ventilación y detección y extinción de incendios, a la adecuación de la estructura y drenaje, al alumbrado (normal, de emergencia, etc.), a

### Inauguración de la exposición



Tras la sesión inaugural del Simposio, los componentes de la mesa presidencial procedieron a la inauguración oficial de la exposición, deteniéndose y cambiando impresiones en cada uno de los 29 stands que se montaron al efecto.

las instalaciones de control y a la señalización (vertical, horizontal, de emergencia y semáforos).

Posteriormente, tomó la palabra **D. Enrique Alarcón**, Académico de la Real Academia de la Ingeniería y Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid, para presentar la ponencia **“Análisis probabilista de riesgo en túneles. La Directiva Europea”**, de la que es autor, junto a **D. Ignacio del Rey**, del Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica, y cuyo resumen no incluimos ya que se reproduce en su integridad en nuestra sección “Rutas Técnicas” de este mismo número.

**“El Manual de Túneles”** fue presentado por **M. Pierre Schmitz**, del Ministerio de la Región de Bruselas Capital y Presidente del Comité C4, AIPCR.

En su intervención informó que en 1957 se creó el “Comité técnico de Túneles de Carretera” de la AIPCR –que desde 1996 se llama “Comité Técnico



Sres. Mijangos, Llamas y Ballvé que formaron la primera de las mesas de la Sesión II, en la sala 1.

“Manual AIPCR de los Túneles de carretera”, recogerá esencialmente los contenidos de los 34 informes técnicos redactados por el Comité entre los años 1995 y 2011, la veintena de los artículos más recientes sobre túneles publi-

de textos guía con referencias a vínculos a dichos documentos.

El Manual, que está actualmente en fase de redacción, está previsto darlo a conocer en el XXIV Congreso Mundial de Carreteras de México.

**“El agua en la construcción y explotación de túneles de comunicación”**, fue el título de la presentación de **D. Manuel Romana Ruiz**, Catedrático Emérito de la Universidad Politécnica de Valencia y Presidente de STMR, Servicios Técnicos de Mecánica de Rocas, quien repasó los problemas causados por las filtraciones de agua en la explotación de túneles y obras subterráneas, muchos de los cuales se derivan de defectos u omisiones de proyecto. También clasificó los túneles y obras subterráneas en función de su posición respecto al nivel freático (general o estacional) que condiciona las filtraciones, y diferenciándolos de los túneles urbanos que tienen una casuística propia. Posteriormente, analizó la problemática del drenaje de los túneles, de acuerdo con la clasificación anteriormente mencionada, y presentó varios ejemplos concretos de problemas debidos a la entrada de agua en los túneles.

Finalizó su intervención comentando algunos problemas de expansividad de terrenos.

**SEGUNDA SESIÓN. “Los nuevos túneles. Modernización y gestión”.**

**SALA 1: “Modernización de los túneles y adaptación a la Normativa”**

**“Los túneles del siglo XXI. El po-**



Los almuerzos de trabajo se celebraron en el mismo Palacio de Congresos.

de Explotación de Túneles de Carretera”– y que ha participado en 14 Congresos Mundiales de la Carretera.

Este Comité también ha participado en el proyecto de investigación ERS2, llevado a cabo de forma conjunta por la OCDE y la AIPCR, en relación con el transporte de mercancías peligrosas a través de los túneles de carretera, y principalmente, sobre el modelo cuantitativo de evaluación de riesgos (Modelo QRAM) desarrollado en el marco de este proyecto ERS2.

La enciclopedia electrónica, llamada

cados en la revista *Routes/Roads* y los documentos sobre el Modelo QRAM. Incluye también vínculos con varias páginas de utilidad.

Este Manual ha sido concebido para su constante actualización con el fin de permitir el seguimiento de las técnicas empleadas desde la fase de proyecto hasta la explotación. En esta primera versión, los miembros del Comité C4 (2008-2011) se han centrado principalmente en la definición de la estructura del Manual y la inclusión de los documentos más interesantes mediante la redacción

yecto **OASIS**", de **D. Jorge Mijangos Linaza**, Asesor Técnico de OHL y OASIS, nos acercó un poco más al proyecto OASIS (Operación, Autopistas, Seguras, Inteligentes, Sostenibles), que cuenta con la colaboración del Ministerio de Industria a través del CDTI, y que tiene por objeto la definición de la Autopista del Futuro, en todo aquello que se refiere a su Operación, de modo que está presente en los diversos niveles diferenciales de seguridad, servicio al usuario y sostenibilidad, y que se involucra en todas las fases del ciclo de vida de la autopista, especialmente en la de explotación, la más extensa en el tiempo. Tras informar sobre quiénes son los socios y colaboradores del proyecto, explicó lo que se entiende por huella energética de una autopista: la suma algebraica de los consumos e insumos que distintas alternativas de una autopista pueden producirse en todas las fases de vida útil. Tras ello, se detuvo en la planificación dinámica de la movilidad y, especialmente, en el tema del ahorro energético, la utilización de parálumenes, la aplicación de energías renovables y la utilización de la tecnología LED para la iluminación de un túnel. La sensorización de la infraestructura y sus indicadores (de servicio y del estado de la infraestructura) y la nueva Arquitectura de la comunicación en los ITS de carreteras completaron su exposición.

**"EUROTAP diez años auditando túneles"**, fue la ponencia presentada por **D. Albert Ballbé Ortí** y **D. Xavier Abadía Pérez**, del Real Automóvil Club de Cataluña (RACC), en la que se afirmó que las estadísticas dicen que cruzar un túnel es más seguro que muchas carreteras, pero en los que los accidentes que en ellos se producen tienen grandes consecuencias y un mayor impacto mediático. Tras 10 años de auditorías en túneles, el RACC considera que EuroTAP ha constituido una iniciativa muy acertada para la mejora y el incremento de la seguridad en los túneles. Además, se ha conseguido su mejora y poner en la agenda política este tema, lo que ha traído consigo grandes beneficios. También afirmó que se ha notado la implantación de la Directiva Europea y que los resultados han sido mejores.



Mesa que presidió la II Sesión en la sala 2. De izquierda a derecha, Sra. Vara y Sres. Dueñas y Busatto.

Los clubs de automóviles y el RACC, entre ellos, creen en la labor social desarrollada en programas como éste, donde la sociedad participa de los procesos de seguimiento y control.

Para el ponente, casos de túneles como Rovira, San Juan o Vielha muestran la capacidad de conseguir resultados en nuestro país, y la necesaria función participativa de los organismos sociales en la vigilancia de las infraestructuras dedicadas a la movilidad.

A continuación se presentaron un total de 10 comunicaciones libres que reflejaron diversas actuaciones llevadas a cabo en túneles como los de Lorca, Bielsa-Aragouet, los de la AP-1 y AP-8, Rañadoiro, Pont Pla, Bracons y Barcelona, así como diversos estudios relativos al comportamiento del pavimento en túneles frente al fuego, o la adecuación de los túneles de Guadarrama al R.D. 635/2006.

### **SALA 2. Operación, explotación y emergencias**

En **"Los simulacros y la formación del personal de emergencias en túneles"**, de **Dña. María Vara Moral**, de la Escuela Nacional de Protección Civil (Ministerio del Interior), se defendió que es necesario establecer un sistema de formación oficial para el personal de explotación y para los servicios de emergencia en los túneles, que permita adquirir las competencias necesarias para la actuación frente a emergencias en los túneles. Así mismo, deberá integrarse, tanto en la formación inicial oficial (Tí-

tulos de Formación Profesional y Grados) para explotadores y servicios de emergencia como en la formación continua a las organizaciones implicadas en la seguridad de cada túnel.

Igualmente, es imprescindible realizar simulacros con la participación de todos los agentes y niveles implicados e incorporar las lecciones aprendidas tanto de los simulacros como de los incidentes que se produzcan al sistema de seguridad de cada túnel, como fuente de conocimiento para mejorar la gestión de las emergencias.

En los **"Estudios de evacuación y circulación de personas en grandes infraestructuras públicas, a través del uso de herramientas de simulación"**, **D. Marco Busatto**, de **IDOM, Ingeniería y Consultoría, S.A.**, se presentaron unos modelos que permiten determinar la eficiencia de los medios de evacuación, analizar de manera estocástica las variables del modelo tales como tiempo de evacuación, flujo en puntos de salida, niveles de intoxicación, afección del calor por persona, número de muertes y de personas que salen del edificio, etc. Así mismo, los modelos analizan aspectos de diseño como: rutas de evacuación, efecto de las señales de salida, densidad en las áreas, niveles de experiencia de los ocupantes, etc.

También es capaz de simular y analizar el movimiento y comportamiento de personas en la evacuación de edificios y grandes infraestructuras públicas, tomando en cuenta el efecto de las con-

diciones medio ambientales de un incendio, tales como gases tóxicos, humo y temperatura (simulación CFD). El software utilizado es el *BuildingE-xodus* complementado por Enterprise Dynamics para estudios de evaluación. Este software ha sido desarrollado por el grupo de trabajo de la Universidad de Greenwich y elegido por Idom como el referente a nivel mundial en cuanto a teoría de la evacuación.

Posteriormente se presentaron 10 comunicaciones libres sobre temas como la aplicación de simuladores de escenarios, planes de autoprotección, proyectos de gestión, coordinación en actuaciones de emergencia, planes conjuntos internacionales como el del Túnel de Somport, nuevas tecnologías, etc.

### SALA 3: “Análisis de riesgo y nuevas tecnologías y materiales para la seguridad”

**D. Juan Manuel Erauso Eizaguirre**, de la *Diputación Foral de Gipuzkoa*, en su ponencia “**Aplicación de nuevas tecnologías en sustitución de obras de infraestructura**”, informó que, tras la aprobación de la Directiva Europea y posteriores transposiciones, con el R.D. 635/2006 o el Decreto Foral 135/2006 se cuenta con una normativa que permite el diseño de túneles más seguros. No obstante, hay un gran número de ellos, de diferentes tipos y singularidades, anteriores a estas normas cuya adaptación tiene un coste exagerado. Tras comparar y exponer algunos ejemplos y analizar algunos elementos como



Mesa que presidió la sala, 3 de la Sesión II. De derecha a izquierda, Sres. Del Rey, Sánchez Rey y Erauso.

aceras y apartaderos, drenaje de vertidos, galerías de evacuación, etc., el ponente afirmó que, para los túneles nuevos, no hay mucha discusión: hay que cumplir la norma. Sin embargo, para los túneles antiguos, la norma no puede ser tan estricta y debe ser más flexible.

El Sr. Erauso subrayó que los equipamientos, que denominó de “tecnología superior” puestos al “nivel de consumo”, proporcionan unas mejoras notables de seguridad con un bajo costo que se deben tener en cuenta, como, por ejemplo, disponer de un Centro de Control multitúnel, ya que gestionar un túnel o un grupo de ellos no cuesta más y se puede hacer muy eficazmente, poniendo como ejemplo de lo antedicho a los túneles de Vic.

Tampoco quiso finalizar sin afirmar que todo ello no vale gran cosa si no

se dispone de unos operadores perfectamente formados y entrenados para conseguir actuaciones más rápidas y eficaces que garanticen la seguridad; y que, además, esté dotados de las herramientas adecuadas (programas informáticos diseñados y elaborados *ad hoc*, considerando cada túnel y su entorno).

A continuación y con la ponencia “**Los nuevos retos en la seguridad frente a incendio**”, **D. Ignacio del Rey Llorente**, de *CEMIM (Centro de Modelado de Ingeniería Mecánica)*; *Animador del WG6 y Secretario hispanohablante del Comité C4 de la PIARC*, subrayó que la entrada en vigor del Real Decreto 635/2006 ha supuesto una referencia fundamental para Administración, proyectistas, explotadores y servicios de emergencia. Así mismo que la normativa originaria de la Directiva Europea recoge la experiencia adquirida en los últimos años en importantes proyectos europeos dedicados a la seguridad frente a incendio en túneles.

Sin embargo, la aplicación de los resultados obtenidos y la verificación de la idoneidad de las soluciones siguen requiriendo su adaptación al esquema tradicional: redacción de proyecto - ejecución - explotación.

Más adelante repasó, por una parte, aquellos aspectos teóricamente resueltos, pero en los que los autores creen preciso incidir por su repercusión en la seguridad frente al incendio; y en otros que, por su controversia o novedad, se han definido como nuevos retos.



Actuación del coro Bihotz Alai.

Aspectos como la correcta interpretación y definición del incendio de proyecto y la implementación adecuada de sistemas para el control de la ventilación se consideran elementos claves en los próximos años.

Tras esta intervención, comenzó la exposición de las 10 comunicaciones previstas para esta sala, que trataron temas tan diversos como la reacción de las mezclas bituminosas ante el fuego, sistemas de extinción, metodologías para el análisis de riesgo, sistemas de detección y extinción en túneles, desarrollo de hidrantes, seguridad funcional e información variable en túneles, etc.

El día finalizó con un concierto en el mismo auditorio y la cena oficial del Congreso, que se llevó a cabo en la Sociedad Bilbaína y en el hotel Carlton.

### Jueves, 25 de febrero

#### TERCERA SESIÓN: “La Seguridad en los túneles. Una visión en la experiencia”

“La carga mental en los túneles: Consecuencias en la conducción y posibles soluciones. Resultados de una encuesta. Aportaciones para la reducción de riesgos”, fue presentada por **D. Ricardo Blasco Ruiz**, de la Universidad de Barcelona (autor de la misma junto a **D. José M. Comejo**, también de la Universidad de Barcelona, y **Dña. Sonia Ferri Anglada**, de CIEMAT), quien, entre otras cosas, presentó una serie de sugerencias, tal vez drásticas y osadas, de modificación del escenario de un túnel, sin entrar en posibles dificultades técnicas para su realización, intentando transformar un espacio cerrado que genera sobrecarga mental y ciertos niveles de angustia indeseables para la seguridad. El ponente señaló la necesidad de considerar muy seriamente los estados emocionales en las emergencias como graves limitadores de la capacidad de razonamiento y toma de decisiones de los usuarios, y sus repercusiones sobre el diseño de diversos elementos de socorro. También hizo lo mismo con algunas matizaciones de la normativa, destacando la necesidad de la mejora en la formación del usuario.

A continuación intervino **D. Ángel J.**

### Cocktail y cena de inauguración del congreso



Las imágenes corresponden a la cena celebrada en la Sociedad Bilbaína.

**Muñoz Suárez**, de la Dirección General de Tráfico, con la ponencia “Hacia una recopilación de las condiciones, características y prestaciones de la señalización en túneles”. En ella, defendió que la señalización variable debe cumplir las normas europeas (actualmente, la EN 12966, partes 1, 2 y 3 y las modificaciones, si las hubiere), y la norma española emanante del Subcomité 05 del Comité 199 de AENOR (Equipamiento para la gestión del tráfico) y debe disponerse, conforme a los criterios de emplazamiento, con las dimensiones, prestaciones y características que hagan que su visibilidad y legibilidad sea la más adecuada. La señalización variable –prosiguió– se encuentra entre las dotaciones de las instalaciones y equipamiento para la gestión de los túneles y es, por tanto, una necesidad de indudable utilidad y de imprescindible aplicación que debe ser ampliada a todo tipo de túnel, independientemente de su intensidad viaria, longitud o localización. Además, en los accesos a los túneles, se deben cum-

plir los mismos condicionantes que la señalización variable situada sobre una infraestructura viaria cualquiera.

Finalmente, consideró que, en esta materia, se debería llevar a cabo una modificación del Real Decreto 635/2006.

Más adelante, intervino **D. Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos**, del Ministerio de Fomento, autor, junto a **D. M.A. Abella** y **D. Fernando Hacar**, de la ponencia “Diseño de túneles y problemática de la seguridad en la explotación: Visión desde la perspectiva de la normativa”. En ella se dio una visión basada en la experiencia de más de 10 años explotando túneles de diversa tipología, y se subrayó que, actualmente, se dispone de una normativa, que regula las instalaciones mínimas de seguridad en los túneles de carretera, que era una necesidad absoluta.

No obstante, se debería profundizar aún más en el desarrollo y regulación de los elementos que la componen (tanto desde el aspecto de “homologación”, entendiendo por tal la disposición de los



Mesa de la III Sesión. De izquierda a derecha, Sres. Blasco, Muñoz, Belda y García-Arango.

elementos y sistemas de mercado, no de marcas propietarias, más adecuados al entorno del túnel), como de su diseño, teniendo en cuenta que la tecnología avanza a velocidades a veces difíciles de seguir (de ahí un posible hándicap para tratar de normalizar), pero que sí permiten aplicar arquitecturas de comunicaciones, toma de datos y decisiones actualizadas, cada vez más fiables, sencillas y de componentes de más fácil y barata adquisición.

Finalmente destacó que es importante desarrollar los aspectos normativos, de modo que no sean de aplicación normas pensadas para otros entornos, ajustándolas a la realidad en la que deben operar. No se trata de destruir o eliminar, sino de adecuar y racionalizar, en un camino que lleva poco trecho recorrido, y en el que se debe aún caminar mucho.

### CUARTA SESIÓN: “Los túneles en Bizkaia”.

La sesión comenzó con la ponencia “*El Plan de Infraestructuras Bizkaia 2003*”, de **D. Carlos Estefanía Angulo**, de la *Diputación Foral de Bizkaia*, quien afirmó que el PTSC es un instrumento de gestión de una institución, la Diputación Foral de Bizkaia, que tiene compe-

tencias exclusivas sobre las carreteras del Territorio Histórico.

La obra subterránea se ha convertido en un instrumento fundamental para el desarrollo del PTSC, ayudada por diversos factores como la disposición de una normativa propia de túneles, una experiencia reciente de aplicación, el desarrollo de la ingeniería para el proyecto y



Mesa de la IV Sesión. De izquierda a derecha, Sres. Martínez, Cobeaga, Estefanía; Sras. Garmendia y Masalleras; y Sres. Estany y Gómez.

el control, así como de unas empresas constructoras que favorecen su ejecución.

Para el Sr. Estefanía, el reto actual es sumar a los avances conseguidos hasta ahora la capacidad de integrar proyecto, construcción y gestión en un concesionario (ya sea mediante peaje en sombra o mediante canon por uso).

A continuación, se presentó la “*Experiencia del Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia*”, de **D. Javier José Cobeaga Zarinaga**, de la *Diputación Foral de Bizkaia*; y de **D. Javier Martínez Plumé**, del *Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia (OITB)*, en la que se destacó que la Directiva Europea 2004/54/CE, el R. D. 635/2006 y los Decretos Forales 135/2006 y 134/2008 han supuesto un cambio cualitativo muy importante para conseguir unos túneles más seguros y un cambio organizativo en la metodología de trabajo que van a dar mayor importancia a la seguridad.

La creación de los decretos forales y del OITB han supuesto un reto importante, pero ha valido la pena, ya que se está consiguiendo cambiar la inercia existente y se están incluyendo, en los planes de obra y en los presupuestos de los túneles en construcción, periodos amplios para la realización de pruebas, se está contemplando la realización de simulacros y se disponen de partidas económicas para su realización.

La puesta en marcha del OITB ha sig-

nificado varios meses de intenso trabajo para la creación de las metodologías, plantillas y procedimientos, y también ha sido necesario invertir un esfuerzo nada despreciable en la realización de reuniones con los entes implicados que, en muchos casos, tenían un componente pedagógico para ir introduciendo paulatinamente los cambios organizativos y

de requisitos técnicos que la norma exige y así también ir transmitiendo la “cultura de la seguridad”.

La adecuación de los túneles en servicio a la normativa existente no va a ser sencilla y va a suponer un esfuerzo conjunto para poder acometer estas actuaciones de forma responsable, priorizando las actuaciones y tomando medidas complementarias que permitan asegurar un nivel mínimo de seguridad en la explotación.

La ponencia **“Instalaciones de los túneles de la fase IA de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao”**, de **Dña. Elena Masalleras Vidal**, de **Interbiak**, y **D. Enrique R. Gómez Cristóbal**, de **Sener Ingeniería y Sistemas**, informó que la Fase IA de esta nueva autopista de circunvalación del área metropolitana destinada a los tráficos de largo recorrido, e integrada en la Red Transeuropea de Carreteras, cuenta con 5 túneles bitubo, de longitudes comprendidas entre 680 m y 2300 m.

Su diseño se ha realizado de acuerdo con la Directiva 2004/54/CE y con la Norma Foral de Seguridad en Túneles de Carretera de la Diputación Foral de Bizkaia. Las instalaciones han sido objeto de un proyecto independiente, si bien todos los componentes de la seguridad de los túneles –infraestructura, instalaciones y explotación– han sido tenidos en consideración a lo largo de todo el proceso de concepción, desde el planeamiento al diseño constructivo.

En su intervención describió brevemente las instalaciones proyectadas y los criterios de diseño considerados para los principales sistemas.

Las obras de ejecución de las instalaciones se iniciaron en septiembre de 2009, estando prevista la puesta en servicio de la autopista para el mes de marzo de 2011.

**D. Andrés Estany i Serra**, de **Esteyco**, en su ponencia **“La Frontera del túnel”**, afirmó que las transiciones entre estructuras, espacios o entornos distintos son los elementos de mayor dificultad y grado de incertidumbre proyectual, ya que pasar de un entorno a otro, de una estructura a otra, supone siempre una turbulencia en el modo de proyectar infraestructuras lineales,

### Visita técnica



Imágenes de la visita técnica tanto en el exterior como en el interior del túnel y en su unión con los viaductos del enlace del Cadagua.

y, por ello, necesitan de la intervención simultánea de especialistas en otros campos, pero con una visión integradora y global del entorno y de los condicionantes de cada una de las especialidades implicadas.

El concepto de frontera del túnel podría materializarse en lo que llamamos comúnmente bocas o emboquilles del túnel, la zona más identificada y que, por su elevada visibilidad y su resolución satisfactoria, suele ser el reflejo del

nivel de integración, no sólo de la propia infraestructura sino extensivamente de todo el trazado de la vía. Tras explicar que, generalmente, hay dos maneras de abordar el entorno de frontera y las boquillas: por mimetización de la estructura en el entorno y la orografía, y mediante estructuras sobrepuestas al entorno y con soluciones más diseñadas, expuso algunos casos concretos que entrañaron dificultad, deteniéndose en las boquillas en transiciones complejas y en las transiciones túnel-viaducto, finalizando con la exposición de otros condicionantes, incluidos los casos urbanos, subrayando que en los proyectos de menor identidad no se invierte la misma atención en el acabado ni en la disposición de elementos construidos para albergar instalaciones o elementos de seguridad, y sugiriendo que se huya de una decoración excesiva que pueda distraer la atención del conductor y resulte antiestética.

Finalizó la sesión la **Presentación de la Visita Técnica**, a cargo de **D. Javier Gómez Corral** (IDOM, Ingeniería y Consultoría, S.A.), Jefe del Equipo de la Asistencia Técnica de todos los tramos de la Variante Sur Metropolitana, infraestructura subterránea en un 70% de su longitud, que permitirá alejar de las zonas urbanas tráfico intensos, mercancías peligrosas y vehículos pesados, fundamentalmente en dirección al puerto y aumentará la capacidad de los accesos al aeropuerto de Sondika.

Tras el almuerzo de trabajo, los asistentes al congreso se desplazaron a las obras que se están realizando en los túneles de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao, donde recibieron todo tipo de información sobre su desarrollo y su especial dificultad.

El día se cerró con una cena ofrecida por las 20 empresas constructoras de la citada variante.

## Viernes, 26 de febrero

**QUINTA SESIÓN: “Los Responsables en la gestión y en la seguridad del túnel”.**

La **“Experiencia de Tekia como parte de la estructura de seguridad**

## Cena ofrecida por las empresas constructoras



Cena ofrecida por las empresas constructoras de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao. En la foto superior, D. Rafael López Guarga dirigiéndose a los asistentes.

**que demanda la Directiva”, de D. Francisco Palazón Rubio y D. Miguel López Rodríguez**, de **TEKIA Ingenieros**, defendió que el marco legislativo creado define la estructura de seguridad, así como las responsabilidades y funciones básicas y los ámbitos de actuación de las distintas figuras que componen dicha estructura; sin embargo, debido a la inmadurez del sistema, existen indefiniciones e imprecisiones que permiten que existan diferentes interpretaciones al poner en práctica el sistema, lo que puede producir conflictos de responsabilidades y competencias, además de dificultar la asignación de recursos presupuestarios y gestionar los contratos correspondientes por parte de las Administraciones. Entre los problemas encontrados

están las interpretaciones muy diferentes por parte de éstas sobre el alcance de los trabajos de inspección que deben llevar a cabo los Responsables de Seguridad y la dificultad en la valoración del alcance de los trabajos de estos Responsables de Seguridad y de los Organismos de Inspección, lo que puede llevar a desajustes entre los presupuestos asignados a los contratos y la ejecución exigida.

También señaló las prácticas muy heterogéneas de esos Responsables en el desarrollo de sus trabajos, y la percepción equivocada por parte de las empresas explotadoras y concesionarias de sus funciones y competencias que, en ocasiones, llevan al no reconocimiento de su autoridad e independencia. Además, se puede producir una dilución de

las responsabilidades como consecuencia del solapamiento de trabajos y funciones entre las Explotadoras, Responsables de Seguridad, Gestores de Túneles y Organismo de Inspección.

Así mismo, los contratos de explotación de túneles en curso no están dotados con partidas presupuestarias destinadas a actuaciones que deben llevarse a cabo como formación o simulacros.

En definitiva que, una vez creadas las bases y principios de estas nuevas estructuras de seguridad, es necesario realizar un esfuerzo adicional de definición de funciones y competencias de las entidades implicadas.

Las **“Nuevas disposiciones ADR para el paso de mercancías peligrosas por los túneles”**, fueron presentadas por **Dña. Carmen María Martínez Cebollada**, Directora Adjunta de Explotación del túnel de Somport, autora de la ponencia, junto a **D. Víctor Manuel Campo Molina**, Director de Instalaciones del citado túnel. Explicó que el 11 de enero de 2010 ha entrado en vigor una nueva reglamentación de obligado cumplimiento sobre el paso de mercancías peligrosas por los túneles de carretera, que se deriva de unas enmiendas de 2007 y 2009 al acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR). El ADR 2009, publicado por la D.G. de Transporte Terrestre del Ministerio de Fomento, establece en sus apartados 1.9.5 y 8.6 las restricciones al paso de vehículos que transporten mercancías peligrosas por túneles de carretera desde su versión anterior del año 2007. La justificación de los tres peligros a los que se hace referencia (explosiones, fugas tóxicas e incendios), la explicación de las cinco categorías de túneles (A, B, C, D, y E), la clasificación de las mercancías peligrosas para el paso por túneles, y la importancia y justificación de la señalización (especialmente al apartado 1.9.5.3) centraron su exposición.

**“La función de los Responsables de Seguridad y su problemática”**, fue el tema propuesto por **D. Marc Tesson**, del CETU - Francia; y Animador del WG3 del Comité C4, PIARC, quien habló sobre la Directiva 2004/54/CE de la Unión Europea, del 24 de abril de 2004, sobre



Mesa de la V Sesión. En la foto y de izquierda a derecha, Sres. López, López Guarga, Sra. Martínez, Sr. Campo y Sr. Tesson.

requisitos mínimos de seguridad para los túneles de la red transeuropea de carreteras, subrayando cómo esta Directiva presenta al Responsable de Seguridad como la nueva figura encargada de coordinar todas las medidas preventivas y de garantizar la seguridad de los usuarios, así como la del personal operativo.

Entre otras cosas, a lo largo de su exposición, comentó cómo diversas instituciones relacionadas con la seguridad en túneles de carretera, entre ellas la AIPCR, celebraron en Lyon un Foro Europeo, entre el 4 y el 5 de noviembre de 2009, y de lo allí acordado, gracias al intercambio de experiencias habido, en especial, sobre los responsables de la seguridad.

### SEXTA SESIÓN: “La Seguridad. Una visión multidisciplinar”

La **“Formación de Personal de Explotación de túneles (operadores, agentes de campo y mantenedores) y la utilización de simuladores y simulacros”**, de **Dña. M<sup>a</sup> Fernanda Bermejo Martínez**, Jefa del Departamento de Túneles, del Aeropuerto Madrid-Barajas, subrayó que la seguridad demandada por los usuarios de los túneles depende de cuatro factores fundamentales: a) las características específicas de cada túnel o grupo de túneles; b) los procedimientos propios de explotación de cada uno de los túneles, de un grupo de túneles o de los túneles como integrantes de una red viaria; c) el personal dedicado a la explotación: en particular habrá que definir la organización (organigrama de la

explotación), la selección del personal (requisitos mínimos para la contratación de dicho personal para cada uno de los puestos de trabajo) y la formación (inicial y/o continua); y de los servicios externos a la explotación (policía, bomberos, servicio médico, etc.).

Con ello se pretende conseguir la normalización de los siguientes aspectos en la explotación de los distintos túneles:

a) La organización y gestión del personal del explotador (un mínimo de personal por tipo de túnel/es); b) la mejora en la respuesta y en las actuaciones del personal de explotación (definición normalizada de procedimientos de explotación normal, incidente y/o con emergencia); la armonización de la formación y conocimientos del personal de explotación, teniendo en cuenta la gran diversidad de túneles y de sus condiciones operativas y su organización operacional; y d) la mejora de la seguridad para todos los usuarios y para el personal de explotación del túnel.

Para conseguir un nivel de cualificación del personal de explotación se deberían impartir cursos de formación iniciales reforzados con una formación continua (menos exhaustiva que la inicial) que aseguren que el nivel de conocimientos del ese personal es el adecuado para el desempeño de su misión. Estos cursos se complementarán con la utilización de simuladores y con la realización periódica de simulacros (virtuales e “in situ”)

A continuación, y con el tema **“La**



Mesa de la VI Sesión compuesta por la Sra. Bermejo, Sr. Morera y Sr. Gamannossi.

**experiencia de Autostrade en Italia con la iluminación con Led**”, de Giuseppe Langer, Enrico Reatto, Alessandro Senatori y Gabriele Gamanossi, intervino este último informando que las normas UNI 11248 y UNI 13201, y las prescripciones del Art. 2 y del D.M. 14/09/2005, además de la “teoría de la luz blanca” en Europa, in-

fluyeron notablemente para la elección de una fuente luminosa que ahorrara energía, al tiempo que produjera una resolución cromática mayor. Con esa iluminaria Led se sustituirían las lámparas HPS existentes, siempre que fueran compatibles con las instalaciones existentes a nivel de montaje, con igual interdistancia e iluminación anteriores,

y que redujera el consumo energético, etc. Tras explicar las primeras experiencias, la instalación de prueba y las ventajas de su mantenimiento, concluyó que con la instalación de luminarias LED en el túnel de Crocina, Autostrade ha elegido este tipo de iluminación y va a organizar diferentes concursos para su instalación en la totalidad de su túneles (279 km).

Tras esta exposición se procedió a la presentación de las 6 *comunicaciones libres* restantes que versaron sobre diferentes temas de interés relativos a la figura del Responsable de Seguridad, a las instalaciones, la normalización de la obra civil auxiliar, las radiocomunicaciones en el interior de un túnel, la formación a escala real sobre incendios y a los forjados mixtos ligeros en falsos techos. Así mismo, se procedió a la lectura de la relación de otras 25 *comunicaciones* y de sus autores que, aunque no se pudieron exponer en la sala, se incluyeron en el libro del Simposio.

## CONCLUSIONES

Por D. Juan Manuel Sanz Sacristán,  
Jefe de Sección Instalaciones del  
Transporte de Euroestudios,  
y Secretario del Simposio

“Clausuramos hoy el V Simposio de Túneles que, bajo el título ‘Seguridad para los Túneles del Siglo XXI’, nos ha reunido estos tres días en Bilbao.

### Desarrollo del simposio

Hemos podido constatar una vez más, gracias a la gran asistencia registrada y al elevado número y nivel de las presentaciones, que el Simposio está totalmente consolidado y cuenta con el interés y aprecio de todos los estamentos técnicos relacionados con la explotación y equipamiento de los túneles.

Queremos agradecer a todas las personas, que han hecho posible el éxito de este Simposio, su apoyo y participación. Nuestro agradecimiento a las autoridades locales, autonómicas y estatales, a la ATC, a los miembros de los distintos comités organizadores, a los

distintos ponentes, a los organismos y empresas que han participado con *stands* en la Exposición Técnica y a los que han posibilitado el desarrollo de la visita técnica, así como a todos los asistentes.

Quiero destacar el elevado número de inscritos que ha superado ampliamente las previsiones más optimistas y la gran participación y asistencia registrada en todos los eventos del mismo, que se ha mantenido muy alta hasta el momento de su clausura. Asimismo constatar el gran interés que han despertado, tanto por el número como por la información proporcionada, los *stands* de la Exposición Técnica desarrollada durante el Simposio.

### Innovación técnica

Estos tres días nos han servido para comprobar el continuo avance e innovación de la industria española en relación con el equipamiento, explotación, mantenimiento y seguridad de los túneles, así como su participación cada día mayor en otros países. Se han pre-



sentado múltiples innovaciones técnicas que se han implantado en diversos túneles, o que se encuentran en una fase muy avanzada de su desarrollo, y que permiten importantes mejoras en el equipamiento, explotación y seguridad de los túneles.

### Real Decreto 635/2006

Una parte fundamental del simposio la ha ocupado la aplicación del R. D. 635/2006 y del Decreto Foral de Bizkaia en el proyecto de nuevos túneles o en la mejora de los actualmente en construcción o explotación. Se ha repasado el importante avance que estas normativas (transposición de la Directiva Europea) suponen en la seguridad de los túneles. Como se ha dicho en el sim-

posio, el Real Decreto 'supone una nueva cultura en la ingeniería de los túneles'.

Se han explicado diversos casos de acondicionamiento de túneles en servicio dentro de la aplicación del Real Decreto y constatado cómo éste y la concepción global de todas las fases y de todos los aspectos en relación con los túneles nos proporcionan unas herramientas de gran utilidad a la hora de garantizar la seguridad de los túneles, y de optimizar la inversión necesaria y los costes de mantenimiento y explotación.

Se ha profundizado en las funciones y responsabilidades relativas a la nueva figura del Responsable de Seguridad en las distintas fases de un túnel (proyecto, construcción y explotación) y repasado el desarrollo, aspectos tratados y conclusiones alcanzadas dentro del Foro Europeo de Responsables de Seguridad de Túneles de Carreteras.

Otros aspectos relevantes que se han tratado en diversas comunicaciones rea-lizadas durante el Simposio son la elaboración de los manuales de explotación, la planificación de los planes de emergencia, el desarrollo de simulacros y la importancia de la formación del personal involucrado.

### Comités Técnicos de Túneles de la ATC y de la AIPCR

Hemos repasado los trabajos desarrollados por el Comité de Túneles Internacional de la PIARC y del nacional de la ATC y los documentos técnicos por ellos publicados, con especial atención al Manual de Túneles. Todo ello proporciona herramientas de gran utilidad para mejorar la seguridad de los túneles.

La presentación realizada en primera, de una primera versión del "Manual AIPCR de los Túneles de Carretera" durante el Simposio, ha permitido constatar el enorme trabajo que se está desarrollando, con el objetivo de recopilar y compilar toda la bibliografía de la PIARC en relación con los túneles de carretera y que en breve se constituirá como una auténtica enciclopedia elec-



En la foto, el Sr. Sanz presentando las conclusiones en presencia de Dña. Itziar Garmendia, quien clausuró el Simposio.

trónica en relación con la geometría, equipamiento, mantenimiento, explotación, seguridad y medio ambiente de los túneles.

### Análisis de riesgo

Se ha profundizado en el estado del arte de los modelos de análisis de riesgos de los túneles y presentado diversos desarrollos que se han realizado en este campo que muestran la capacidad latente para desarrollar una metodología propia, optimizada tanto en sus resultados como en su aplicación, y que pueda ser presentada como modelo a Europa.

Se ha verificado cómo, desde el primer instante en que la Directiva Europea indicaba la necesidad de realizar análisis de riesgo a los túneles de carreteras, para determinadas situaciones, la ingeniería española se puso en marcha para su desarrollo, encontrándose actualmente en posición avanzada. Se han repasado los principales métodos aplicados en otros países (Francia con el método CETU, Holanda con el TUNPRIM, Austria con el TuRisMo, Italia con el IRAM,...), así como los desarrollados en ámbito nacional por diversas empresas e instituciones y que podrían aplicarse directamente tras un periodo de verificación exhaustiva y de consenso.

La principal novedad que se introduce con los nuevos análisis de riesgos es la de optimizar la inversión necesaria en un túnel para alcanzar un adecuado nivel de seguridad, y poder

afrontar singularidades concretas, presentándose como una herramienta de gran utilidad a la hora de la toma de decisiones y para el diseño de los túneles.

### Túneles de Bizkaia

Durante el simposio hemos podido conocer en mayor profundidad el desarrollo del Plan de Infraestructuras de Bizkaia y, en concreto, de los importantes túneles que se encuentran en fase muy avanzada de ejecución.

También se han presentado los avances tecnológicos implantados, así como las herramientas desarrolladas por la Diputación Foral de Bizkaia para garantizar su adecuada explotación y mantenimiento, y la mejora continua de su seguridad, destacando el Decreto Foral 135/2006 y las Instrucciones Técnicas de Seguridad en Túneles, así como la exposición de la implantación y funcionamiento del Organismo de Inspección de los Túneles de Bizkaia.

Quiero agradecer, en nombre de todos los asistentes, la visita técnica realizada a los túneles en construcción de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao, obra de especial interés técnico por su complejidad y equipamiento implantado.

### Conclusión

Todo ello nos permite concluir que, efectivamente, la industria del país se encuentra posicionada para afrontar el diseño y seguridad de los túneles del Siglo XXI. ■

# XIII Congreso Mundial de Vialidad Invernal de la AIPCR, Quebec 2010



La Secretaria General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento durante el debate en la Sesión de Ministros y en un primer plano durante su intervención en la citada reunión.

*Pablo Sáez Villar,  
Director Gerente de ACEX.*

**E**ntre los pasados días 8 y 11 de febrero de 2010 ha tenido lugar, en la ciudad canadiense de Quebec, el XIII Congreso Mundial de Vialidad Invernal de la AIPCR.

En este Congreso mundial la presencia de la delegación española ha sido significativa, de un lado en el primer día del Congreso, en una sesión plenaria, la Secretaria General de Infraestructuras, D<sup>a</sup> Inmaculada Rodríguez-Piñero, presentó una ponencia sobre la gestión de la vialidad invernal que el Gobierno de España realiza en nuestro país. En ella abordó de un lado los recursos mecánicos, humanos y de acopio de fundentes que se destinan a la eje-

cución de las operaciones de vialidad invernal de carácter preventivo y curativo, así como una evolución histórica del total de las inversiones realizadas en los últimos años, acentuando el importante incremento que se ha realizado en la mejora de las condiciones de vialidad y en la coordinación con otras Administraciones de carreteras.

Ya en el segundo día, dentro de los paneles específicos de políticas y estrategias nacionales de la vialidad invernal, el Ministerio de Fomento, a través de D. Vicente Vilanova, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid, presentó una ponencia en la que expuso, de forma clara y brillante, la sistemática que se emplea en España para abordar las operaciones de



vialidad invernal. Partiendo de las condiciones geográficas de nuestro país, del hecho de ser el segundo país de mayor altitud media de Europa, y de los más de 25 751 km de carreteras que constituyen la Red del Estado, de ellos el 43% de gran capacidad, 11 120 km de autovías y autopistas, se informó de la existencia de 160 sectores que abordan la conservación de su tramo específico. Se expuso que el número de máquinas quitanieves disponibles alcanza las 1130, la existencia de 712 almacenes y silos con una capacidad de acopio de 185 396 toneladas de fundentes y las más de 1500 personas que trabajan en el sector de la vialidad invernal. Se presentó



En el congreso se expuso que el número de máquinas quitanieves disponibles alcanza las 1130 unidades, la existencia de 712 almacenes y silos con una capacidad de acopio de fundentes de 186 396 toneladas y las más de 1500 personas que trabajan en el sector de la vialidad invernal.

como una mejora de gestión la implantación de una red de 55 aparcamientos de emergencias para camiones, de los cuales a día de hoy ya se han puesto en servicio 25. Se desarrolló la existencia de protocolos de coordinación ante situaciones de nevada, así como la realización de planes operativos, y se explicó la existencia de niveles de servicio que se establecen en función de la importancia de la carretera.

El tercer día del Congreso también contó con presencia española, en un panel específico sobre métodos de gestión aplicable a la vialidad invernal, con una ponencia presentada por Jorge Lucas, Javier Payán de Tejada, ambos del Ministerio de Fomento: Jefe de Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental, el primero; y Jefe del Servicio de Conservación de dicha Demarcación, el segundo; Ignacio Sánchez Salinero, de Matinsa; y Angel Sancha y Óscar Beltrán, de Elsamex. En esta ponencia se comentó el desarrollo de un Plan operativo para un sector específico de la red de carreteras de España y constituyó una continuación y ampliación de la presentación realizada por Vicente Vilanova. Así mismo, se desarrollaron de forma minuciosa todos los aspectos que el

Plan operativo contempla y que deben tenerse en cuenta, comenzando con las características del tramo desde un punto de vista geográfico, su altitud, sus condiciones de trazado, los puntos singulares del mismo (tales como túneles, viaductos), así como los medios disponibles para la ejecución de las operaciones de vialidad invernal, cómo se asegura la ubicación física de los mismos por medio de los GPS, etc. Se comentaron también cómo se reciben las predicciones meteorológicas y cómo se actúa en cada situación; qué se debe de hacer y cuáles son los medios de comunicación que hay que utilizar.

Esta ponencia constituye un documento muy valioso de consulta de cómo se debe de elaborar un adecuado Plan operativo para un sector de conservación

Cabe destacar también que en este Congreso se ha podido ver, a través de su área de exposición, que la vialidad invernal es una actividad en la que la aplicación de nuevas tecnologías es una realidad tangible. Destacar entre lo visto: la existencia de sistemas inteligentes que permiten optimizar la selección del criterio que hay que utilizar en vialidad invernal en función de las características del firme y de las condicio-

nes climáticas existentes; también se pudieron ver métodos de medida de la salinidad en el pavimento con el fin de optimizar los tratamientos preventivos y minimizar el uso de fundentes e, igualmente, la existencia de simuladores de conducción de máquinas quitanieve. Todo ello nos hace ver que estamos ante una actividad susceptible de ser abordada con tecnología moderna y específica que permita mejorar el servicio que se da al ciudadano.

En este Congreso, tal y como ya ocurriera en el XII Congreso Mundial de Vialidad Invernal de Turín, en el año 2006, el Ministerio de Fomento y la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras, ACEX, han estado presentes de forma conjunta con un stand que ha representado, muy dignamente, a nuestro país.

ACEX siempre ha defendido que la conservación de las carreteras es, por definición, un servicio que presta la Administración a través de las empresas de conservación a los usuarios. Y las actividades de conservación relacionadas con la vialidad invernal son, posiblemente, el mejor ejemplo de servicio que se puede encontrar.

Que de forma conjunta, la propia Administración y el sector empresa-



La Secretaria General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero (cuarta por la derecha) posando en el Pabellón español acompañada, entre otros, por D. Aureliano López Heredia (segundo por la derecha), Director General de Carreteras del citado Ministerio.

rial encargado de llevar a buen puerto el adecuado estado de circulación de la red de carreteras se presenten conjuntamente fuera de nuestro país es algo que necesariamente debemos y queremos agradecer.

Este respaldo público que el Gobierno de nuestro país realiza al sector de la conservación es, por un lado, la constatación

de que el modelo español es exportable; y que las empresas españolas pueden, y, sin duda, deben pensar que el mercado nacional es un trampolín para futuras líneas de internacionalización.

En efecto, el modelo español es exportable, basta con mirar cuál era el estado de conservación de nuestras carreteras hace una veintena de años, en comparación con la de nuestros países vecinos, y cuál es

su estado hoy. La conclusión que sacamos de ese análisis comparativo es que antes ellos eran una referencia y un objetivo que había que alcanzar, y hoy nuestro país es quien abre camino y sirve de referencia.

Es cierto que se ha hecho un grandísimo esfuerzo en la construcción de numerosos tramos de autovías, y también en adecuar la red existente a unos niveles de servicio impensables hace unos años. De he-

cho, el importante incremento de la inversión destinada a conservación, duplicando el presupuesto en los últimos cuatro años, es prueba de ello, y este esfuerzo inversor también se ha producido en vialidad invernal.

Todo ello nos lleva a tener una red moderna y en estado de uso y operación para aquello para lo que fue construida, lo cual constituye el objeto último de la actividad de conservación. ■



Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero posando junto a otras personalidades durante la inauguración de la exposición.

# Reunión en Murcia del Comité Técnico TC D.1 “Gestión del patrimonio viario”, de la Asociación Mundial de la Carretera



Foto de familia de los miembros del Comité Técnico D.1 asistentes a esta reunión.

*Ángel García Garay, Presidente del Comité Técnico de Conservación, Gestión y Vialidad Invernal de la ATC.*

Entre los días 7 y 9 de abril, se ha celebrado en Murcia la 5ª reunión del Comité Técnico D.1 “Gestión del patrimonio viario”, de la Asociación Mundial de la Carretera, o PIARC como se le ha conocido en los últimos años.

El objetivo de los Comités Técnicos es producir un avance significativo en el conocimiento y difusión de los temas técnicos que se encuentran en su ámbito de estudio.

Para ello, los comités se reúnen dos veces al año, normalmente en primavera y otoño, y en cada reunión se debaten y perfilan los informes que los distintos subgrupos formados en

el seno del Comité presentarán en el próximo Congreso Mundial de Carreteras, que se celebrará en México en septiembre de 2011.

Tradicionalmente, la primera reunión de los comités se celebra en París, y allí tiene lugar la elección del Presidente del comité, así como de los Secretarios anglófonos, francófonos y castellano parlantes, y de los jefes de los grupos de trabajo.

Igualmente, y por votación general, se identifican los temas a desarrollar por los grupos de trabajo durante los cuatro años que dura el periodo entre congresos, que lógicamente han de quedar dentro del ámbito técnico atribuido al comité, y, a la vez, suscitar el mayor interés posible.

En este caso, el Comité Técnico

TC D.1 trabaja en el campo de la gestión del patrimonio viario, está presidido por la ingeniera alemana D<sup>a</sup> Anita Künkel – Henker, y desarrolla una tarea de gran interés para los ingenieros españoles, que se reparte en los tres Grupos de Trabajo siguientes:

D.1.1 - *Benchmarking of asset management methods.*

D.1.2 - *Indicators for infrastructure management.*

D.1.3 - *Allocation of resources across asset classes.*

En esta ocasión ha correspondido a España (Murcia), actuar como anfitriona de la reunión del comité, que previamente se habían celebrado en Francia (París 2008), Alemania (Munich 2008), Australia (Kalgoorlie 2009) y EE.UU. (Portland 2009).



La foto corresponde a la apertura del encuentro y, por lo tanto, a la primera reunión de trabajo del Comité.

Esta reunión de Murcia ha sido de las más numerosas en cuanto a ingenieros asistentes, quizás debido a la mejor localización geográfica de España con respecto a alguna de las sedes anteriores, y al indudable interés que suscita nuestro país tanto en los aspectos técnicos como sociales.

En concreto, se han dado cita en Murcia 42 ingenieros de carreteras procedentes de países tan dispares como Estados Unidos, Colombia, Reino Unido, México, Francia, Italia, Sudáfrica, Australia, Japón, Namibia, etc.

## Desarrollo de las jornadas de trabajo

Las reuniones de trabajo del primer día se desarrollaron en un céntrico hotel de la ciudad de Murcia, en la que se trataron todos los temas propuestos para la reunión.

El segundo día de la jornada, se retomaron los trabajos del Comité Técnico en el Centro de Conservación Integral que el Ministerio de Fomento tiene en Cartagena.

Previamente al trabajo de los distintos Grupos, tuvo lugar una presentación de los miembros españoles del Comité, que está formado por **D<sup>a</sup> Rosario Cornejo**, *Subdirectora General de Conservación del Ministerio de Fomento*; **D. Ángel García Garay**, *Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia*; y

por **D. Óscar Gutierrez Bolívar**, *miembro del Comité*.

En esta presentación, se dio a conocer a los ingenieros de otros países como está organizada en España la Gestión del Patrimonio Viario, explicando las diferencias entre los contratos de Conservación Integral y las concesiones para Conservación y Explotación de las Autovías de 1<sup>a</sup> Generación.

Igualmente, se mostró el funcionamiento del sistema de gestión del mantenimiento ordinario conocido como TEREX: programa de gestión basado en el inventario y los reconocimientos de estado en la Red, que permite optimizar la programación de operaciones de mantenimiento ordinario en la Red de Carreteras del Estado en la Región de Murcia. El programa TEREX, desarrollado en la Unidad de Carreteras de Teruel, se basa conceptualmente en la metodología de la GSM de la Subdirección General de Conservación publicada en 1996.

No obstante, para la evaluación de los indicadores de estado mediante inspecciones periódicas de la Red, se ha desarrollado una moderna tecnología informática que agiliza y potencia todo el sistema.

En la demostración se pudo ver el resultado del reconocimiento de estado de los elementos de drenaje correspondientes a pequeñas obras de fábrica, pudiéndose comprobar cómo el programa TEREX elaboraba un informe donde se listan aquellos ele-

mentos cuyo índice de estado cumplía con la carta de servicios; es decir, con el documento donde se recogen los valores límite admisibles de los indicadores de estado de cada tipo de elemento fijados por la Demarcación de Carreteras de Murcia, y cuáles no cumplían con tal compromiso.

Finalmente, se realizó una breve demostración del servidor de bases de datos espaciales que se está implantando en la Demarcación de Carreteras de Murcia, y que aglutina la información del inventario y las inspecciones de estado del programa Terex con accidentes de tráfico, aforos y del resto de la información utilizada para servir de apoyo a la gestión de inventarios y conservación integral de carreteras. El motor de base de datos es Postgis, y la explotación de los datos se hace desde el programa Terex, así como desde el cliente SIG gvSIG y a través de un interfaz web.

El tercer y último día se realizó una visita técnica a las obras de las autovías en construcción MU-31 (autovía que conectará las actuales MU-30 y A-30) y los tramos I y II de la futura Autovía A-33 (Cieza-Fuente La Higuera), en donde se visitaron las estructuras más características de ambas obras, y donde los miembros del comité mostraron gran interés por los singulares apoyos sísmicos de los que estaba dotado el pragmático viaducto de vigas de la Conexión Suro-

## Actividades de los Comités Técnicos de la AIPCR

este de Murcia, y destacaron la calidad y limpieza de las obras de Jumilla.

### Miscelánea

En esta reunión del Comité de Gestión del Patrimonio Viario se ha buscado, como primer objetivo, el máximo avance posible del trabajo de los Grupos. Pero también se ha querido que los ingenieros de otros países guardaran un agradable recuerdo de nuestro país y de nuestras costumbres.

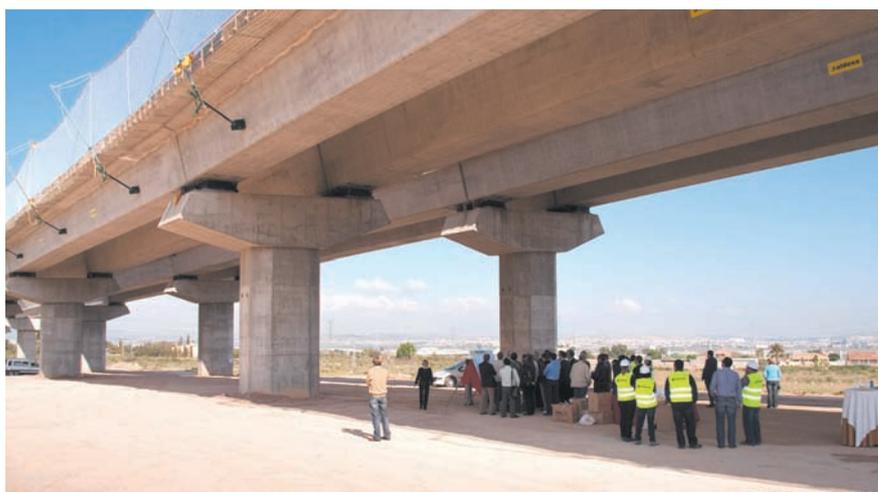
Por dicho motivo, se eligió como fecha para celebrar la reunión la semana en que tienen lugar las Fiestas de Primavera en Murcia

En estas fiestas, la ciudad de Murcia experimenta una explosión de alegría y dinamismo, eso sí, después de las 7 de la tarde, puesto que antes se ha estado trabajando como cualquier otra semana, excepto el martes 6, día del Bando de la Huerta, que es fiesta oficial en Murcia.

De este modo, nuestros ingenieros visitantes, después de realizar el trabajo diario, tuvieron la oportunidad de cenar en las barracas (reproducciones de las antiguas casas de la Huerta



Reunión de trabajo en el Centro de Conservación Integral del Ministerio de Fomento, en Cartagena.



Ambas fotos corresponden a la visita técnica a las obras de las autovías MU-31 y los tramos I y II de la Autovía A-33.



toridades y Organismos locales a esta reunión del Comité TC D.1, ya que, a la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos de Murcia, de la Concejalía de Cultura de la ciudad de Murcia, de la Consejería de Cultura de la Región de Murcia, de la Presidencia del Casino Cultural, y del Patronato del Museo Salzillo, hay que añadir el respaldo de las autoridades locales. ■

murciana), donde pudieron degustar sus productos típicos y el vino de Jumilla, con una calidad y precios que les sorprendieron agradablemente a muchos de ellos.

Merece la pena destacar y agradecer el apoyo institucional de las au-

### Nota de la Redacción

En un próximo número dedicaremos una mayor atención a esta interesante, exitosa y nutrida reunión de trabajo, de cuyo contenido hemos querido adelantar algo en este número dado su interés informativo.

# Reunión del Comité Técnico A-3, de la AIPCR “Aspectos económicos de las carreteras y desarrollo social”



**E**l Comité Técnico A.3 de la AIPCR sobre “**Aspectos económicos de las carreteras y desarrollo social**” celebró recientemente en Madrid su 5ª reunión de trabajo. Los trabajos de este Comité se centran en dos áreas principales: por una parte, los aspectos económicos ligados a la tarificación por uso de las carreteras; y, por otra, los métodos empleados para la evaluación de los impactos sociales consecutivos a la construcción y uso de las carreteras.

Después de la reunión de lanzamiento del Comité en París, en abril de 2008, el Comité ha focalizado su trabajo durante las tres reuniones ulteriores –Montreal, Budapest y Abidján– en la recopilación de información

e intercambio de experiencias. Aparte de las aportaciones de sus miembros, el Comité ha contado con el apoyo de la *Association québécoise du transport et des routes en Montreal*, la celebración de un Seminario internacional sobre *Road Toll Policies in the Central-Eastern-European Countries*, en Budapest, o la participación de representantes del Banco Mundial, del Banco Africano de Desarrollo y de la UE en Abidján.

La reunión del Comité en Madrid se ha destinado fundamentalmente a analizar el conjunto de toda la información recopilada y a estructurar los contenidos de lo que serán los dos informes técnicos del Comité, que se deben de redactar antes de que se

celebre el XXIV Congreso Mundial de Carreteras en Méjico, en septiembre de 2011. El primero de estos informes ofrecerá una panorámica actualizada sobre los sistemas de tarificación de carreteras en el mundo y una revisión de los principales impactos (sobre la movilidad, el medio ambiente, económicos, sociales, etc.) de estos sistemas y la forma de evaluarlos. El segundo informe revisará las prácticas más destacadas en materia de evaluación ex-ante y ex-post de los impactos sociales asociados a los proyectos de carreteras, con una atención particular a los enfoques promovidos por las instituciones financieras internacionales en los países en vías de desarrollo. ■



# El Comité Técnico de Firmes de la Asociación Técnica de Carreteras



*Adolfo Güell Cancela,  
Presidente del Comité.*

**E**n el periodo 2008-2011, este Comité ha aumentado su importancia y estructura, englobando a tres subcomités que son los siguientes:

- Subcomité de características superficiales.

- Subcomité de firmes flexibles.

- Subcomité de firmes rígidos.

La Presidencia del Comité de Firmes para este ciclo recayó en D. Adolfo Güell Cancela, siendo el Secretario D. Daniel Esteban, de la empresa INECO. A su vez, los presidentes de los citados subcomités están presididos por las siguientes personas:

- Subcomité de características superficiales. Presidenta: Dña. Esther Castillo.

- Subcomité de firmes flexibles. Presidente D. José del Cerro.

- Subcomité de firmes rígidos. Presidente: D. Carlos Jofré.

Este nuevo organigrama obedece

a la misma estructura del Comité Internacional de la AIPCR del que este comité de la A.T.C. es espejo.

El Subcomité de características superficiales se reúne independientemente, mientras que los de firmes flexibles y rígidos lo hacen de forma conjunta, según lo acordado en una reunión del Comité de firmes.

Para la realización de su trabajo, dentro del Comité se han formado una serie de Grupos de trabajo, que se relacionan a continuación, así como sus coordinadores.

### **Subcomité de Características Superficiales.**

- GT1. *Incidencia de los materiales y fórmulas de trabajo de las mezclas bituminosas en la textura y la resistencia al deslizamiento.* Coordinador: D. Andrés Costa.

- GT2. *Detección de irregularidades superficiales con tecnologías sin contacto con la carretera.* Coordinador: D. Sixto Yanguas.

### **Subcomités de Firmes Flexibles y Rígidos**

- GT1. *Normas de refuerzos de firme y pavimentos a temperaturas bajas.* Coordinadora: Dña. Esther Castillo.

- GT2. *Aprovechamiento de residuos y subproductos.* Coordinador: D. Andrés Costa.

- GT3. *Ruido de las capas de rodadura.* Coordinador: D. José del Cerro.

- GT4. *Firmes polifuncionales.* Coordinador: D. Carlos Jofré.

Además de los trabajos reseñados, se han celebrado 3 jornadas técnicas durante el año 2009, relativas al lema de nuestro comité, con una más que notable participación y de cuyo contenido se ha dado cumplida cuenta en la revista de la Asociación:

- Jornada técnica sobre “Mezclas bituminosas”. 11 de febrero de 2009, en colaboración con ASEFMA (456 asistentes).

- Jornada técnica sobre “Prefisuración de capas tratadas con cemento”. 29 de septiembre de 2009, en colaboración con el IECA y el CE-



DEX (121 asistentes).

– Jornada Técnica sobre “Lechadas bituminosas y microaglomerados en frío”. 29 de octubre de 2009, en colaboración con ASEFMA y el CEDEX (230 asistentes).

Este Comité Técnico de Firms, como anteriormente se mencionó, da apoyo a los representantes españoles en el Comité Internacional de Firms de la AIPCR y en el que cuya participación es muy destacada. ■

## D. Adolfo Güell Cancela Presidente del Comité de Firms de la ATC

### -¿Qué objetivos se plantea para este periodo el Comité que preside?

Los objetivos que nos hemos planteado son básicamente:

– La transferencia de tecnología en todo lo relativo a firms y pavimentos, como se ha visto recientemente en las tres Jornadas Técnicas desarrolladas por el Comité Técnico, en colaboración con el CEDEX, ASEFMA y el IECA; y

– El apoyo a los miembros internacionales de la Asociación Mundial de la Carretera.

### ¿Qué contribución espera que desarrolle el Comité de cara al próximo congreso mundial de carreteras?

Durante el presente ciclo 2008-2011, la labor del Comité Técnico de Firms de la ATC está siendo notable en los trabajos internacionales de la Asociación Mundial.

Los miembros internacionales están contribuyendo al desarrollo de los trabajos del Comité de Firms de la Asociación Mundial dentro de los temas estratégicos que se han elegido para este periodo.

Por otro lado, ya se conocen desde primeros de abril los temas sobre los que la Asociación Mundial de la Carretera lanza una invitación a ponencias ([www.aipcrmexico2011.org](http://www.aipcrmexico2011.org)), y no es aventurado pensar que miembros de nuestro Comité Técnico presentarán resúmenes para participar en el proceso de selección de las ponencias libres, que serán invitadas el año que viene a presentarse durante el Congreso de Mundial de la Carretera de México.

### ¿Qué objetivos persiguen los grupos de trabajo que se están activando en su comité y cuáles serán sus principales líneas de actuación?

Para resumirlo brevemente, los objetivos de los Grupos de Trabajo, según los subcomités en los que desa-



rollan su labor, son:

Dentro del Subcomité de Características Superficiales:

– GT1. Incidencia de los materiales y fórmulas de trabajo de las mezclas bituminosas en la textura y la resistencia al deslizamiento.

– GT2. Detección de irregularidades superficiales con tecnologías sin contacto con la carretera.

En el Subcomité de Firms Flexibles y Rígidos:

GT1. Normas de refuerzos de firme y pavimentos a temperaturas bajas.

GT2. Aprovechamiento de residuos y subproductos.

GT3. Ruido de las capas de rodadura.

GT4. Firms polifuncionales.

GT4. Firms polifuncionales.

### Brevemente, ¿cómo calificaría, en general, la situación actual con respecto a la innovación y el medio ambiente?

En este sentido, yo destacaría las innovaciones técnicas y de aplicación que se están llevando a cabo en materia de firms, y su importancia para los técnicos, Administraciones y empresas españolas, así como la gran preocupación existente del sector por la construcción sostenible de firms y pavimentos.

### ¿Y en cuanto a la cualificación técnica de nuestros ingenieros en esta materia?

Como he mencionado anteriormente, a lo largo del ciclo 2008-2011, es notable el trabajo desarrollado por nuestro Comité de Firms de la ATC, en el contexto de las labores que desarrolla el Comité de la Asociación Mundial. Esto da idea de la alta cualificación técnica de nuestros técnicos de carreteras y de la utilidad de su experiencia en el sector. ■

# Carreteras

## Inicio de obras

### A-54, Lugo-Santiago

El 6 de marzo de 2010, el Ministro de Fomento, D. José Blanco, asistió al acto de inicio de obras del tramo **Guntín-Palas de Rei** de la A-54 Lugo-Santiago. El Ministerio destinará más de 82 millones de euros a la construcción de este trazado de 15,4 km de longitud.

Con el comienzo de estas obras, ya se encuentra en construcción cerca del 70% del trazado de la autovía que unirá las dos ciudades gallegas. Así, también se encuentran en ejecución los tramos Nadela-Vilamoure, Vilamoure-Monte de Meda, Monte de Meda-Guntín y Arzúa-Lavacolla.

El tramo discurre por los municipios de Guntín, Monterroso y Palas de Rei, en la provincia de Lugo. Comienza en el enlace de Guntín, a la altura del p.k. 21, de la N-547, y se desarrolla al norte de la misma, finalizando en el enlace de Palas de Rei (oeste) en el p.k. 36,6 de la carretera nacional.

Así, está prevista la construcción de tres enlaces: Guntín, carretera autonómica a Friol (LU-231) y Palas de Rei (oeste).

Se trata de un tramo de autovía formada por dos carriles de 3,50 m de ancho por sentido, arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de uno. Ambas calzadas se encuentran separadas por una mediana de 9 m de anchura.

En las obras están previstas importantes actuaciones medioambientales y pasos que eviten el efecto barrera, dotando a su trazado de una adecuada permeabilidad a lo largo de su recorrido. Además, se habilitarán 15 km de caminos de servicio para la reposición de las servidumbres interceptadas.

Por lo que se refiere a las estructuras, se construirán 5 viaductos, 6 pasos superiores y 17 inferiores, uno de ellos para la reposición del Camino Francés a Santiago de Compostela.

También se ha dispuesto la construcción de un paso específico de fauna y está prevista la colocación de pantallas antirruído en las zonas determinadas.

Se procederá por último a la revegetación de taludes mediante hidro-siembras y plantación de especies autóctonas y se construirán balsas de decantación, tanto en la fase de construcción como de explotación.

## Supervisión de obras

### Autovía A-23

El 19 de marzo de 2010, el Secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras, D. Víctor Morlán, supervisó el **centro de control de los túneles de Monrepós y la autovía A-23**, en la que el Ministerio de Fomento ya ejecuta obras en cerca del 80% del trayecto, entre Nueno y Jaca.

Esta autovía forma parte de los ejes de gran capacidad Lleida-Huesca-Jaca-Pamplona y Zaragoza-Huesca-Pamplona, conjuntamente con las autovías A-21 y A-22.

Así mismo recordó que, durante este año, la provincia de Huesca va a ser en la que más km de vías de gran capacidad se van a poner en servicio.

La autovía A-23, en el tramo comprendido entre Nueno y Jaca, tiene una longitud de actuación de 50,16 km y supone una inversión de 465 millones de euros. Este trazado se ha dividido en 10 tramos de los que ocho se encuentran en obras.

Los dos restantes corresponden a la variante de Sabiñánigo (Sabiñánigo Este – Sabiñánigo Oeste) de 6,9 km cuyo proyecto se encuentra en redacción y está pendiente de una Declaración de Impacto Ambiental adicional; y al tramo Embalse de Jabarrella – Sabiñánigo Sur, de 2,2 km, cuyo contrato de ejecución de obras se va a rescindir ante la situación de la empresa adjudicataria, en concur-

so de acreedores.

Los cinco tramos correspondientes al puerto de Monrepós propiamente dicho se encuentran en estos momentos en plena actividad, esperando que se incremente el ritmo de las obras a partir de la primavera, una vez superadas las complicadas condiciones climatológicas de este invierno.

Se está trabajando principalmente en los movimientos de tierras y en la preparación de las cimentaciones de las estructuras. En el puerto se van a construir seis nuevos túneles de longitudes comprendidas entre 140 m y 2800 m. El primero de ellos en Nueno, de 500 m de longitud, se encuentra excavado en su 50%; y el correspondiente a la duplicación del túnel largo actualmente existente (1490 m) ya se ha finalizado y está listo para la instalación de los equipamientos. El resto de los túneles se encuentra en fase de comienzo de los emboquilles.

En lo que respecta a las estructuras, se construirán 20 viaductos en el puerto, de alturas comprendidas entre 40 y 465 m y diferentes tipologías. La más avanzada es la que cruza el río Flumen, aguas abajo del conocido viaducto de Cubills. Se trata de un puente de un solo vano en forma de arco sustentado con péndolas con una altura de 70 m.

Este paso sobre el río Flumen permite hacer en este tramo un cruce de las calzadas, de modo que la actualmente existente en la cara norte del puerto será la del sentido Jaca – Huesca en la futura autovía; y, la del contrario, discurrirá a través del nuevo túnel de Caldearenas de 2,8 km de longitud, lo que permitirá reducir la pendiente y salvará el puerto a una menor cota.

Rebasando el puerto de Monrepós, el tramo La Nave – Embalse de Jabarrella se encuentra en fase de desbroce; y en el tramo Sabiñánigo (S) – Sabiñánigo (E) se ha avanzado

# Carreteras

notablemente en el movimiento de tierras con desmontes muy importantes y voladuras controladas.

Por último, en el tramo Sabiñánigo – Jaca, de 10,1 km, que ha sufrido una paralización como consecuencia del concurso de acreedores de una de las empresas adjudicatarias, ya se ha sustanciado la cesión al otro de los socios y se prevé que a partir de la primavera se retomen los trabajos.

Para todo el tramo, la sección transversal es la convencional de una autovía, es decir: dos calzadas, cada una de ellas provista de 2 carriles de 3,5 m de anchura, arcén exterior de 2,5 m e interior de 1 m. El ancho de la mediana será variable, de entre 3 y 10 m, en función de la orografía en cada tramo, y la separación de calzadas será total en el citado túnel de Caldearenas y en la parte inicial del tramo, entre Bueno y el embalse de Arguis, en el que en algunos tramos las calzadas quedan a cada una de las márgenes del río Isuela.

Además, en las proximidades de Sabiñánigo, en la zona denominada monte de San Pedro, las calzadas discurren desplazadas a diferente altura, por lo que es necesario construir un túnel artificial con el objeto de mantener unas mejores condiciones ambientales desde el punto de vista paisajístico. En esta zona también se construirá un puente sobre el río Basa de 85 m de altura.

## Autovía A-8

El Ministro de Fomento, D. José Blanco, supervisó el pasado 10 de abril de 2010, en Asturias, las obras de construcción del tramo **Las Dueñas-Muros del Nalón** de la Autovía del Cantábrico (A-8). El Ministerio de Fomento ha destinado más de 150 millones de euros a las obras de este trazado de 8,3 km que estará en servicio en el año 2011.

Las obras consisten en un tramo

de autovía de nuevo trazado, de 8,3 km de longitud con calzadas independientes, que se desarrolla en los términos municipales de Cudillero (principalmente) y Pravia, y discurre próximo y sensiblemente en paralelo a la N-632, al sur de ésta.

El trazado se emplaza entre los enlaces de Muros de Nalón, correspondiente al tramo contiguo “Soto del Barco-Muros de Nalón”, y de Lamuña, correspondiente al tramo contiguo “Las Dueñas-Novellana”.

Los elementos más singulares de este tramo son:

**Viaducto de la Concha de Arredo:** Estructura de tablero único de doble calzada, con una longitud de 1188'4 m, una anchura de 22'8 m y 17 vanos con una luz máxima de 75 m. La altura máxima de pila sobrepasa los 100 m.

Sin duda, es el elemento más emblemático del tramo. No en vano será la estructura con mayor longitud y con mayor altura de pila de cuantas se han ejecutado en el Principado de Asturias.

**Viaducto de Santa Ana:** Dos estructuras independientes gemelas con una longitud de 143 m y 3 vanos, con una luz máxima de 55 m.

**Viaducto de San Juan:** Dos estructuras independientes gemelas con una longitud de 363 m y 7 vanos, con una luz máxima de 55 m.

**Viaducto de Piñera:** Dos estructuras independientes gemelas con una longitud de 363 m y 7 vanos, con una luz máxima de 55 m.

**Viaducto de Santa Olaya:** Dos estructuras independientes de 160 m y 180 m de longitud y 4 y 5 vanos, con una luz máxima de 45 m.

**Túnel de San Juan:** Túnel doble con longitud total de 221,5 m en la calzada norte y 265,0 m en la sur, con dos carriles por calzada.

**Túnel de Somado:** Túnel doble con longitud total de 481 m en la calzada norte y 501 m en la sur, con tres carriles por calzada.

El tramo cuenta además con 5 pa-

sos inferiores, 8 muros y 8 obras de drenaje transversal.

Además, en este tramo se ha proyectado el enlace de Cudillero. Se trata de un enlace completo de tipo trompeta que finaliza con intersección en glorieta con la N-632 y con la CU-3 de acceso a Cudillero. Con este enlace quedan resueltos todos los flujos de conexión de la autovía con la N-632 y con la población de Cudillero.

Finalmente, la sección de la autovía está compuesta por dos calzadas, cada una de ellas con dos carriles de 3,50 m de ancho, arcén exterior de 2,50 e interior de 1 m, con la excepción de la parte final del tramo, en la que se habilita un carril adicional.

## Obras singulares

### Puente sobre el río Júcar

El 30 de marzo de 2010, el Ministerio de Fomento culminó la obra de montaje del último tramo metálico del nuevo puente sobre el río Júcar, que conecta la **Variante de Sueca** (Valencia) de la Autovía A-38 con los pueblos de la margen derecha del río Júcar (Fortaleny, Riola y otros).

Su presupuesto asciende a 8,81 millones de euros, financiados íntegramente por el Ministerio de Fomento.

El nuevo puente mejorará de forma notable las comunicaciones entre todos los pueblos de la ribera del Júcar, eliminando el cuello de botella existente en la actualidad.

La nueva estructura sustituirá al paso metálico actual construido en 1916, con una tipología en arco con tablero inferior, carril único y limitación de carga, que obliga a su regulación mediante semáforos.

El nuevo puente tiene una estructura mixta metálica – hormigón, de 281,75 m de longitud total. El vano central sobre el cauce del río Júcar tiene una luz de 85,50 m. La sección total del puente es de 11,50 m con dos carriles de 3,50 m de anchura y arcenes de 1,50 m. ■



# El Presidente del Gobierno presenta el Plan Extraordinario de Infraestructuras

**E**l Presidente del Gobierno, **José Luis Rodríguez Zapatero**, y el **Ministro de Fomento, José Blanco**, presentaron el 7 de abril de 2010 el Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI) que tiene por objetivo reactivar la economía y el empleo a través de la inversión en infraestructuras del transporte. El plan, en colaboración público-privada, permitirá anticipar a 2010 y 2011 licitaciones por un valor de 17 000 millones de euros, el equivalente al 1,7% del PIB.

En torno al 70% de las inversiones irán destinadas al ferrocarril para mejorar las redes ferroviarias de altas prestaciones y de cercanías, así como para el transporte de mercancías. El Gobierno mantiene así su impulso por el ferrocarril por ser el modo que más



## Modelo concesional

Basado en un modelo concesional, el PEI establece el pago de las infraestructuras, una vez se haya finalizado y puesto en servicio la obra, a lo largo de un amplio periodo de tiempo

de Inversiones (BEI), del Instituto de Crédito Oficial (ICO), y la colaboración de la Asociación Española de la Banca (AEB) y la Confederación Española de Cajas de Ahorro (CECA).

## Los proyectos del PEI

Los proyectos del Plan Extraordinario de Infraestructuras se seleccionarán teniendo en cuenta su rentabilidad social, medioambiental y económica. Sólo se incluirán en el PEI los proyectos que estén en avanzado estado de tramitación, lo que permitirá ajustar el inicio de los pagos del canon al concesionario con el comienzo de los desembolsos que éstos deben efectuar a las entidades financieras. Las licitaciones se iniciarán en el segundo semestre de 2010.

El acto de presentación del Plan, que tuvo lugar en la madrileña estación de Chamartín, contó con la asistencia de más de 300 personas entre las cuales se encontraba la *Vicepresidenta Segunda del Gobierno, Elena Salgado*. También han asistido los principales sindicatos y patronal del sector del transporte y de la construcción, el Presidente de la CEOE, representantes de las empresas constructoras del país, del sector de la ingeniería y de la consultoría, de empresas concesionarias y de fabricantes de material ferroviario. Además, estuvieron presentes los presidentes de los Colegios Oficiales relacionados con las actividades del Ministerio de Fomento y los representantes de las entidades con las que se firmarán los protocolos que garantizarán la financiación del Plan (BEI, CECA, AEB e ICO). ■



contribuye a la sostenibilidad del sistema de transportes. Alrededor del 30% de las inversiones restantes se reservan a la mejora de las infraestructuras viarias, incluyendo mejoras en el transporte colectivo por carretera.

El PEI –una apuesta conjunta del Gobierno, las entidades financieras y las empresas del sector– favorecerá la creación de empleo tanto a corto como a largo plazo. Primero, para la construcción de infraestructuras y, posteriormente, para su conservación y mantenimiento.

De esta forma, el Plan Extraordinario contribuye al cumplimiento de los objetivos del Ministerio de Fomento en su apuesta por la seguridad y la calidad de las infraestructuras para lo que las actuaciones de conservación y mantenimiento son imprescindibles.

po (de 25 a 30 años). De esta forma su repercusión sobre las cuentas públicas se aplaza a 2014. Con ello, el Plan no compromete los objetivos del Gobierno de disminución del déficit público para 2013.

El pago se realizará al concesionario (empresa adjudicataria) mediante un canon único que paga la inversión, la conservación y el mantenimiento de las infraestructuras. El impacto presupuestario del canon será relativamente reducido al diferirse a lo largo del periodo concesional antes mencionado.

## El PEI es plenamente financiable.

Se ha diseñado para que las entidades financieras puedan asumir los riesgos asociados a los proyectos y, a su vez, recibir una rentabilidad adecuada. Para su realización se cuenta con la participación del Banco Euro-



# tenagar *24 horas*



- Ejecución de obras de urgencia o corto plazo.
- Inauguraciones.
- Aumento de producciones.
- Sustitución/apoyo a otras empresas.
- Imprevistos...

## ► **compromiso 24 horas tenagar**

- Primera visita a pie de obra en cualquier punto de España en un plazo inferior a 24 h.
- Presupuesto personalizado, y una vez aceptado en 24 h. desplazamiento a obra con encofrados, cimbras, grúas y encofradores altamente especializados más toda la documentación necesaria.



**ii** somos la solución a su urgencia, avalados por **45** años de experiencia **!!**  
y más de **1.100** obras realizadas

# AUTOVÍA A-40 DE CASTILLA LA MANCHA TRAMO SANTA CRUZ DE LA ZARZA (E)-TARANCÓN



**UTE Infraestructuras Terrestres, S.A.  
y Compañía General de Construcción Abaldo, S.A.**