

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 147
NOVIEMBRE
DICIEMBRE
2011

NOMBRAMIENTOS EN PORTADA RUTAS TÉCNICA

Dña. Ana María Pastor
Ministra de Fomento

Entrevista a
D. Antonio Sevilla Recio
Consejero de Obras
Públicas y Ordenación
del Territorio de la
Región de Murcia

Filosofía del diseño y
ejecución de terraplenes
y su patología (II)
Sistematización de las
vías de una red viaria

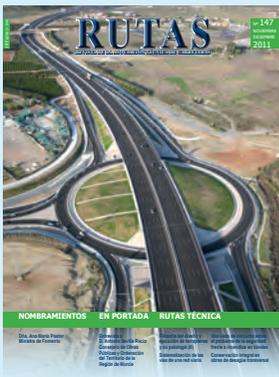
Una vista de conjunto sobre
el problema de la seguridad
frente a incendios en túneles
Conservación integral en
obras de desagüe transversal

Holcim lanza su nueva gama Supercem®

Los cementos y hormigones que más valor aportan a sus obras

- ✓ **Durabilidad:** mejor impermeabilidad y resistencia a los ataques corrosivos
- ✓ **Eficiencia:** mayor desarrollo de resistencias y menor espesor de recubrimientos de las armaduras
- ✓ **Sostenibilidad:** mejor uso de recursos naturales y menos emisiones de CO₂

Consulte todas las ventajas de Supercem® a su gestor comercial o entre en www.holcim.es



Nº 147 NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2011

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

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

Presidente:
Roberto Alberola

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

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

Director Edición:
Antonio de J. Ulled

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

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

Director:
Antonio de J. Ulled

Redacción:
Juan Vaquerín
redaccionrevistas@sicrd.es

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

Administración:
Carmen Ulled

Maquetación:
Javier Viera

Producción:
Gráficas Ruiz Polo SA

Distribución:
Manchalán Gupost SA

Foto Portada:
Hiperronda de Málaga.

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

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

Precio en España: 18 euros

© Asociación Técnica de Carreteras

En este número

Tribuna Abierta

- 03 Perfiles de futuro (II). Los aspectos organizativos
José M^a Izard

Nombramientos

- 04 Dña. Ana María Pastor, nombrada Ministra de Fomento.
D. Rafael Catalá Polo, nuevo secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras. Otros nombramientos

En Portada

- 06 Entrevista a D. Antonio Sevilla Recio
Consejero de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia

Rutas Técnica

- 10 Filosofía del diseño y ejecución de terraplenes y su patología (II)
Philosophy of design and execution of earthworks and their pathology (II)
Carlos Oteo Mazo

- 24 Sistematización de las vías de una red viaria
Systematisation of a highway network
Comité Técnico de Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano de la Asociación Técnica de Carreteras

- 36 Una vista de conjunto sobre el problema de la seguridad frente a incendios en túneles
A general view on the safety problems in tunnels fires
Manuel Romana Ruiz

- 43 Conservación integral en obras de desagüe transversal. Tubos de acero corrugado y galvanizado
Integrated conservation of cross drainage works. Galvanized and corrugated steel tubes
José M^a Zamora Pérez

Infraestructuras Viarias

- 53 Finalizada la Circunvalación Oeste de Málaga (Hiperronda)
La Redacción

La Asociación informa

- 64 Reunión de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras. Entrega del Premio "Jóvenes profesionales". Entrega de distinciones de Socios de Honor y Socios de Mérito de la Asociación Técnica de Carreteras

Jornadas Técnicas organizadas por la ATC

- 69 Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes. Drenaje superficial y profundo en infraestructuras del transporte. IAP. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera

Fomento informa

- 72 Fomento informa y boletín de suscripción



Implantación del Sistema de Gestión y Eficiencia Energética del Alumbrado en Túneles

- ❑ Cumplimiento de la normativa y uniformidad en la iluminación.
- ❑ Sistema de gestión y control de iluminación para lámparas VSAP y también HM.
- ❑ Sistema dinámico, adaptado a la instalación y a las condiciones externas.
- ❑ Elevado potencial de ahorro y mejora de la eficiencia y el confort (sin perjudicar la seguridad de la instalación).
- ❑ Control del gasto energético y centralización del control de la instalación.
- ❑ Ahorro energético superior al 30% con amortización inferior a 3 años.



gestión y ahorro de energía

actio
aedilitas



Perfiles de futuro (II). Los aspectos organizativos

José M^a Izard
*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente de la Asociación Nacional de
Empresas Constructoras de Obra Pública*

Comentaba en la Tribuna Abierta "Perfiles de futuro (I)", que se publicó hace dos años, que predecir con exactitud el futuro de las carreteras es un intento condenado casi con toda seguridad al fracaso. Es evidente que esta observación sigue plenamente vigente, y precisamente por eso resulta interesante especular con el futuro. Esta vez intentaré comentar los aspectos organizativos, tanto de los organismos encargados de la gestión de las carreteras como de las empresas consultoras y constructoras.

El conocimiento de la historia, como casi siempre, es un indicativo esencial para comprender el futuro. Primero las empresas de construcción y, posteriormente, las consultoras de ingeniería han ido a lo largo del último siglo sustituyendo paulatinamente los trabajos que se desarrollaban internamente por los servicios propios de las administraciones de carreteras. Aunque la planificación y la gestión de las carreteras siempre ha quedado en las administraciones públicas (exceptuando la gestión de la red que realizan las sociedades concesionarias de autopistas de peaje y, más recientemente, los contratos de adecuación y conservación de largo plazo). Estas administraciones decidían qué hacer y cómo hacerlo. El sector privado se limitaba a ejecutar la obra contratada de acuerdo con los proyectos que suministraba la administración.

Con la excepción señalada, el origen de la financiación era casi exclusivamente presupuestario y la toma de decisión se basaba en criterios técnicos, ambientales, económicos y políticos. La rentabilidad de las infraestructuras tenía en cuenta estos criterios y no resultaba determinante el punto de vista estrictamente económico. Al fin y al cabo, las carreteras se financiaban con los presupuestos generales de las distintas administraciones y eran de uso libre para los usuarios. El periodo de pago generalmente se correspondía con el periodo de construcción.

En los últimos años y sobre todo a raíz de la necesidad imperiosa de equilibrar las cuentas públicas, se ha resentido la inversión de origen presupuestario que ha soportado en gran medida los recortes de las distintas administraciones. El camino escogido era obvio, hay que involucrar al sector privado, tanto financiero como empresarial, en la gestión de las infraestructuras viarias y acercar el periodo de pago a la vida útil de la infraestructura. Aunque sin demasiado éxito hasta el momento, debido a graves problemas en el diseño conceptual de los contratos y a la contracción del mercado financiero, ésta es una tendencia ineludible del futuro. Tendrá que pasar algún tiempo para que los mercados financieros se estabilicen, habrá que perfilar los términos de los contratos para adecuarlos a la realidad del mercado, será necesario proceder a reformar los organismos públicos, pero cada vez más la gestión

de nuestras redes viarias será compartida entre la administración y el sector privado.

Las Administraciones tomarán en consideración y valorarán las consecuencias de la sustitución de la financiación presupuestaria: reducción de la inversión en infraestructuras, búsqueda de nuevas fuentes de financiación, aplazamiento del pago mucho más allá del periodo de ejecución de la obra (en algunos casos con fondos presupuestarios diferidos), encarecimiento del coste para retribuir adecuadamente al capital privado aportado, importes de licitación más económicos (con las implicaciones que se derivan para el sector empresarial), etc.

Probablemente asistiremos a cambios notables sobre la organización actual de los organismos públicos. Es posible que se separen las funciones de planificación y planeamiento de las funciones de gestión, para poder dar entrada a una cogestión con el sector privado y a considerar de forma determinante la opinión de los grupos sociales interesados. Habrá que crear un organismo nuevo y único que coordine, supervise, informe y avale los nuevos pliegos para que sean viables tanto para su financiación como para su gestión. Los organismos públicos se gestionarán de forma similar a las empresas del sector privado. Sólo hay que asomarse al mundo sajón para intuir qué va a ocurrir: cambiará la forma de contratación y las decisiones serán compartidas entre el sector público y el privado, se acometerán aquellas actuaciones que sean aceptadas por estas sociedades mixtas, tengan demanda social y se justifiquen económicamente.

La estructura empresarial actual, donde intervienen empresas de diferentes tamaños y culturas, también cambiará. Habrá que atender las demandas de los nuevos organismos públicos y asumir que una parte importante de las infraestructuras, financiadas hasta el momento con recursos presupuestarios, pasará a ser cofinanciada por el sector privado. Las empresas medianas y pequeñas que quieran seguir contratando directamente la gran obra pública, tendrán que establecer alianzas entre ellas para poder competir en un mercado que se sitúa en un nivel diferente. La búsqueda de la financiación privada, los tamaños de las organizaciones, los recursos materiales, humanos y tecnológicos, se convertirán en factores determinantes para poder conseguir los contratos. Para ello, tendrán que crear consorcios estables y fusiones entre las empresas. Los accionistas de estas empresas tendrán que adoptar decisiones valientes para competir en este nuevo entorno con las grandes organizaciones que ya pasaron hace algunos años por un proceso similar. No será una tarea fácil, deberán asumir la dilución de su participación en las nuevas organizaciones, conjugar culturas diferentes y profundizar en su profesionalización. ❖

Dña. Ana María Pastor, nombrada Ministra de Fomento



El pasado jueves día 22 de diciembre y en la sede del Ministerio de Fomento tuvo lugar el acto formal de traspaso de cartera del Departamento a Dña. Ana María Pastor, por parte de su antecesor en el cargo, José Blanco.

Ana María Pastor nació en Zamora en 1957. Licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Salamanca, es Médico Especialista en Medicina Familiar y Comunitaria. Además, es Funcionaria de Carre-

ra del Cuerpo Superior de Salud Pública y Administración Sanitaria, MBA en Dirección de Empresas, Profesora de la Facultad de Ciencias Políticas de la Universidad Carlos III de Madrid, Master en Salud Pública y Administración Sanitaria, así como en Gestión Hospitalaria.

En cuanto a su experiencia profesional, la Sra. Pastor ha sido Ministra de Sanidad y Consumo de julio de 2002 hasta abril de 2004, y Subsecretaria de los Ministerios de

Educación y Cultura (1999-2000), Presidencia (2000-2001) e Interior (2001-2002). Además, la nueva ministra ha sido Directora General de la Mutualidad General de Funcionarios Civiles del Estado (MUFACE) entre los años 1996 y 1999, Directora Provincial del Servicio Gallego de Salud en Pontevedra, Gerente de Atención Primaria del Servicio Gallego de Salud en Pontevedra, Jefe de Servicio de Planificación Sanitaria en Pontevedra y Médico Asistencial en

Salamanca, Ferrol y Pontevedra.

Por lo que se refiere a su carrera política, es Diputada por Pontevedra en el Congreso en la X Legislatura y fue Vicepresidenta segunda del Congreso de los Diputados durante la IX Legislatura. Cabeza de lista del PP por Pontevedra en las elecciones generales de 2004, 2008 y 2011, ya fue Diputada nacional en el año 2000. Desde abril de 2004 ha sido Coordinadora de Participación y Acción Sectorial del Partido Popular, siendo elegida en octubre del mismo año Secretaria ejecutiva de Política Social y Bienestar de su partido. Desde junio de 2008 ha ejercido como Coordinadora de Participación Social del PP, elegida en su XVI Congreso Nacional.

Dña. Ana María Pastor sucede en el cargo a D. José Blanco López, anterior Ministro del Departamento desde el 7 de abril de 2009.



D. Rafael Catalá Polo, nuevo secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras

Igualmente, el pasado 23 de diciembre de 2011, el Consejo de Ministros nombró a Rafael Catalá Polo secretario de Estado de Planificación e Infraestructuras del Ministerio de Fomento, quien tomó posesión de su cargo el martes, 27 de diciembre.

Rafael Catalá nació en Madrid en 1961. Licenciado en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid, pertenece al Cuerpo Superior de Administradores Civiles del Estado desde 1985. A lo largo de su vida profesional, ha ocupado distintos cargos en la Administración General del Estado, entre ellos los de director de Relaciones Labo-

rales de AENA, director de Administración y Servicios de Navegación Aérea, director general de la Función Pública, subsecretario de Hacienda y secretario de Estado de Justicia, estos últimos con Mariano Rajoy y Cristóbal Montoro al frente de las carteras de Administraciones Públicas y Hacienda, respectivamente.

Además, ha sido director gerente del Hospital Ramón y Cajal, desde 2005 dirige el Máster de Administración Pública de ESADE, es consejero del Consejo Social de la UNED, y desde 2005 es secretario general y del Consejo de Administración de CODERE S.A.



Otros nombramientos

El Consejo de Ministros del pasado 30 de diciembre de 2001 y mediante Real Decreto, tras aprobar la nueva estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento, por la que se suprimen dos de sus tres Secretarías de Estado, cuyas competencias quedan agrupadas en la Secretaría de Estado de Planificación e Infraestructuras, también aprobó, aprobó, a propuesta de la ministra de Fomento, el

nombramiento de **Mario Garcés Sanagustín** como nuevo *subsecretario del Ministerio de Fomento*, así como de **Eugenio López Álvarez**, como *secretario general técnico*; el de **Pilar Martínez López**, como *directora general de Arquitectura, Vivienda y Suelo*; y el de **Alicia Portas Martínez**, como *directora de Gabinete de la ministra*.

Así mismo, el 5 de enero de 2012, el Consejo de Ministros también aprobó el

nombramiento de **Ángel Luis Arias Serrano** como *director general de Aviación Civil*, el de **Manuel Niño González** como *director general de Ferrocarriles*, el de **Amador Elena Córdoba** como *director general del Instituto Geográfico Nacional*, el de **Juan Miguel Báscones Ramos** como *director general de Programación Económica y Presupuestos* y el de **Pilar Fabregat** como *inspectora general de Fomento*. ❖



Entrevista a

D. Antonio Sevilla Recio, Consejero de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia

Nacido en Madrid el, 19 de septiembre de 1964, Antonio Sevilla es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid en la especialidad Hidráulica y Energética, y Decano del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Región de Murcia desde 2010.

Además es profesor de Geotecnia en Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil de la Universidad Politécnica de Cartagena desde 2006 y tiene un Máster en prevención de Riesgos Laborales en la Construcción por la Universidad Politécnica de Madrid. Su trayectoria profesional la ha desarrollado en diversas empresas del sector de la construcción. Desde el pasado 28 de mayo es Consejero de Obras Públicas y

Ordenación del Territorio de la Región de Murcia.

¿Qué ha supuesto para usted, como Ingeniero de Caminos, ser nombrado Consejero responsable de las infraestructuras de Murcia?

Indudablemente desde el prisma técnico, es un reto profesional que me ilusiona sobremedida. Es una satisfacción que el Presidente Valcárcel haya confiado en mí para trabajar por y para la Región de Murcia e intentaré volcarme como él lo ha hecho durante toda su trayectoria al frente de la Comunidad Autónoma.

Estar al servicio público es una gran responsabilidad que desempeño con total entrega porque es una motivación indescriptible como ingeniero participar en el diseño de las infraestructuras de comunicación que vertebrarán el futuro de tu Región, y en la ordenación del territorio donde vivirán las generaciones venideras entre las que, indudablemente, están tus hijos. Definitivamente, es un doble compromiso el que adquirí con mucho orgullo cuando tomé posesión de mi actual cargo.

¿Qué objetivos se ha marcado y cuáles cree que se están consiguiendo?

Aunque compete a todo el Gobierno de

la Comunidad Autónoma, nuestra máxima prioridad desde el pasado mes de mayo es la reconstrucción de la ciudad de Lorca.

El cometido de la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio en este asunto está en la tramitación de las ayudas para la rehabilitación de las viviendas siniestradas a consecuencia de los terremotos del pasado mes de mayo. Actualmente hemos estudiado el 85 por ciento de los expedientes presentados y, hace tan sólo una semana firmamos un convenio con la Secretaría de Estado de Vivienda para que el remanente del Plan de Vivienda 2009-2013 de la Región de Murcia se destinara íntegramente a Lorca. Fue uno de los últimos logros con los que terminamos el 2011.

En cuanto a mis competencias más concretas, el objetivo más importante que me han encomendado es la puesta en marcha del Aeropuerto Internacional de la Región de Murcia. En el último mes, hemos dado pasos muy importantes con la firma del acuerdo con el Ministerio de Fomento que limita al uso militar el actual Aeropuerto de San Javier. Obviamente esta actuación no hubiera sido posible sin el trabajo previo desempeñado por nuestro Presidente regional, responsable directo de esta resolución.

Otro de los grandes objetivos que nos la sociedad murciana en general, abandonamos por los agentes sociales y económicos regionales, fue la de incluir a Murcia en el Corredor Mediterráneo a Murcia. Este es otro de los éxitos que he podido disfrutar desde mi llegada al Gobierno regional, pero que ha costado nada menos que siete años de intenso trabajo institucional y empresarial en Bruselas. Mi trabajo se centrará en seguir matizando ese trazado para mejorar la conexión con la costa andaluza, así como disociarla del tráfico de viajeros.

Sin duda alguna, la próxima meta a alcanzar es la llegada del AVE a la Región de Murcia, que según las previsiones, se contempla para el 2014. En la agilización de los trámites es donde estamos centrados actualmente. Esperamos que tras la ágil composición de las estructuras de los Ministerios, podamos empezar a trabajar con el nuevo equipo de Fomento.

Además, también quiero subrayar la participación de mi departamento en el diseño de actuaciones que, fuera del escenario presupuestario, son esenciales para la defi-

nición de las infraestructuras del futuro como son las logísticas (Gorguel y Zonas de Actividades Logísticas) y ordenación territorial.

¿Qué cambios a nivel organizativo se han producido en su Consejería desde su nombramiento?

Mi esfuerzo está orientado a recuperar la vocación de servicio público que tiene implícito el funcionario y a que la organización funcione de manera más ágil.

Por mi experiencia laboral anterior a las labores políticas conocía muy bien esta casa, tanto a nivel organizativo como en cuanto a recursos humanos. He respetado la estructura que heredé, que era la clásica - Carreteras, Ordenación del Territorio y Transportes-, pues no he considerado oportuno ningún cambio al respecto ya que considero muy funcional su actual disposición. La dirección de los centros casi se ha mantenido a excepción de algún cambio motivado por los propios de una remodelación de Gobierno.

¿Qué actuaciones en carreteras subrayaría de las ya realizadas y, las del próximo año?

Durante el ejercicio 2011 hemos con-

tratado un total de 7 obras por un importe total de 13 millones de euros. Estamos trabajando en el acondicionamiento de la RM-C1, entre la ciudad de Murcia y la localidad de Barqueros; la RM-404 que discurre entre Yecla a Fuente Álamo, hasta límite de provincia de Albacete; y, la RM-F27 del tramo de autovía del Mar Menor-Dolores de Pacheco, en el término municipal de Torre Pacheco.

Además, la Dirección General de Carreteras está ampliando el Puente de Archena y, realizando las glorietas del Cabezo Beaza en Cartagena y, la del Polígono Lo Borlarín en La Unión.

El desdoblamiento de la carretera de Molina de Segura a Fortuna (A-5) es otra de las obras de gran importancia que estamos acometiendo que cuenta con un presupuesto superior a los 4 millones de euros.

En materia de carreteras se ha ejecutado mucho en las anteriores legislaturas, disponiendo actualmente la región de una red de primer nivel y segundo nivel, que es la que absorbe el 90% del tráfico, realmente buena. Por tanto, es un buen momento para potenciar la conservación de lo ejecutado y de toda la red.

Para el 2012 destinaremos una buena parte de los recursos al mantenimiento y reposición de nuestras carreteras, sin perjuicio de poner en marcha algunas obras de notable necesidad.



Durante 2011, la Consejería ha contratado 7 obras de carreteras por un importe de 13 millones de euros



La Consejería invertirá en 2012 un total de 116 millones de euros, de los que 73,11 millones se destinarán a carreteras

¿Cómo serán los presupuestos para 2012, que suponemos serán muy ajustados, y de qué forma afectará a los diversos proyectos que está llevando a cabo esta Consejería?

El proyecto de presupuestos de mi departamento centra su inversión en el ejercicio 2012 en la conservación y mejora de la red de carreteras regional, las ayudas a la vivienda y la puesta en marcha del Aeropuerto Internacional de la Región de Murcia.

Se trata de unas cuentas responsables, adaptadas a la situación económica actual, cuyo montante total asciende a 116 millones de euros.

En cuanto a carreteras, se destinarán 73'11 millones de euros para actuaciones de planificación y mejora de la Red Viaria, conservación de la red viaria y, seguridad Vial.

El Gobierno regional ha centrado sus esfuerzos de los últimos años en mejorar la red de carreteras que ha alcanzado un notable desarrollo, sobre todo en vías de alta capacidad (autovías y carreteras de calzadas duplicadas) y, como he dicho anteriormente, en este ejercicio nos centraremos en potenciar su conservación.

No obstante, el objetivo más importante en cuanto a volumen de recursos económicos involucrados, son las actuaciones relativas al aumento de la capacidad de la red, el acondicionamiento de los ejes principales y secundarios y la construcción de nuevos tramos de carreteras.

Las obras más señaladas que se inicia-

rán en el próximo ejercicio serán la Ronda Sur-Central de Lorca; el acceso a Cieza desde la A-30 y; la duplicación de la carretera de Mazarrón al Puerto.

Además, se concluirá el ensanche y supresión de curvas de la carretera Alcantarilla a Barqueros (RM-C1); la duplicación de la carretera RM-A5, el tramo que va desde la A-30 a La Alcayna; el acondicionamiento de la carretera de Yecla a Fuente Álamo de Albacete (RM-404) y; la ampliación del puente metálico sobre el río Segura a su paso por Archena.

De especial relevancia es la partida de 10 millones de euros destinados a la construcción de las costeras norte y sur, que supondrán una notable mejora en la circulación del entorno del área periférica de la ciudad de Murcia.

¿Podría destacarme alguna partida de especial relevancia en sus cuentas para el próximo ejercicio?

Dispongo de una partida dotada con 17 millones de euros para obras extraordinarias de reparación, conservación y actuaciones de seguridad vial en el municipio de Lorca.

En cuanto a vivienda, continuamos recogiendo las ayudas para la entrada directa de las viviendas protegidas, ya sean de nueva construcción o usadas, que fueron eliminadas en 2010 por parte del Estado.

La línea de ayuda más significativa es la correspondiente al programa de promoción y rehabilitación de viviendas que aumenta un 53,2 %, con respecto al presupuesto

del 2011, respondiendo así a la demanda de los ciudadanos de las ayudas del Plan de Vivienda.

No sólo se mantienen estas líneas de ayuda, sino que se han reforzado mediante la firma de convenios, entre la Comunidad y distintas entidades financieras, que permiten la obtención de préstamos hipotecarios de hasta el 100 % del precio de la vivienda.

Otra de las grandes líneas presupuestarias es la rehabilitación, ya sea de viviendas, edificios o las llamadas áreas de rehabilitación integral. Estas actuaciones de mejora que se realizará a través de: las ayudas del Plan de Vivienda y, las acciones propias en el parque de viviendas propiedad del Instituto de Vivienda y Suelo de la Región de Murcia.

Para concluir el tema presupuestario, ¿nos podría explicar cuál serán los proyectos más importantes en el área de transportes y puertos?

Destacaría la modernización de las instalaciones portuarias de los puertos de gestión directa de San Pedro del Pinatar, Lo Pagan, Mazarrón, Águilas y el pesquero-deportivo de Cabo de Palos.

En cuanto a los puertos en concesión, para el año 2012 está prevista la formalización de los nuevos contratos de concesión de los puertos deportivos de Mar de Cristal, Águilas, Islas Menores, Los Alcázares y, Los Nietos.

Por lo que respecta al transporte ferroviario, se contemplan la mejora y puesta en valor de los servicios ferroviarios que contempla una partida de 2 millones de euros para el mantenimiento de los servicios en las líneas de cercanías.

Por su parte, la Entidad Pública del Transporte cuenta con una dotación presupuestaria de 4,61 millones de euros que se destinará a consolidar las políticas de simplificación tarifaria que pasa por la unificación e integración de los transportes públicos.

Tras estas palabras, agradecemos a D. Antonio Sevilla la atención dispensada a nuestra revista. ❖



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

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

www.proas.es

PROAS

Innovando para ti

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



Filosofía del diseño y ejecución de terraplenes y su patología (II)

Philosophy of design and execution of earthworks and their pathology (II)

Carlos Oteo Mazo

Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Ing. del Terreno
Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la A.T.C.

Resumen

Este artículo es la segunda parte del que, bajo el mismo título (Parte I), se ha publicado recientemente en esta Revista (nº 146). Se trata del texto correspondiente a la Conferencia que el autor impartió en la Jornada Técnica organizada por el Comité de Geotecnia Vial de la A.T.C., en marzo de 2011. Por la extensión del texto, ha tenido que dividirse en dos partes, aunque ambas se refieren a diferentes aspectos del diseño, ejecución y control de las estructuras de tierra para infraestructuras lineales.

PALABRAS CLAVE: Geotecnia vial, materiales para carreteras, terraplenes.

Abstract

This article is the second part of that under the same title (Part I) was recently published in this journal (nº 146).

This is the written form the lecture that the author gave at the Technical Seminar organized by Road Geotechnics Committee of the ATC in March 2011. By extension of the text, had to be divided into two parts, although both refer to different aspects of design, implementation and monitoring of earthworks to linear infrastructure.

KEY WORDS: Geotechnical road, materials for roads, embankments.

5. Sobre el control

El control merece atención especial, ya que, muchas veces, los criterios utilizados se emplean como “armas arrojadizas” desde la Asistencia Técnica contra el Contratista, con un rigor que la heterogeneidad del terreno no sabe reconocer.

En este artículo hemos tenido en cuenta expresamente la revisión de los métodos modernos de control de ejecución y las experiencias obtenidas en tramos de ensayos en pedraplenes y rellenos tipo todo-uno, precisamente para exponer las últimas posibilidades que, en la actualidad, pueden utilizarse.

Aquí queremos hacer sólo unos cuantos comentarios:

- El control clásico de densidad-humedad (aunque se utilice realmente el criterio adecuado que ya hemos expuesto anteriormente) no es siempre útil, ya que en muchos materiales – lo mismo que su límite líquido puede variar en 20 puntos en la misma formación y su contenido de finos puede hacerlo en 20-30%, como lo acredita la variación admitida por el propio PG-3 en su clasificación, hecho puesto de manifiesto en la figura 23 [11] – la densidad óptima PM puede variar considerablemente. Así, en la figura 24 puede verse como la relación humedad óptima PN – densidad óptima P.N. puede variar de forma apreciable, sobre todo en suelos marginales [11], lo que también puede suceder en suelos tolerables, debido a su posible contenido arcilloso.

- Ello obligaría a estar repitiendo, constantemente, los ensayos de compactación para tener bien definida la referencia, lo que – hoy – puede ser incompatible con la marcha de los trabajos de compactación (con movimientos de tierra de más de 400 000 m³/mes). Conocemos muchas discusiones al aplicar el criterio de humedad-densidad en suelos con finos, al no tener una referencia bien definida.
- Los ensayos de placa de carga están muy extendidos y pueden ser muy útiles, siempre que – a nuestro juicio – se utilice un valor de K adecuado, en función de E_{v2} , como ya hemos indicado en la figura 18). Sin embargo pueden ser algo lentos, por lo que el empleo de la placa dinámica (cuya normativa llevamos un tiempo empujando desde el Comité CTN 103 “Geotecnia” y desde el Comité de Geotecnia Vial de la A.T.C.) parece totalmente recomendable: más que prometedor empieza a ser una realidad.
- El ensayo de huella nos parece muy útil, ya que puede emplearse para materiales y tamaños diversos (terraplenes hasta pedraplenes) y puede ser un buen criterio de aceptación en estructuras de tierra y fondos de desmontes.

6. Algo sobre los materiales marginales

Como ya hemos comentado, los pliegos oficiales de prescripciones técnicas para obras lineales tratan, habitualmente, de

clasificar los posibles materiales de préstamo para terraplenes en grupos de características geotécnicas similares, de forma que su uso quede permitido -o prohibido- a partir de unas pocas y simples características (granulometría, plasticidad, etc). Este hecho parte de la idea que tuvo que desarrollarse en los años 30 del siglo XX para construir rápidamente pistas para aterrizaje de aviones; para lo cuál bastaba diferenciar algunos tipos de materiales y las condiciones de su puesta en obra. Nació así la clasificación de Casagrande, propiciada por el Cuerpo de Ingenieros norteamericano. La simplicidad y bondad inicial de esa idea se han ido extrapolando, y en la segunda mitad del siglo XX se desarrollaron una serie de clasificaciones, a fin de poder hablar de suelos con referencias análogas y poder permitir -o negar- su uso para obras viarias. Unas veces esas clasificaciones se mantenían más del lado del aspecto geotécnico (la Unificada del propio Casagrande), pero en general se dirigían más hacia el lenguaje de los ingenieros de carreteras: AASHTO, Clasificación francesa, PG-3 del año 1975.

Según estos criterios sencillos, el diseño de un terraplén es muy sencillo, en general, y está basado en ensayos de laboratorio sobre muestras alteradas. Con esos datos se procede a clasificar cada tipo de terreno de la zona, dentro de los grupos definidos por la normativa oficial. Si se cumple el o los criterios establecidos, el material previsto puede usarse (bien para núcleo, bien para coronación, como se distingue a veces) y se procede a incluir en el proyecto que en los terraplenes de determinada zona

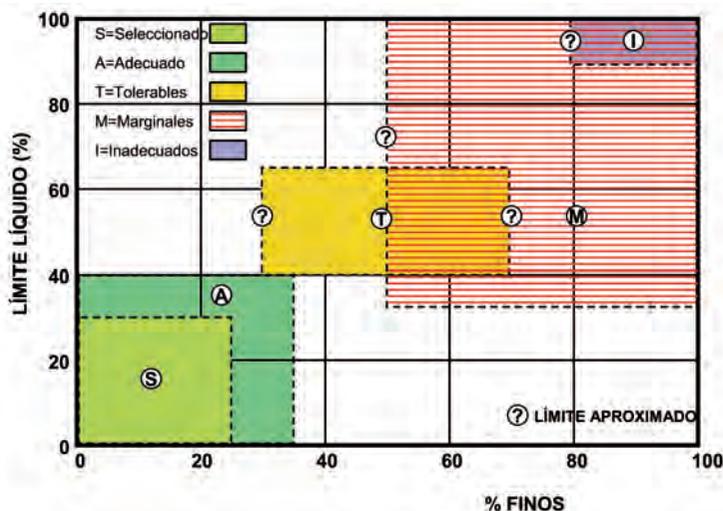


Figura 23. Relación entre el límite líquido y la granulometría habitual en los suelos distinguidos en el nuevo PG-3 (Oteo, 2007)

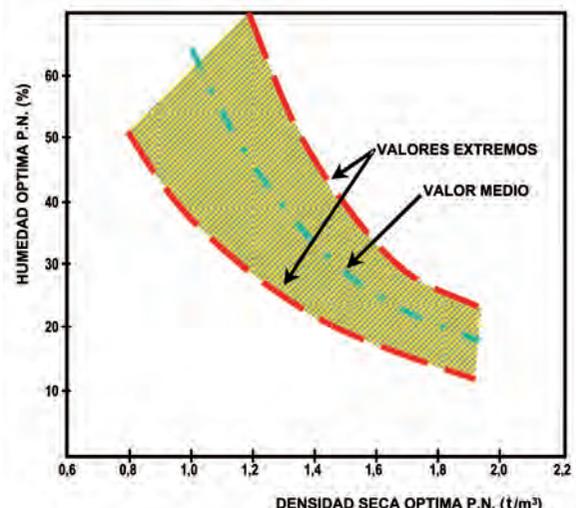


Figura 24. Relación media entre humedad y densidad óptimas, P.N., en suelos marginales (Oteo, 2007)

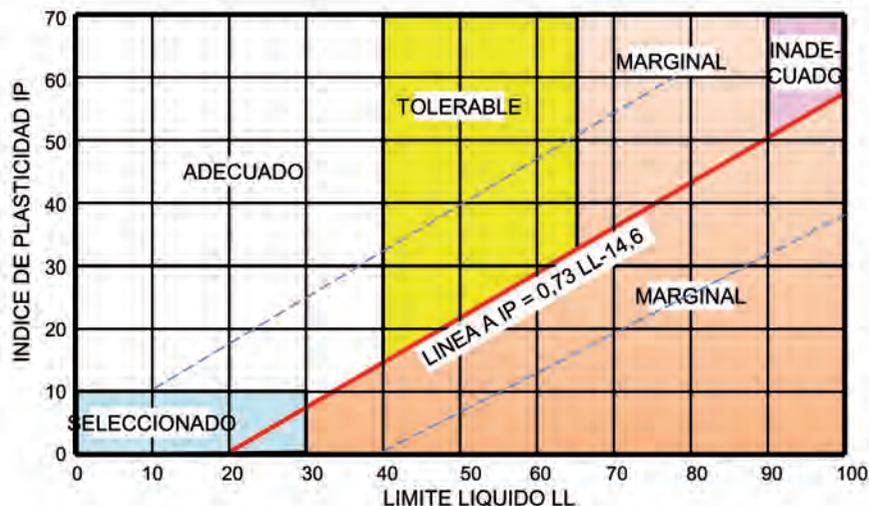


Figura 25. Clasificación de suelos para terraplenes según la plasticidad (Según se deduce del PG-3 del Ministerio de Fomento)

se utilizará ese material.

Acaba, así, el diseño de los aprovechamientos térreos para terraplenes y pedraplenes, lo cual suele ser admitido por muchas direcciones y controles de obra. El mayor aumento, en España, de los volúmenes de movimientos de tierra en obras viarias a finales del siglo pasado, puso en evidencia que no siempre existen esos materiales apropiados y que, en muchas ocasiones, debería ser preciso reutilizar todo lo que se excava en la propia obra (o de vertederos antiguos próximos), a fin de evitar grandes impactos ambientales y grandes costes de transporte.

La Orden Circular 326/00 del año 2000 cambia este panorama e incluye un nuevo tipo de material: El "marginal", supuestamente a caballo entre el "tolerable" y el "inadecuado", aunque -normalmente- se superpone con estos dos grupos.

Los materiales "marginales" del nuevo PG-3 son los que, no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, ni tampoco tolerables por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al 5%.
- Hinchamiento en ensayo de expansión inferior al 5%.
- Si el límite líquido (LL) es superior a 90, el índice de plasticidad (IP), será inferior al 73% del valor que resulta de restar 20 al límite líquido, o sea:
 $IP < 0,73 (LL - 20)$.

Esta ecuación intenta representar la de

la Línea A de la Carta de Plasticidad de Casagrande, aunque no lo hace exactamente.

En la figura 25 [19] se ha representado la clasificación de suelos (según la O.C. 326/00) en lo que se refiere a la plasticidad, criterio que es al que suele darse más importancia, por el miedo que suele existir en carreteras al uso de materiales con abundantes finos (más del 35%) y, sobre todo, si caen por debajo de la Línea A, ya que pasarían a ser o limos o arcillas orgánicas, según la clásica clasificación de Casagrande. Sin embargo, ya hace más de 30 años que aprendimos que la mayor parte de los suelos arcillosos (con predominio de materiales arcillosos e, incluso, esmectíticos, con comportamiento de arcilla) están por debajo de la Línea A, mayoritariamente, en el centro de la Península Ibérica y, parcialmente, por debajo en algunas arcillas del Sur de dicha Península (y, por supuesto, en algunos materiales canarios).

Si se observa la figura 25 [19] y se considera un intervalo del límite líquido (LL) entre 10 y 100, por ejemplo (intervalo que hemos conocido ampliamente en nuestra vida profesional), puede verse que los que se han llamado suelos seleccionados y adecuados ocupan poco espacio ($LL < 40$). Los tolerables en el nuevo PG-3, ocupan un lugar intermedio (alrededor de la línea vertical de $LL = 50$, es decir alrededor de la línea que separa las plasticidades baja y alta, según Casagrande) y que (salvo un grupo pequeño de bajo índice plástico) están siempre sobre la línea A. Esto corresponde a esa idea que ya hemos señalado la que, por debajo de la línea A, los suelos son

limosos y peligrosos. Ahora bien, en esa figura vemos que existe un amplio hueco entre los suelos "inadecuados" (por encima de la línea A y con $LL > 90$) y los restantes citados: es el que corresponde a los suelos marginales.

Es decir, se adoptó una postura aperturista con respecto a la redacción del PG 3 de 1974, admitiendo materiales de plasticidad alta, aunque "arcillosos", según la clasificación de Casagrande y "limosos" de medio y alta plasticidad, por considerar que esa vieja denominación no se ajusta claramente a los suelos españoles.

La utilización de estos materiales marginales sólo está prevista si se justifica mediante un estudio especial, aprobado por el director de las obras. Este estudio deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Determinación de propiedades que confieren al suelo su carácter de marginal.
- Influencia de dichas propiedades en el uso que se le vaya a dar al material y de su incidencia sobre la evolución de otras zonas de la obra.
- Estudio detallado en que se justifique la resistencia del conjunto y los asentos totales y diferenciales esperados, así como su evolución con el tiempo.
- Disposiciones constructivas y prescripciones técnicas a adoptar para el uso a que se destina ese material.

Como ejemplo de suelos marginales se incluyen en el Artículo 330 del nuevo PG-3 a los suelos colapsables, a los expansivos, a los suelos con yesos y a los suelos con otras sales solubles y a los suelos con materia orgánica. Aunque existen suelos que se incluyen en el campo de los marginales sin que les sea aplicados calificativos tan rotundos como "colapsables" o expansivos. Incluso hay materiales que antes pasaban a ser "inadecuados" porque sus condiciones granulométricas no cumplían las condiciones de terraplén adecuado (o mejor calidat) ni la de pedraplén.

En lo que se refiere a los suelos expansivos, el Pliego define como tales a los que dan hinchamientos libres de más del 3%, en muestras remoldadas y compactadas de la forma que se hará en obra, lo cual puede reproducirse con ensayos de hinchamiento libre en edómetro. No se pueden usar en coronación y espaldones para que no su-

fran variaciones de humedad, pero sí en núcleos, con las condiciones de estudio especial ya citadas, compactando del lado húmedo. Así lo hemos hecho en obras que llevan realizadas bastantes años, como en una autovía en las proximidades de Palencia o en el Parque Tecnológico de Andalucía, en Málaga, ejemplos que se detallan más adelante. En función de su expansividad y deformabilidad, hemos recomendado utilizar, a veces, la solución “sándwich” como en la obra citada de Málaga, o como se hizo en el Tramo I de la Autopista M-45 de Madrid.

Con otras sales solubles distintas del yeso, el material podrá usarse en núcleos siempre que tenga menos de un 1% (medido con la norma NLT-114). Para contenido de más del 1%, el suelo es claramente marginal y se requiere estudio especial.

Se intenta, pues, ampliar el abanico de materiales de media y alta plasticidad y con contenido de sales, principalmente yeso, tan frecuente en España. Sin embargo, parece que todos tienen que estar por encima de la Línea A, según el PG-3.

El estudio especial debe desarrollar la siguiente metodología:

- Un diseño del terraplén entero (coronación, espaldones, núcleo, etc.), en la línea filosófica que impulsa al Artículo 330 desde sus comienzos.
- Un estudio de las propiedades del material marginal y de su comportamiento con posibles aditivos, si fueran necesarios.
- Una decisión de cómo debe colocarse en obra.
- Una selección del sistema de control.
- Una instrumentación mínima del terraplén para observar su comportamiento a corto y largo plazo.

Actualmente (que ya han pasado varios años desde que, entre otras personas, redactamos el borrador del PG-3), la tendencia es a considerar como “marginal” un material más amplio que el que, ahora, aparece en el Pliego:

- Contenido de materia orgánica inferior al 5%.
- Hinchamiento en ensayo de hinchamiento libre, en las condiciones de puesta en obra (con o sin aditivos), inferior al 5%.
- Límite líquido inferior a 120%.

Y en breve, quizás, empecemos a quitar todas las restricciones, aunque siempre con la condición de que se haga el adecuado y justificativo estudio especial.

Algunos ejemplos de obras realizadas con materiales marginales:

- Autovía en la zona de Venta de Baños (Palencia): Se utilizaron arcillas terciarias grisáceas, expansivas, con algo de carbonatos. Se utilizó una sección del tipo encapsulada, rodeando las arcillas con zahonas naturales con algo de finos (25-35%) [9].
- Parque Tecnológico de Málaga: Se utilizaron arcillas marrones miocenas, de expansividad media a alta, en solución “sándwich”, alternándolas con capas de pizarra fragmentada y compactada [9].
- Tramo II de la Autovía M-45 de Madrid: Se aprovecharon las arcillas sepiolíticas de la traza (con densidades secas de 750 a 1 100 kg/m³), tratadas con cal (1,8-2,4 %), tanto en núcleo como en las zonas que le envuelven [2].
- Tramo I de la Autovía M-45 de Madrid: Se utilizaron las “arcillas” o “peñuelas” grises, en solución “sándwich”, alternadas con material adecuado de préstamo [17].
- P.A.U. de Vallecas: Aprovechamiento de “peñuelas” grises y marrones para terraplenes viarios, en solución encapsulada.
- Variante de Cuenca: Arcillas margosas terciarias, grisáceas, de baja plasticidad. Se trataron con cal (2%) en núcleo y espaldones. Informe no publicado.
- Variante de Cuéllar: Se utilizaron arcillas blanquecinas y marrones tratadas con 5% de cal en coronación y espaldones [5].
- Autovía A-381, Jerez-Los Barrios: Se ha estudiado con detalle, la estabilización de suelos arcillosos en el tramo V, y se ha utilizado este sistema (general-

mente en coronación) en varios tramos. [8].

- Ampliación del Ferrocarril a su salida de Madrid hacia Andalucía.
- M-50 de Madrid
- M-203 de Madrid, etc.

Los materiales arcillosos de más baja densidad entre los enumerados (peñuelas sepiolíticas) presentan unas características geotécnicas de problemática calidad cuando son compactados y, además, encierran el riesgo de expansividad, ya que la infiltración del agua desde el firme (a través de las capas más nobles del mismo) pueden dar lugar a fenómenos de hinchamiento. En los espaldones, por el contrario, la acción ambiental puede dar lugar a retracciones (por fuerte desecación), alternadas con hinchamientos (por humectación cíclica). Si se compactan arcillas del lado seco, se forma una agrupación de grumos, con el agua en su interior y el aire de los huecos parcialmente expulsado (estructura floculada). Esta estructura es sensible a la presencia de agua, que mueve los grumos y produce movimientos. Esto se puede evitar, sólo en parte, compactando del lado húmedo en el núcleo, consiguiendo una estructura dispersa en que los huecos se llenan de agua, con burbujas de aire aprisionadas entre partículas y que no pueden salir al exterior. La compactación con una humedad del orden del límite plástico (+ 2-3 %) consigue estos resultados. Pero ello no evita problemas en espaldones, en contacto con la acción ambiental.

Además, no siempre se consiguen, por simple compactación, estructuras de-

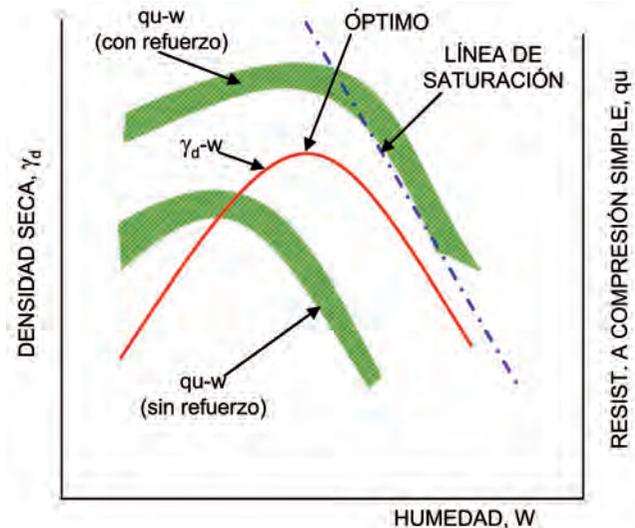


Figura 26. Variación de la resistencia a compresión simple con y sin cal (Oteo, 2007)

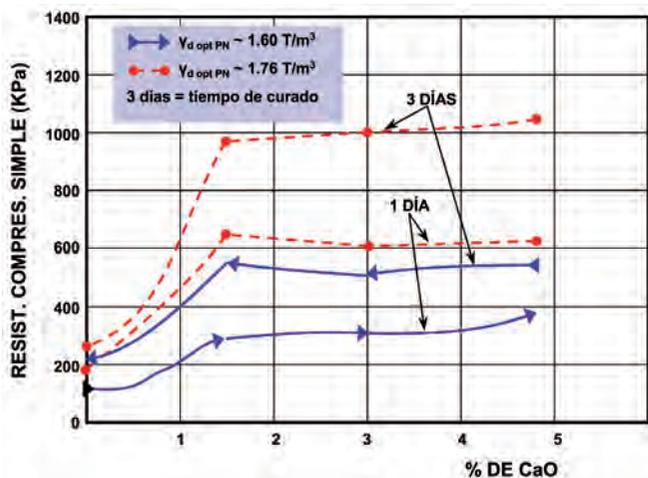


Figura 27. Resistencia a la compresión simple de muestras de la facies "Tierra de campos" (Palencia), con diferentes proporciones de cal. (Oteo, 2007)

bidamente resistentes y perennes, lo cual lleva a pensar el tratarlos con un aditivo que consiga:

- Aumentar la "cohesión", a corto o largo plazo, gracias a un efecto cementante con las partículas arcillosas y el agua existente (o añadido).
- Obtener una estructura menos plástica y menos expansiva, en que el efecto cementante disminuya la facilidad de entrada del agua y la separación de las láminas de silicatos que componen su red arcillosa.
- Aumentar la resistencia frente a la acción (cambios de humedad, erosión hídrica o eólica en espaldones, etc.)

El efecto cementante de la cal puede verse en laboratorio. En la figura 26 de la página anterior [11] se muestra un esquema de cómo, en general, en suelos arcillosos compactados, la resistencia máxima a

referido a la expansividad y el contenido de cal. En laboratorio (muestras machacadas) se necesita más cal que en el campo para conseguir resultados análogos.

Las soluciones que se han utilizado son diferentes y que el parámetro que se ha utilizado, generalmente, para distinguirlas es la densidad seca (natural o óptima del P. N.).

De acuerdo con ello, hemos establecido una clasificación de estos materiales marginales, teniendo en cuenta su densidad seca y su límite líquido, y que es la que aparece en la figura 29. En ella se distinguen cinco tipos de materiales marginales y, para cada uno de ellos, se establece una propuesta de solución, las cuales aparecen en la figura 30 [11].

Esta clasificación y soluciones deben tomarse como indicativas y no como verdades absolutas, aunque creemos que su

compresión simple se obtiene por debajo de la humedad óptima PN. Sin embargo, si se añade cal a la arcilla, la resistencia aumenta y la máxima resistencia se desplaza hacia mayores humedades (figura 27) [11].

En la figura 28 se resumen diversos ensayos (de campo y laboratorio

adopción está ya avalada por una cierta práctica real.

7. Sobre rellenos encima y contra estructuras

7.1. Rellenos sobre estructuras

Un caso particular de terraplenado es el que se produce sobre falsos túneles, sean "in situ" o prefabricados. En estos casos existen diversos problemas:

- Dificultades de compactar el terreno en las proximidades del falso túnel. Si éste está hecho "in situ", normalmente tiene un importante espesor (50-60 cm) y puede ser armado, con lo que puede aguantar relativamente bien las presiones que pueden transmitirlos los rodillos de compactación. Pero en el caso de bóvedas triarticuladas prefabricadas, su menor espesor y condiciones de contorno obliga a compactar poco en las proximidades de la obra de fábrica.
- Presencia de cargas asimétricas por ser el relleno de espesor variable, como en el esquema de la figura 31, que corresponde a un caso real en la Autopista Pamplona-San Sebastián. Hubo que cerrar al tráfico el falso túnel apenas inaugurado, ya que los empujes asimétricos no habían sido contemplados en el cálculo. Se produjo una deformación como la que aparece en la figura 31, con unas fisuras (primero en el túnel en el que la altura del relleno era mayor y, a continuación, al transmitir el empuje

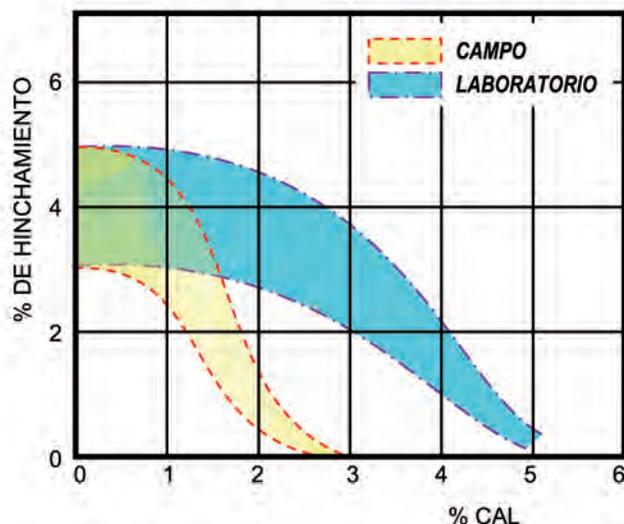


Figura 28. Variación aproximada de la expansividad de arcillas sepiolíticas con el contenido de cal (Oteo, 2007)

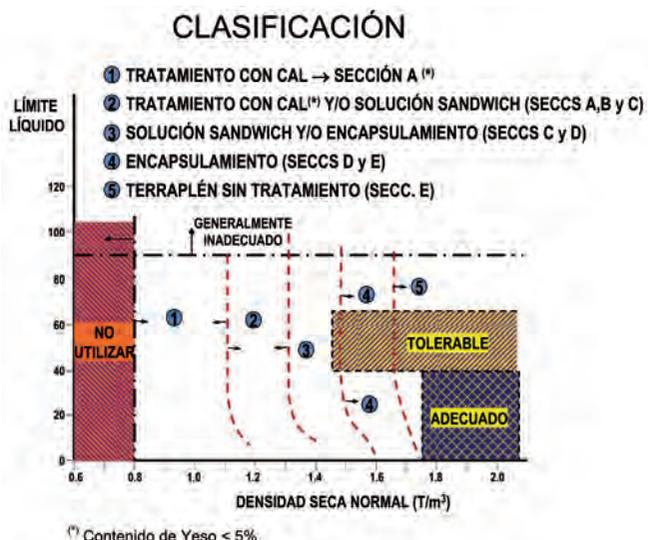


Figura 29. Posible criterio de clasificación de materiales arcillosos para su utilización en terraplenes (Oteo, 2007)

POSIBLES SECCIONES DE TERRAPLÉN CON MATERIAL ARCILLOSO MARGINAL.



Figura 30. Posibles secciones de terraplén con material arcilloso marginal (Oteo, 2007)

un túnel sobre el otro, en el segundo). La fisura (realmente, grieta) tenía una longitud igual a la del túnel. Para luchar contra este problema, primero se apuntalaron los túneles y, después, se instalaron anclajes en cada túnel, para crear esfuerzos contrarios a los que producían los rellenos.

- Es habitual que los túneles prefabricados se calculen con densidades de los rellenos muy bajas, debido a la competencia comercial que existen entre las diferentes casas fabricantes. Así, hemos visto más de una vez considerar que el peso específico aparente del relleno era de $1,6 \text{ t/m}^3$. Este valor es

compresión. Pero ello puede ser falso, tanto en el caso ya citado de relleno con espesor variable, como durante el proceso constructivo. Por ejemplo en la M-50 de Madrid se construyeron dos túneles, juntos y paralelos, prefabricados. La altura del relleno iba a ser pequeña (unos 3-4 m), por lo que los esfuerzos finales (una vez hecho todo el relleno) no serían grandes, así como la armadura. Pero, a pesar de las advertencias que se hicieron en las reuniones de obra, se colocaron las tongadas de relleno con una clara diferencia (de más de 2 m) entre un túnel y otro. Se produjo un empuje asimétrico y se hun-

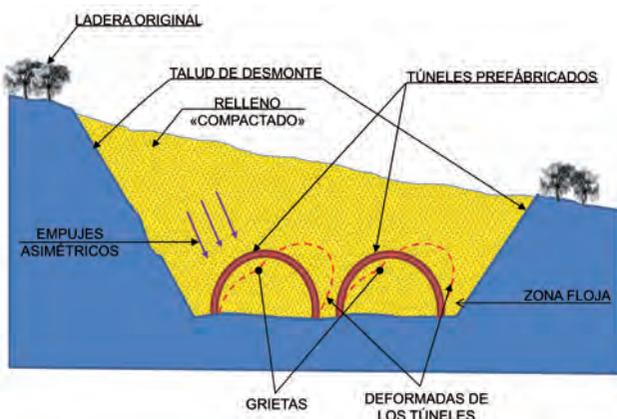


Figura 31. Túneles paralelos deformados por empuje asimétrico

muy bajo y viene a corresponder a un peso específico aparente seco, en que no se tiene en cuenta el agua (que ya suele tener el terreno, más la que aporten las lluvias). Por eso, deben de tenerse en cuenta pesos específicos aparentes del orden de $2,0 \text{ t/m}^3$.

- Los túneles prefabricados suelen calcularse con cargas centradas y se diseñan con una armadura que, muchas veces, es mínima, pensando que el arco trabaja principalmente a

dieron 150 m de solución prefabricada. Los cimientos (“in situ”, sobre “peñuelas” verdosas) no se movieron, sólo se rompió el arco prefabricado y se produjo un colapso total (figura 32).

- En estos casos, a pesar de la hipótesis de triarticulación (pensando en que sólo hay compresiones) hemos hecho hormigonar y amorterar, junto a los arcos, hasta la mitad de su altura. Ello se realizaba por dos motivos: a) Porque, muchas veces, no se puede compactar junto a los hastiales del arco (se puede verter el relleno pero es muy difícil aplicarles energía para compactar); b) Porque se consigue una resistencia a flexión adicional. Pero si el relleno es realmente asimétrico esta medida puede ser insuficiente.
- Sin embargo, si se cuida la solución de prefabricado, puede obtenerse un resultado final perfectamente aceptable. Así lo hemos conseguido con tres túneles (no largos) en la Variante ferroviaria de Camarillas (entre Albacete y Murcia), inaugurado hace menos de dos años.

7.2. Rellenos contra estructuras

En este caso suele utilizarse el artículo del PG-3 de “Rellenos localizados”.

Generalmente lo que se pretende es:

- Dadas las dificultades de compactación (los rodillos apisonadores podrían producir sobre-empujes sobre muros y estribos de estructuras) se seleccionan buenos materiales –generalmente granulares– para que su autocompactación (aunque sea ayudada por riego)

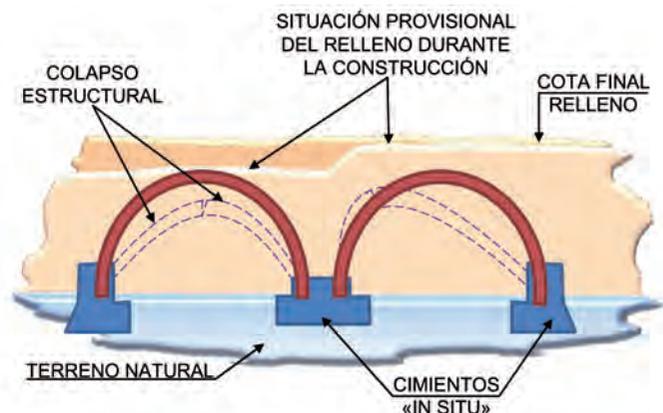


Figura 32. Colapso de túneles con diferencia de cota en el relleno

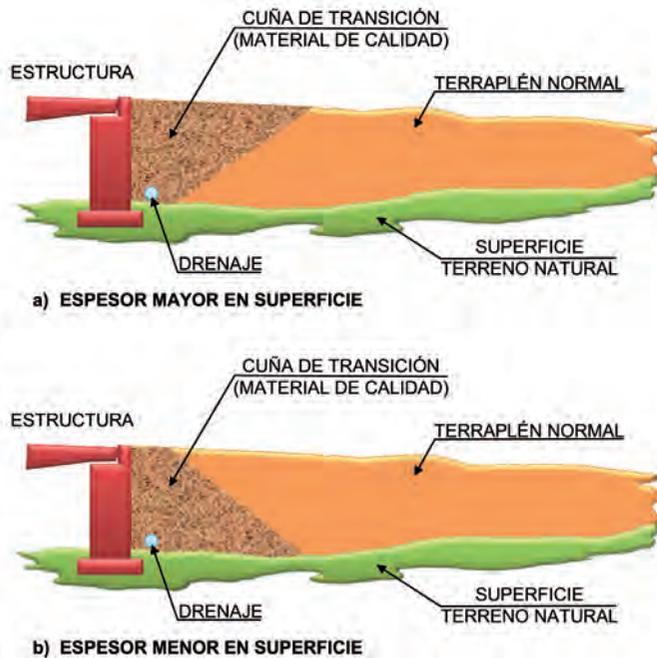


Figura 33. Posibles cuñas de transición

sea fácil y, además, produzcan menores empujes, al tener un rozamiento interno apreciable.

- Además se pretende establecer una transición entre la estructura y el terraplén, dado que los asientos pueden ser muy diferentes en estos elementos, sobre todo si el terreno natural es blando. En ese caso, en obras de carretera, hemos acudido a la solución de cimentar los estribos sobre el terraplén y utilizar losas de transición (largas, de $L = 6,0$ m), lo cual disminuye el problema, al ser los asientos bastante similares. Pero en obras ferroviarias de alta velocidad esta solución puede generar asientos incompatibles con la funcionalidad viaria. En ese caso suelen utilizarse “cuñas de transición”, entre el estribo y el terraplén normal (incluso aunque el

8. Sobre terraplenes apoyados en suelos blandos

En el caso de terraplenes sobre suelos flojos y blandos los principales problemas que se presentan son los debidos a asientos (corto y a largo plazo) y al riesgo de rotura por deslizamiento (figura 34). En estos casos puede ser necesario diseñar un tratamiento de mejora del terreno, tanto para disminuir o acelerar los asentamientos del terraplén como para asegurar su estabilidad frente al deslizamiento a corto y largo plazo. En diversas ocasiones, dichos tratamientos se diseñan siguiendo criterios dispares y separando completamente los dos problemas citados, sin tener en cuenta la diferente misión y efecto de drenes-banda, de columnas de grava, de la compactación

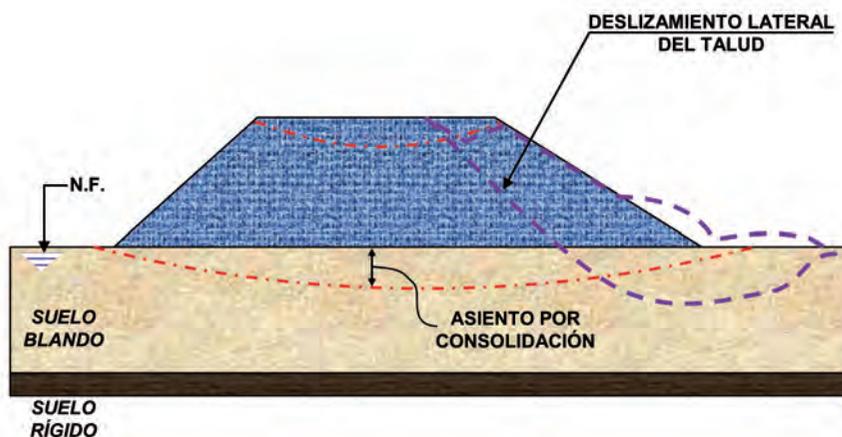


Figura 34. Problemas de terraplenes sobre suelos blandos saturados

terreno natural no sea muy blando). Se pretende, con ello, que haya una zona de relleno con menos deformabilidad, pero con espesor variable que pase del asiento casi nulo del estribo al asiento real del terraplén. Ello puede conseguirse con dos tipos de cuña, como muestra la figura 33.

dinámica, etc.

El termino “tratamiento” suele aplicarse una cierta acción sobre el terreno que acaba modificando sus propiedades y, sobre todo, su respuesta frente acciones exteriores e interiores. En este sentido cabe considerar como “tratamientos” las actividades que:

- Incrementan la cohesión aparente de conjunto del terreno, (aditivos remoción del terreno, inclusiones como las inyecciones, como las columnas de cal, etc.).
- Aumentan la resistencia al corte de conjunto, a veces ligeramente la cohesión y, sin embargo, ejerciendo una influencia mayor el rozamiento de conjunto, (inclusiones no cementantes, como las columnas de grava).
- Elevan la resistencia al corte de conjunto por comprimir con fuerzas interiores-exteriores la zona en peligro de rotura (con anclajes).
- Movilizan la resistencia efectiva (mayor que la de a corto plazo), gracias a drenar una zona o conseguir un menor tiempo y menor camino de drenaje, (dissipación de presiones intersticiales más rápida y drenes de plástico y columnas de grava).
- Aumentan la resistencia al corte -sobre todo rozamiento- por aumento de la densidad aparente del terreno, (compactación dinámica, vibroflotación, explosivos, etc.).
- Actúan en el interior del terreno, formando barreras activas o pasivas, de forma que los movimientos de la estructura que interesa se reduzcan, (barreras de jet-grouting y de pilotes).

No trataremos aquí los sistemas de tratamiento o mejora de los materiales del propio terraplén, destinados a utilizar, por ejemplo, materiales marginales e inadecuados.

El caso de terraplenes, constituido con materiales no problemáticos y sin deformabilidad propia alta, pero apoyados sobre suelos blandos (generalmente arcillosos y saturados) y flojos (arenas muy poco densas o vertederos) es el típico que suele necesitar tratamientos del terreno, a veces muy pesados.

Podemos distinguir varias posibles soluciones:

- Para terraplenes no muy altos y es-

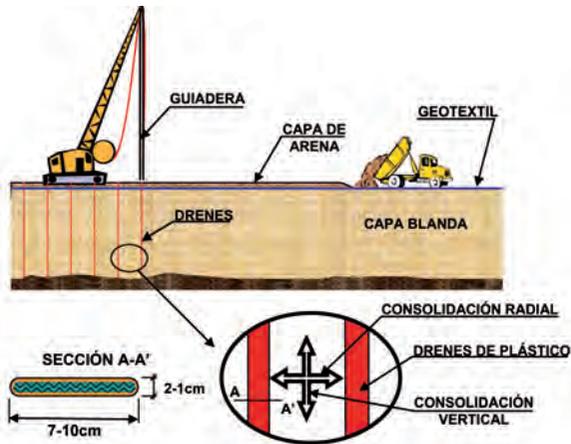


Figura 35. Construcciones de drenes de plástico

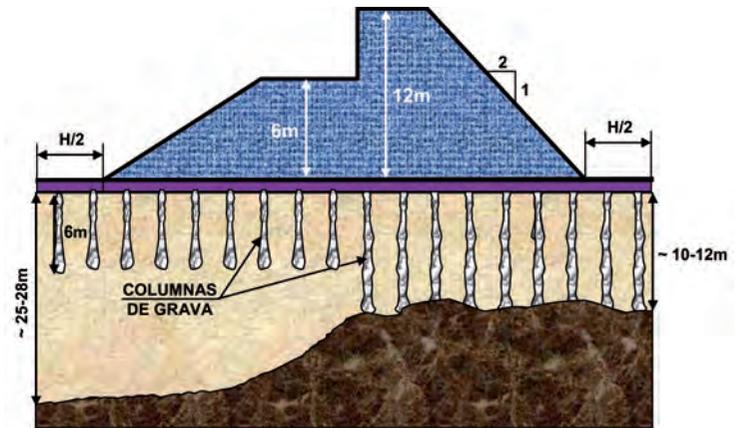


Figura 36. Tratamiento del terreno con columnas de grava, en función de la altura del terraplén (Caso de la variante de Medinaceli)

pesores de suelos blandos pequeños o para casos de vertederos urbanos flojos pero sin agua, puede acudir a la sustitución, bien total o bien parcial. En este último caso se trataría de crear una "losa de terreno compacto" en superficie, dejando por debajo un cierto espesor de suelo deformable, al que llegarían pocas tensiones, y, por ello, se generarían pocas deformaciones. En el caso de que exista agua, la sustitución puede ser difícil o necesitar ir excavando y aportando piedra gruesa o bolos.

- Para el caso de vertederos nos ha dado muy buen resultado el empleo de la compactación dinámica, con energías de 150-200 mt, 5-7 golpes en los extremos de un cuadrado de unos 3-4 m de lado, en primera fase, y después 4-5 golpes en los centros de lado y cuadrados. Normalmente se controla la huella que deja el golpe y se dan suficientes golpes hasta que el "gradiente de huella" empieza a disminuir (de un quinto a un sexto del primer golpe). Hemos utilizado este sistema en muchas obras: Tres Cantos, M-45 y R-3 de Madrid, Enlace Juan Carlos I de Sevilla, etc. En el caso de la R-3, en la zona de una antigua explotación de sepiolitas, rellena de productos de la excavación y restos de demolición, la huella final llegó a ser del orden de 3 m, en un espesor de relleno del orden de 10-13 m.
- Cuando existen bolos o muchas irregularidades en el vertedero o tiene bastante espesor, pueden usarse las llamadas "columnas de módulo controlado", que son pilotes de mortero, hechos con perforadora rotatoria, inyectable por su eje central. Las columnas se distri-

buyen en mallas triangulares, con una columna cada 4-6 m². Las columnas suelen tener un diámetro de 30-40 cm. El mortero puede ser de una resistencia característica de 7-8 MPa y con un cono de Abrams muy elevado (18-20 cm). Esta solución la hemos aplicado en la R-3 de Madrid, en zona de la antigua mina de sepiolitas de Jolsa con 15-18 m de espesor de rellenos, en el enlace de las L.A.V. Sevilla-Madrid-Valencia.

- Si el suelo está saturado se puede acelerar la generación de asentamientos instalando drenes-banda o de plástico (uno cada 1,5-2,5 m²) lo que acorta el camino drenante y permite inducir más rápidamente los asentamientos, sin reducirlos (figura 35).

Si hay problema de falta de capacidad portante puede ser necesario llegar a instalar columnas de grava, en que, por sustitución, el terreno flojo queda "armado" por columnas de grava -compactada por vibración- de diámetro variable (de Ø 0,6 a 1,2 m), según el terreno, la energía aportada, etc., (figura 36).

No sólo se consigue mejorar el conjunto del terreno, con lo que se disminuyen los asentamientos (figura 37) sino que se acelera la consolidación. En obras lineales hemos usado tratamientos con una

columna cada 5-10 m². (Variantes de Medinaceli, Puerto de Santa María y Ronda Este de Huelva, Eje Crevillente- Torreveja, Avenida de la Ilustración y M-50 de Madrid, SE-40 de Sevilla, etc.).

Para cálculos de estabilidad el terreno mejorado homogéneo se considera con unos parámetros intermedios entre los de las columnas ($C_c = 0$, $\Phi_c = 37^\circ$) y los del suelo blando (C_u , Φ_u). Generalmente se obtiene, en función de la separación de columnas, un terreno equivalente con una cohesión del orden de 2-3 t/m² y un rozamiento del orden de 12 - 8°.

- Generalmente con los métodos anteriores (y sin ellos también) se emplea la precarga, en el sentido de construir el terraplén por fases (si hay problemas de estabilidad) o de una vez, sin colocar la plataforma viaria, dejando un tiempo actuar la carga (o incluso aumentándola con una sobrecarga que luego se

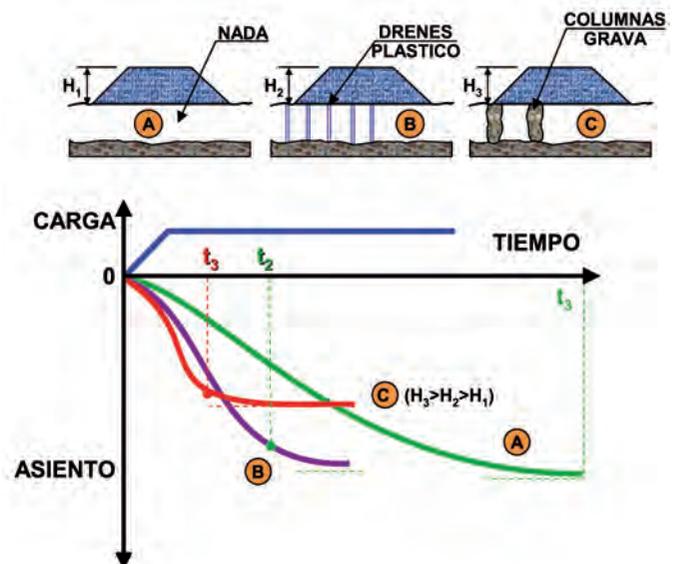


Figura 37. Comparación de relaciones asiento-tiempo en terraplenes con diferentes tratamientos

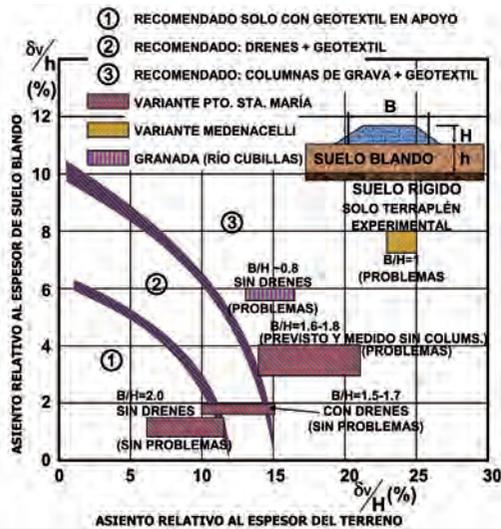


Figura 38. Asientos en diversas carreteras sobre suelos blandos. Criterio recomendado para diseño del tratamiento de suelo blando bajo un terraplén, (Oteo, 2003)

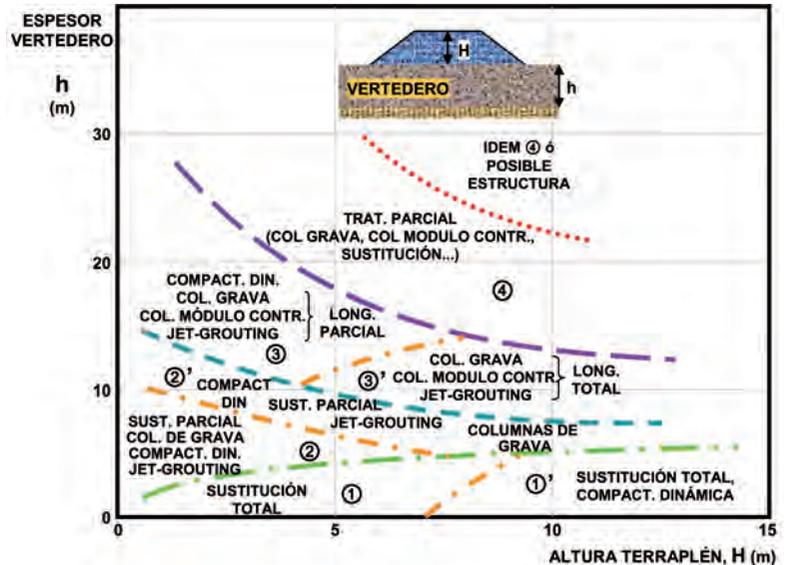


Figura 39. Posible criterio para tratamientos del apoyo de terraplenes sobre vertederos o rellenos terrenos flojos.

retira), para que, al instalar esa vía, los asentamientos que experimenten sean los remanentes (10-15 cm como máximo en carreteras). Ello obliga a esperar a veces unos meses; pero téngase en cuenta que, a pesar de usar columnas de grava, hemos tenido asentamientos de 70-90 cm en terraplenes de 7-10 m de altura, por lo que se necesita un cierto tiempo (3-5 meses) para llegar a una situación aceptable para la vía.

- También puede, en estos casos (o sin esos tratamientos) reforzarse la base del terraplén con un geotextil que resista a tracción (30-35 kN/m). En terraplenes de 2,5-3,5 m puede ser suficiente.
- En la figura 38 [10] puede verse un criterio que recomendamos para seleccionar el empleo de sólo geotextiles, drenes-banda o columnas de grava.

En casos de carreteras sobre vertederos flojos, sin apenas nuevo terraplén, se han producido asentamientos importantes, tanto por la alta deformabilidad estática del material, como por el colapso que pueden originar flujos de agua (deformaciones del 1 a 5% del espesor humectado). En estos

casos hemos utilizado desde la sustitución parcial hasta las columnas de grava, pasando por la consolidación del vertedero mediante inyecciones de jet-grouting, como hemos hecho en la Avenida de la Ilustración de Madrid (en zonas sin circulación de agua) y en la A-92, cerca de Loja, aunque caben otros sistemas (figura 39).

- Por último cabe hablar de los sistemas de tratamientos basados solamente en aporte de vibraciones, como son la vibroflotación en profundidad (realizada con los torpedos de las columnas de grava, pero sin aportación de material), la bandeja vibrante, el terra-probe (penetración de un tubo metálico con vibrador en cabeza, cuya eficacia disminuye con la profundidad), las voladuras, etc. Estos tratamientos son apropiados para terrenos granulares, por lo que, casi siempre, en España se han aplicado en suelos arenosos o granulares flojos cerca del mar, (en realidad, casi siempre eran rellenos realizados por vertido desde tierra o procedentes de dragado), para ganar terreno al mismo, como la vibroflotación realizada en

Cartagena (Carenero de galeras) y Las Palmas (nuevo astillero para syncro-lift, en el que también se usó el método terra-probe, con menos efectividad), o las voladuras realizadas en el Puerto de Valencia (proyecto del Prof. Romana), etc. No suelen, por esa condición, ser utilizados en infraestructuras lineales, salvo los supercompactadores dinámicos, que pueden usarse para mejorar terrenos flojos de apoyo de terraplenes. Finalmente, puede indicarse:

- En cada caso hay que elegir el procedimiento que resume las condiciones adecuadas de plazo, costo y efectividad y no sólo el más económico.
- El uso inadecuado de tratamiento puede inducir más problemas que los que se pretende solucionar.

9. Sobre la patología

A la vista de todo lo anteriormente expuesto, cabe señalar que pueden producirse numerosos problemas patológicos en el entorno de la construcción de estructuras de tierra para infraestructuras viarias (por lo

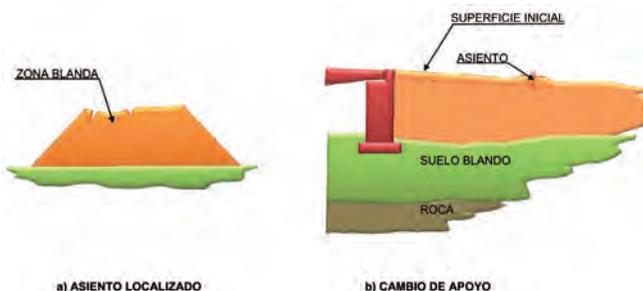


Figura 40. Asientos por "blandones" del terraplén o suelo de apoyo blando

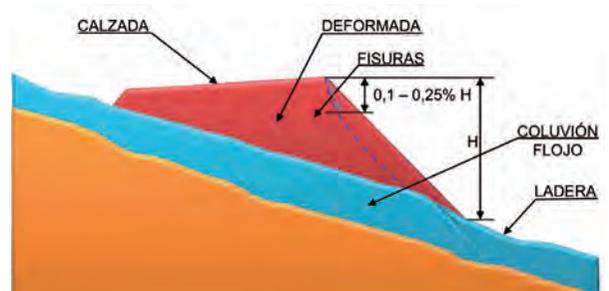


Figura 41. Asiento de terraplén de gran altura a media ladera

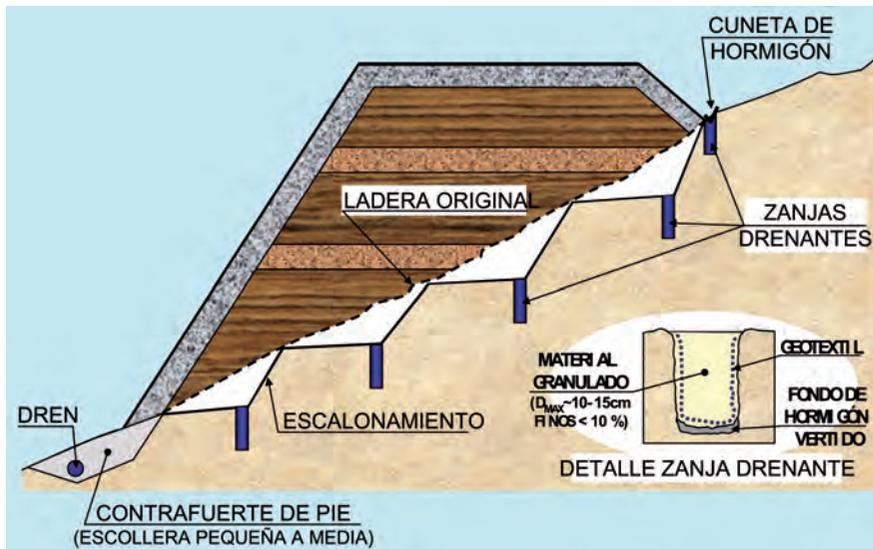


Figura 42. Apoyo de terraplenes de importante altura a media ladera

altura (figura 41), según el material y su grado de compactación, sino la compresibilidad del terreno superficial de la ladera (coluvión o roca alterada). Contra ello cabe luchar con la eliminación de este terreno superior de apoyo, abancalamiento de la ladera y el drenaje adecuado (figura 42).

- Por colapso del material del terraplén, compactado del lado seco y que las lluvias se encargan de saturar, con deformaciones como las que se ven en la figura 43 [20].
- Por asentamiento brusco de un terraplén sobre suelo carstificado (bien en yesos, bien en margo-calizas). Este fenómeno es más típico de fondo de desmontes y terraplenes de poca altura, y contra él se lucha removiendo el terreno y construyendo un terraplén que de una resistencia apreciable frente al posible punzonamiento, limpiando y hormigonando las cuevas cársticas, construyendo una losa de hormigón algo armada, colocando capas de geotextil resistentes (figura 44).
- Por cambios de volumen en los espaldones hechos con material algo

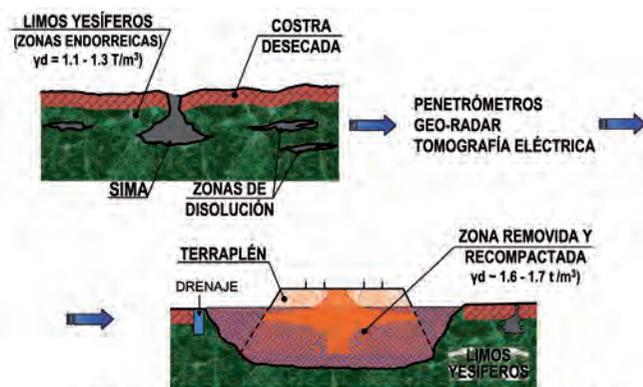
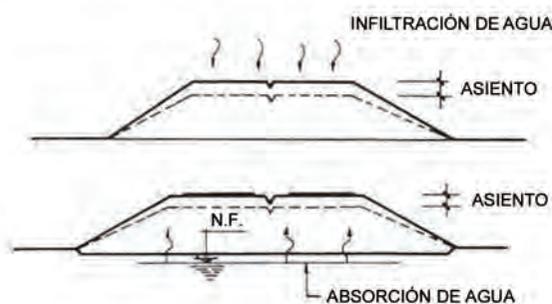
tanto, no entraremos en el caso de presas de materiales sueltos). Así, pueden considerarse las siguientes patologías:

- Por insuficiente capacidad portante de la explanada y coronación, que pueden originar daños concentrado en el firme (figura 40).
- Por asentamiento generalizado del terraplén sobre un suelo blando o deformable, lo que se nota por sus asientos diferenciales junto a estructuras de

fábrica o en la transición terraplén-desmonte (figura 40).

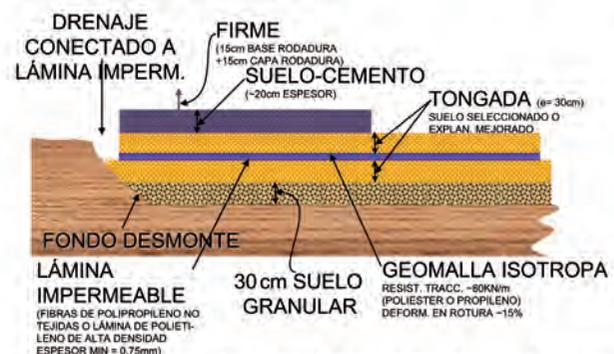
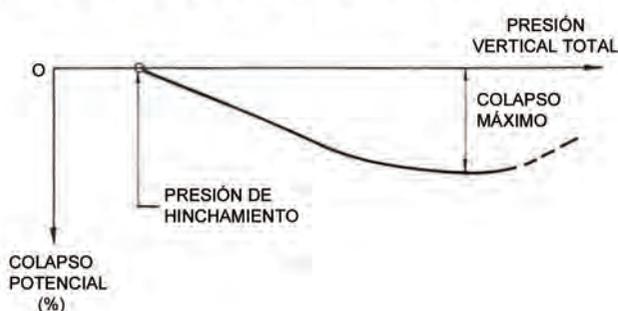
- Por asentamientos y deformaciones horizontales diferenciales en terraplenes a media ladera, con parte apoyada en desmonte o terraplén de poca altura y con parte de zona de altura considerable. En este caso en los movimientos del firma no solo influyen los asientos del terraplén por peso propio, que pueden ser del orden del 0,12-0,25% de

A.- ESQUEMA DE ASIENTOS DE COLAPSO



a. Solución adoptada en una zona de simas de disolución en limos yesíferos, cerca de Zaragoza (zona endorreica)

B.- DEPENDENCIA DE LA CARGA DE TIERRAS



b. Solución utilizada en la plataforma de la Radial R-3 (Madrid) sobre zona con cavidades cársticas en yesos (Pérez Arenas y otros, 2003)

Figura 43. Asientos de colapso (Soriano, 1994)

Figura 44. Soluciones en casos de base de apoyo colapsable

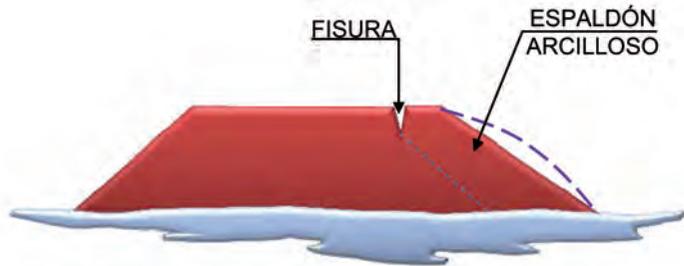


Figura 45. Fisuración por cambio de volumen en espaldón

expansivo, en los que tan peligrosa es la expansión como la retracción. Ello incide, principalmente, en los arcenes, formándose, generalmente, una grieta entre arcén y calzada (figura 45).

- Por deslizamiento (sólo iniciado o totalmente desarrollado) en el caso de terraplenes apoyados a media ladera sobre formaciones arcillosas fisuradas (figura 46), en que el peso del terraplén disminuye la capacidad de flujo del agua a través de las fisuras y se crea un aumento de presión intersticial que intenta producir el deslizamiento (figura 46). En el caso de que éste se produzca, el agua puede penetrar –entonces, debido a la deformación del terreno y aper-

tura de fisuras– más profundamente y aumentar – con el tiempo – la profundidad de la superficie de deslizamiento, según un fenómeno de “degenerabilidad”, que hemos descrito con anterioridad (Oteo, 2003). Esta profundización puede llegar hasta unos 9-10 m; a partir de esa profundidad la presión total impide que continúe el fenómeno (figura 47). Hemos comprobado en la zona de Jaén varios deslizamientos sobre arcillas miocenas fisuradas. Por cierto, la rotura de la Presa de Aznarcóllar, sobre materiales similares (a parte de otras influencias muy importantes) se produjo a esta profundidad, después que hubieran producido en la zona diversas

e importantes deformaciones, que probablemente, llevaron a un fenómeno de “degenerabilidad” de la resistencia al corte de las arcillas margosas, según el

cual disminuye fuertemente la cohesión y algo el rozamiento interno.

- En estos casos de terraplenes a media ladera sobre materiales impermeables, hay que cuidar el drenaje, pero no sólo bajo el terraplén, sino en la zona de la ladera situada por encima del terraplén (posibles vaguadas, figura 48). En Jaén y Granada hemos visto varios casos de acumulación de agua en la zona superior e inferior (respecto al terraplén) de la ladera. Ello ha contribuido, decisivamente, al deslizamiento de terraplenes, por saturación de su base.
- En algunos casos a media ladera, con parte del terraplén adosado contra la misma, la presencia de capas areniscas en la arcilla margosa (lo que no es raro) puede aportar agua a la masa y base del terraplén y provocar su deslizamiento. Por ejemplo, en Mengibar se produjo un fenómeno de este tipo (figura 49), que fue portada de la prensa andaluza.
- En el fondo de desmontes, en suelos arcillosos, hay que tener mucho cuida-

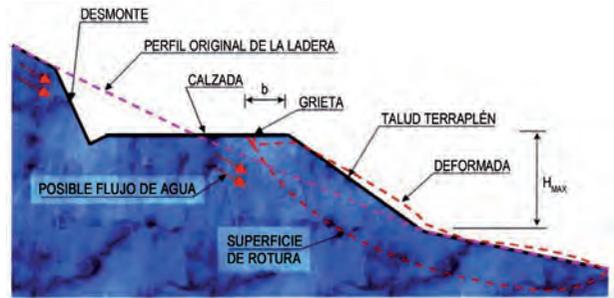


Figura 46. Esquema típico de inestabilidad de terraplén a media ladera.

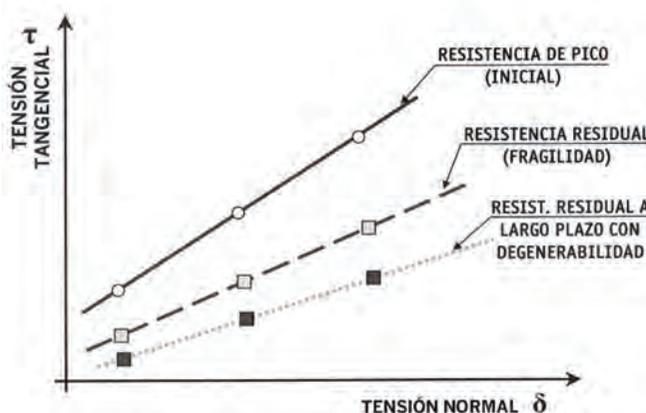
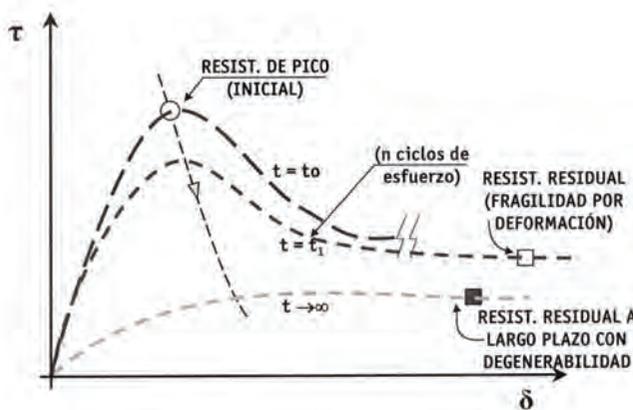


Figura 47. Evolución de la resistencia al corte de una arcilla margosa fisurada por degenerabilidad

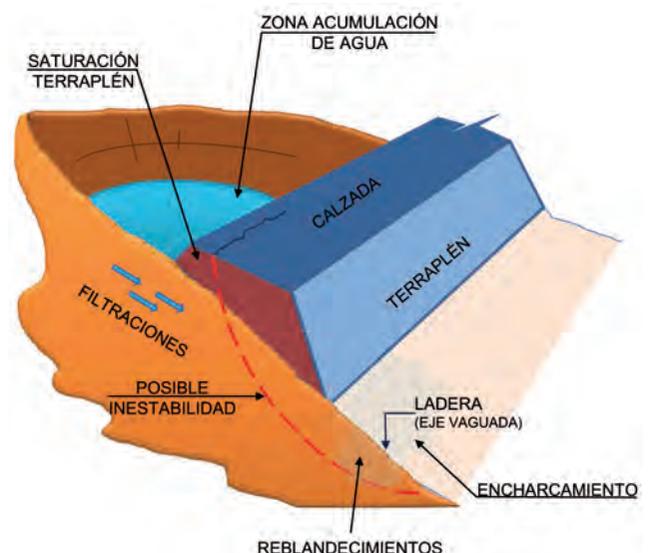
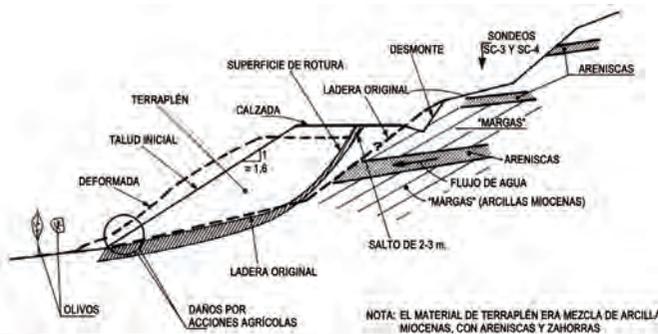
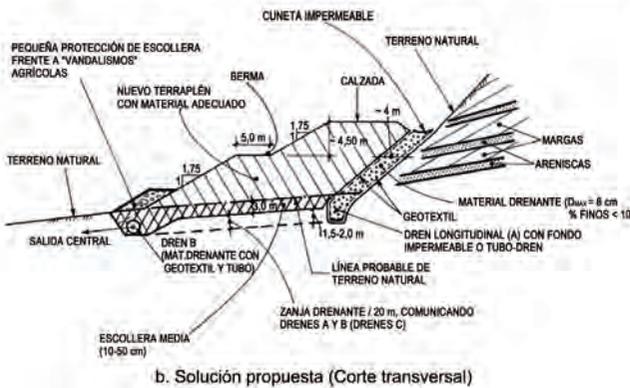


Figura 48. Efecto del agua en terraplén a media ladera, sobre vaguada



a. Corte transversal a la carretera con indicación de los materiales y zona inestable



b. Solución propuesta (Corte transversal)

Figura 49. Reparación de terraplén inestable en Mengíbar (Jaén)

do con el drenaje (figura 50) y si la arcilla es expansiva conviene impermeabilizar con dos tongadas de arcilla con cal.

10. Algunas reflexiones finales

Como cierre de todo lo anteriormente queremos hacer las siguientes reflexiones.

- Hoy día se tiende a aprovechar todo tipo de materiales en las estructuras de tierra viarias. Así, en la M-45 II aprovechamos un vertedero: tras tamizar los plásticos y grandes gruesos quedó un material que se podía clasificar como seleccionado, a pesar de su origen y contenido vario, que ha dado muy buen resultado. Ello puede exigir la adición de aglomerantes, como la cal, o compactación con supercompactadores, técnicas que han dado buen resultado para terraplenes en la Alta Velocidad.
- Deben utilizarse criterios adecuados para controlar la compactación de un terraplén. El sistema de sólo controlar la densidad seca aparente es, claramente insuficiente y ése no es, precisamente, el espíritu del PG-3 actual. Además ha de tenerse en cuenta que los datos del ensayo de referencia deben de ser representativos. En cuanto el material es algo arcilloso, es necesario exigir lotes

muy pequeños y repetir los ensayos de referencia, en cuyo caso es mejor utilizar los ensayos de placa de carga (que ya empiezan a ser dinámicos) y de huella.

- El diseño de terraplenes zonados ("sándwich", "encapsulados", etc.) es ya habitual, con lo que es más fácil la utilización de materiales "nobles" junto a "menos nobles".
- El drenaje de la base del terraplén y de sus alrededores es importantísimo, sobre todo en el caso de apoyos a media ladera.
- En el caso de terraplenes sobre suelos blandos es posible utilizar la "precarga" con el propio terraplén, acelerada con drenes o columnas de grava. Se ha dado un criterio para cuándo es aplicable cada uno de estos métodos.
- En el caso de terraplenes sobre vertederos pueden producirse asientos a muy largo plazo, por descomposición del material del vertedero. Se han dado criterios para seleccionar el criterio de tratamiento de los mismos.
- Los materiales marginales con cal (si

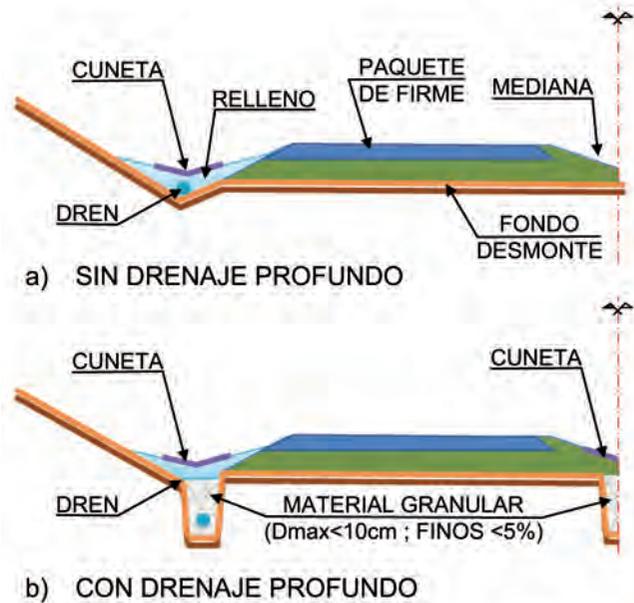


Figura 50. Solución de fondo de desmonte en material arcilloso

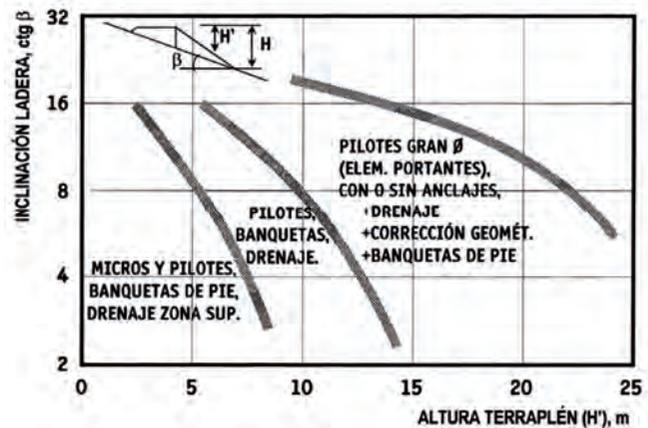


Figura 51. Medidas de corrección en terraplenes sobre ladera (Oteo, 2003)

no contienen más del 1-2% de yeso) pueden producir terraplenes con mejor comportamiento que con suelos adecuados y tolerables.

- Se han descrito una serie de patologías típicas, derivadas de la deformabilidad propia del terraplén o de la de su apoyo (incluido el colapso por humectación o disolución). En el caso de inestabilidad a media ladera, pueden usarse los sistemas de estabilización de la figura 51 [10].
- La instrumentación de terraplenes puede hacerse con placas de asiento, inclinómetros, líneas continua de asientos, piezómetro (casi siempre, de dudoso resultado), células de asiento, etc. (figura 52 de la página siguiente). La relación desplazamiento horizontal máximo, al pie del terraplén y el máximo asiento en su centro, da una idea del coeficiente de seguridad frente al deslizamiento lateral del terraplén. Relaciones inferiores

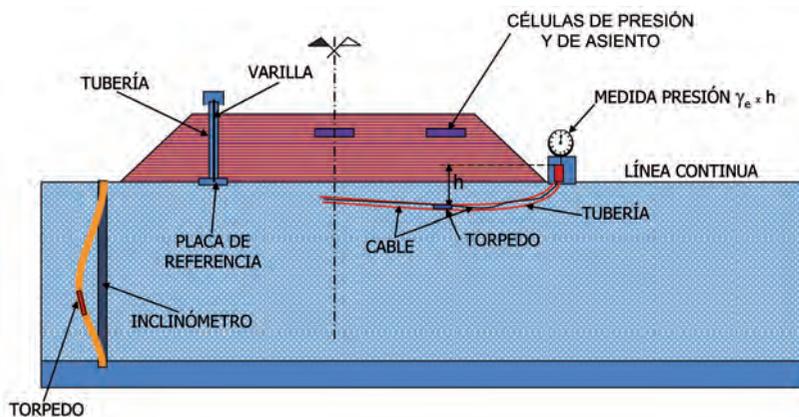


Figura 52. Observación y control de comportamiento

a 0,25 son indicativas de un coeficiente de seguridad superior al 1,25.

- También puede estimarse el coeficiente de seguridad del talud de un terraplén en función del asiento postconstructivo (figura 53).

Terminamos citando una frase del Maestro de Maestros D. Enrique Balaguer [1]: “La I+D+i jugarán, en los próximos años un papel destacable en las obras públicas. En carreteras ... asistiremos a un impulso en el tratamiento de los materiales (tierras inadecuadas tratadas para su uso en terraplenes y explanadas, firmes innovadores ..., etc, ... sistemas avanzados en el tratamiento de desmontes y terraplenes, así como en la búsqueda de la máxima eficacia energética durante la construcción y el mantenimiento de las vías”. Así lo esperamos y pensamos que los trabajos que hoy se presentan aquí sean la base y puesta al día de todo ello.

11. Referencias bibliográficas

[1] Balaguer, E. e Izard, J. M. (2007) “La red de carreteras actual y su gestión: Los retos del futuro”. Un siglo de Caminos en España. A.T.C. Madrid, pp. 115.

[2] Domingo, A.; Olías, I.; Torroja, J.; Castanedo, F. J. y Oteo, C. (2000). “Metodología y estudio de la reutilización, con tratamiento de cal, de materiales arcillosos clasificables como marginales e inadecuados en la M-45 de Madrid”. Simp. Sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona. Septiembre, pp. 483-96.

[3] Escario, J. L.; Escario, V. y Balaguer, E. (1967) “Caminos”. II Tomo, 5ª Edición. Ed. Dossat, Madrid.

[4] Espinace, R. y Oteo, C. (1983). “In-

fluencia del grado de compactación de rellenos arenosos en su deformabilidad bajo acciones estáticas y cíclicas”. Cuadernos de Investigación. CEDEX, nº 10.

[5] Martínez, E.; Gutiérrez Manjón, J. M. y Santamaría, J. J. (1998). “Variante de Cuéllar: Formación de terraplenes mediante estabilización parcial de suelo con cal”. I Congreso Andaluz de Carreteras, Granada. Tomo II. pp. 1.727-31.

[6] Nardiz, C. (2007) “Desde la reconstrucción de la red hasta la crisis del petróleo”. Un siglo de Caminos en España. A.T.C. Madrid. pp. 67-92.

[7] Oña, J.; López, A.; Oteo, C. y Sopeña, L. (1998). “Estabilización de la ladera de Aguadulce” I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada. Vol. II. pp. 1949-58.

[8] Ortuño, L. y Rodríguez, J. L. (2000). “La estabilización del suelo con cal como mejora de suelos. Estudio realizado en el tramo V de la A-381: Jerez-Los Barrios”. II Andaluz de Carreteras, Cádiz, Vol. II. Pp. 1.309-24.

[9] Oteo, C. (1994). “Reglas generales de proyecto”. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo. Ponencia General. pp. 183-205.

[10] Oteo, C. (2003). “Reflexiones sobre el arte de la estabilización de taludes”. III Congreso Andaluz de Carreteras. Sevilla. Vol. I. pp. 911-23.

[11] Oteo, C. (2007) “Estabilización y refuerzo de materiales marginales” II Jornada sobre Materiales Marginales en Obras Viarias: Sevilla A.T.C., pp.33-68.

[12] Oteo, C. (2009) “De socavones y otras inestabilidades”. Doce Lecciones sobre Geotecnia de infraestructuras lineales del transporte”. A.T.C. Madrid.

[13] Oteo, C.; Sopeña, L. y Burbano, G.

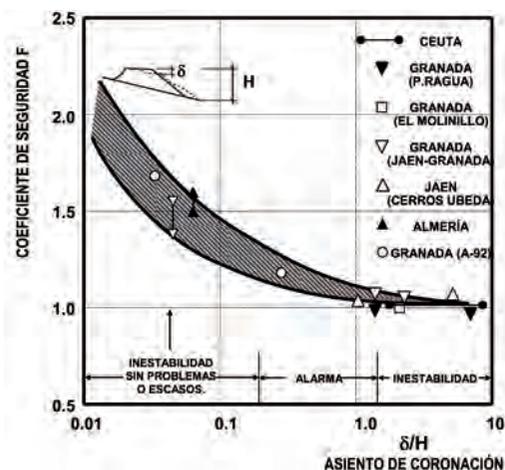


Figura 53. Posible variación entre el coeficiente de seguridad del talud de un terraplén y el asiento postconstructivo

(1998). “Rellenos aligerados con poliestireno expandido (EPS) en la Variante del Puerto de Santa María”. I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada. Vol. II., pp. 1773-1778.

[14] Pardo, F.; Oteo, C.; Sopeña, L. y Miró, C. (1994). “Soluciones geotécnicas para los terraplenes del Parque Tecnológico de Andalucía”. III Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo, pp. 291-8.

[15] Pérez Arenas, R.; Ortín, J. A.; Oteo, C.; Castanedo, F. J. y Montejano, J. C. (2003). “Tratamiento de la Plataforma de la Radial 3 a su paso por una zona con riesgo de existencia de cavidades cársticas por la existencia de sustrato yesífero”. III Congreso Andaluz de Carreteras. Sevilla. Vol. I, pp. 1001-12.

[16] Pérez, F.; Caballero, A. y Ayuso, J. (1998). “Estabilización de suelos con cal: Posibilidades en Andalucía”. I Congreso Andaluz de Carreteras. Tomo II, pp. 1.701- 86.

[17] Sahuquillo, E.; Carretero, I. y Díez, F. (2002). “Empleo de suelos marginales en el Tramo I de la M-45 de Madrid”. Revista RUTAS. (A.T.C.), nº 88, Enero-Febrero. pp. 5-10.

[18] Sánchez Lázaro, T. (2007). “De las calzadas romanas a la aparición del vehículo automóvil” Un siglo de Caminos en España. A.T.C. Madrid, pp. 27-34.

[19] Santamaría, J. y Parrilla, A. (2001). “Principales innovaciones en el PG-3 sobre Geotecnia Vial y Drenaje”. Revista RUTAS. (A.T.C.). nº 84. Mayo-Junio, pp. 15-28.

[20] Soriano, A. (1994) “Características del comportamiento de terraplenes y pedraplenes” III Simposio Nacional de Geotecnia Vial. Vigo. pp. 207-225. ❖



SIC

DISEÑO GRÁFICO REPROGRAFÍA IMPRENTA
EDICIÓN LIBROS Y REVISTAS PUBLICIDAD

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



con el viento de popa y fijado el rumbo

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

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



Sistematización de las vías de una red viaria

Systematisation of a highway network

Comité Técnico de Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano
Asociación Técnica de Carreteras

Resumen

La diversidad de los elementos de una red viaria requiere que se organice de una forma jerarquizada, atendiendo principalmente a las características de su sección transversal y a la separación entre los nudos de la red.

Se pasa revista en este artículo a los criterios de clasificación de los elementos de la red viaria utilizados en distintas circunstancias: funcionalidad económico-administrativa, titularidad administrativa, funcionalidad técnica, morfología de la vía, características del entorno; con especial hincapié en las clasificaciones funcionales o morfológicas.

Se examinan también las relaciones que estas clasificaciones pueden tener con otros aspectos del transporte por carretera: el tipo de desplazamiento, las poblaciones servidas, la capacidad, la limitación de los accesos y el tipo de usuario.

Se analiza la clasificación de las carreteras en la actual normativa técnica española, así como la de otros países, con especial detalle la francesa, la italiana y la británica. Se termina haciendo una propuesta de sistematización de la red viaria, encaminada a disponer de suficiente sitio para la evolución de su desarrollo.

PALABRAS CLAVE: accesibilidad, categoría de carretera, movilidad, vía urbana.

Abstract

The diversity amongst the elements of a highway network requires its hierarchical organization, attending mainly to the cross-section characteristics and to the distance between the network's junctions.

In this article several classification criteria for highway network elements are reviewed: administrative-economical functionality, jurisdiction, technical functionality, highway morphology, and environment. Particular attention is paid to functional and/or morphological classifications.

The possible relationships these classification can have with other features of highway transportation (type of travel, type of towns served, capacity, access management and type of user) are also examined.

The present classification system in Spanish technical standards is reviewed and compared with other countries: mainly France, Italy and the United Kingdom.

A proposal is made for the systematization of the Spanish highway network, with the purpose of having enough room for its future evolution.

KEY WORDS: accessibility, highway category, mobility, urban street.

1. Introducción

La creciente complejidad de nuestra Sociedad se pone también de manifiesto en la diversidad, en cuanto a tipos, del sistema viario que proporciona soporte físico a la **movilidad** terrestre por carretera.

Dicho **sistema** se puede concebir como una red en la que interactúan distintas subredes con funcionalidades diferentes. Están compuestas de **tramos** viarios¹ y **nudos** viarios, donde se pasa de una subred a otra. Esta perspectiva también permite representar la red mediante **grafos** compuestos por nodos y arcos de conexión entre éstos.

La taxonomía aplicada al sistema viario consiste en la organización jerarquizada y sistemática de la red viaria en un determinado entorno. Disponer de una ordenación jerárquica y una clasificación por tipos de los nudos y tramos que constituyen el sistema viario permite aspirar al desarrollo de una gestión eficiente de la red, y al empleo de criterios de diseño consistentes con el nivel asumido de riesgo para cada tipo de tramo o nudo.

Más que en el propio trazado, a menudo fuertemente condicionado por las reservas de suelo de la planificación urbanística, es en la definición de la **sección transversal** donde se precisan las funciones que cumple cada vía y su nivel de articulación con el entorno, además de su capacidad. De ahí que la elección de la sección transversal constituya la principal decisión en el proyecto de sistemas viarios en áreas urbanizadas.

La sección transversal de una vía debe responder, simultáneamente, a dos tipos de solicitudes:

- Por una parte, a las que derivan del entorno en que se ubica, que parecen reclamar una sección variable en función del entorno concreto atravesado.
- Por otra, a las que provienen de su pertenencia a un itinerario, que parecen animar al mantenimiento de una sección homogénea a lo largo de toda su longitud.

Una de las cuestiones íntimamente relacionadas con lo anterior es la de la separación entre nudos contiguos. Así, por ejemplo:

- En una autopista interurbana, al ser

grande la separación entre los enlaces se cumple el objetivo básico de asegurar la movilidad de largo recorrido en un itinerario. La Norma **3.1-IC** "Trazado" establece una distancia mínima de 6 km, y si se acude al criterio relacionado con la distancia entre la última entrada y la siguiente salida, la separación mínima entre los centros de dos enlaces consecutivos resulta² del orden de 2,5 km.

- Aunque esta separación sea adecuada en un entorno claramente interurbano, si el uso del suelo es más intenso³ puede resultar insuficiente el servicio que se prestaría a miles de ciudadanos procedentes de (o dirigidos a) desarrollos colindantes residenciales, comerciales o industriales.
- La solución preconizada por la Norma, de disponer una vía colectora-distribuidora⁴, permite rebajar la separación media entre enlaces a unos 1,2 km, intercalando otro entre los dos anteriores. Es una distancia mucho más razonable para captar el tráfico del entorno. Parece obligado que una autopista nueva que pase junto a zonas urbanizadas o urbanizables tenga siempre previstas esas vías colectoras-distribuidoras para atender a los usuarios de su entorno inmediato. Pero esta solución, que puede servir en las proximidades de núcleos urbanos de tamaño mediano, también se queda corta en las inmediaciones de núcleos grandes.
- Si una autopista (que es una vía diseñada con una alta capacidad de transportar vehículos) tiene que dar servicio a sus márgenes en un entorno con alta densidad de urbanización, que da lugar a un elevado número de habitantes que desean utilizarla, para que puedan acceder a ella en condiciones favorables la separación entre enlaces contiguos no debe ser superior a unos 500 m. En caso contrario, las urbanizaciones colindantes deben prever unas vías de servicio propias que canalicen el tráfico desde y hasta las conexiones con la autopista. Pero no tiene sentido que, al diseñar esta última, se deje esa canalización solamente a la ordenación del territorio colindante. Parece mucho más razonable, desde un punto de vista téc-

nico, que ambas Administraciones (la de carreteras y la urbanística) se coordinen para diseñar esas conexiones de manera que su capacidad sea suficiente y su explotación resulte fluida.

No se trata de fijar de quién es la responsabilidad de hacer las vías de servicio y, eventualmente, calzadas laterales y conectarlas de una forma razonable con la autopista; lo importante es que la conexión entre ésta y la ciudad sea útil, para lo cual ha de estar bien diseñada.

Lo anterior tiene como consecuencia que el espacio reservado a los sistemas viarios en la planificación urbanística debe tener en cuenta desde un principio las no pequeñas necesidades de las vías de servicio, las vías colectoras-distribuidoras y las calzadas principales⁵, amén de las relativas a los nudos viarios y conexiones entre estos elementos.

2. Criterios principales de clasificación

Los criterios para sistematizar un sistema viario pueden ser diversos. En una primera aproximación se pueden distinguir los siguientes criterios básicos:

1. La **funcionalidad económico-administrativa**. Este criterio ha sido el clásico empleado en nuestro país hasta la etapa de modernización de la red, y se basaba en reconocer el importante papel que desempeñaba un nodo concreto (Madrid), generando una red marcadamente radial.

La Instrucción de Carreteras de 11 de agosto de 1939 establecía en su Artículo 1º, referido a la clasificación de carreteras y caminos, lo siguiente:

Se han clasificado (las carreteras)... en tres grandes grupos: Nacionales, Comarcales y Locales.

Figuran entre las primeras las que unen Madrid y las capitales de provincia entre sí y con las costas y fronteras.

Se incluye entre las comarcales la red

¹ Los cuales pueden alcanzar una dimensión capilar para proporcionar **accesibilidad** al territorio.

² Para una velocidad de proyecto de 120 km/h.

³ O va a serlo en un futuro cercano.

⁴ Con una velocidad de proyecto del orden de 90 km/h.

⁵ Y si se va a disponer un sistema de calzadas centrales y laterales, las necesidades de espacio de éstas.

de segundo orden que sirve comarcas importantes por su agricultura, industria o comercio.

Se consideran caminos locales las restantes carreteras y los caminos vecinales.

La posterior Instrucción 3.1-IC de 1964, aunque de un alto nivel técnico, no trató el tema de la jerarquización, manteniendo el esquema anterior. La norma vigente en la actualidad incorpora como criterio básico la morfología de la vía, estableciendo los tipos de autopista, autovía, vía rápida⁶ y carretera convencional, también recogidos en la legislación.

2. La **titularidad administrativa**. Se aprovecha la propia ordenación jerárquica establecida para la organización del Estado. Bajo esta perspectiva actualmente se pueden distinguir vías:

- Estatales: constituyen la Red de Carreteras del Estado⁷, o Red estatal de carreteras.
- Autonómicas: constituyen las diversas redes de las Comunidades Autónomas.
- Provinciales: constituyen las redes de las Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales y Cabildos Insulares.
- Locales: constituyen las redes municipales.
- Restantes: constituido por caminos de servicio de Confederaciones Hidrográficas, caminos rurales, etc.

Se trata de un criterio heredero del anterior y, aunque simple, no resulta muy operativo desde el punto de vista de su diferenciación por parte de los usuarios, encontrando hoy en día dificultades derivadas de:

- El desarrollo competencial de algunas autonomías, que han llegado a asumir la titularidad de la parte de Red de Carreteras del Estado que discurre por su territorio.
- La existencia de tramos de distinta titularidad que concurren en un mismo nudo viario y tienen prácticamente las mismas características técnicas.

En consecuencia, aplicar sólo este criterio de jerarquización no permite establecer una clara diferenciación de los tramos; y en todo caso se debe con-



Sistematización de la red y nomenclatura de los caminos nacionales y comarcales. Plan Peña

siderar como un criterio secundario.

3. La **funcionalidad técnica**. Se trata de un criterio clásico en algunas normativas pioneras en estudiar la jerarquización, como la norteamericana. Tomando como referencia el desplazamiento de los usuarios de la red entre zonas de generación y atracción, se clasifican los tramos recorridos atendiendo a la función que desempeñan para tales desplazamientos.

Subyacentes a este criterio de jerarquización se encuentran dos variables importantes de la Ingeniería de tráfico: la intensidad del tráfico y la velocidad (y por tanto también la accesibilidad⁸). Son estas dos variables las que en el fondo sirven de criterio de jerarquización, puesto que en el itinerario recorrido hacia el destino final (y viceversa), la velocidad y especialmente la intensidad se van graduando en magnitud. Pero además, estas variables son también condicionantes de primera magnitud para el diseño específico de los tramos viarios.

4. La **morfología de la vía**, dada por sus características geométricas básicas.

En este caso se eligen algunas variables de diseño de la vía que resultan importantes: por ejemplo, el número de calzadas, el de carriles, el tipo de nudos viarios, el nivel de accesibilidad al entorno, etc., y se ordenan los tramos en función de los valores que adoptan estas variables.

De igual manera que para el criterio de funcionalidad, si se elige como variable el número de calzadas o carriles, ello significa aceptar el importante papel que desempeña la intensidad del tráfico en la clasificación. Igualmente, si se adopta adicionalmente como variable el nivel de accesibilidad también se reconoce el papel de la velocidad.

Las características técnicas del trazado no suelen indicar la clase de carretera por sí solas, pues un itinerario puede contener tramos con estándares diferentes; pero dichas características pueden formar parte de los criterios secundarios para subdividir las clases.

5. Las características del **entorno**. Es evidente que la presión del entorno sobre la red viaria marca esencialmente las características de ésta.

“Entorno” debe ser entendido en un sentido amplio, incluyendo tanto las condiciones de urbanización de las zonas aledañas a la vía, como las condiciones orográficas o ambientales.

Atender a las condiciones orográficas, por ejemplo a través de la máxima inclinación del terreno natural, implica valorar el relieve del terreno sobre el que se asienta la vía.

Atender a las condiciones de urbanización produce una perspectiva algo vaga e imprecisa, pero fácil de entender. Se pueden distinguir al menos los tres ni-

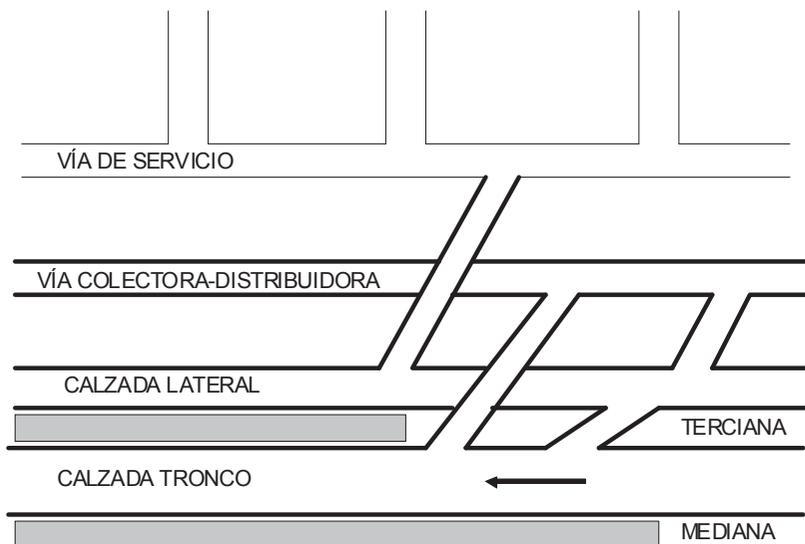


Figura 1

veles siguientes:

- **Urbano:** en primera instancia, lo definen los límites del poblado⁹.
- **Periurbano:** entre los límites del poblado y el campo abierto. Los problemas de accesibilidad se presentan especialmente en este tipo de entorno; pues la elevadas densidades de población hacen que el número de usuarios que desean acceder al sistema viario crezca de forma importante.
- **Interurbano:** sólo en campo abierto.

Donde se pasa de las actividades primarias a las secundarias, terciarias y residenciales, aumenta el tráfico generado y puede aumentar la presión para incrementar la accesibilidad y, en especial, para intercalar nuevos nudos en la red viaria. En las vías urbanas, y en algunas periurbanas, hay unas circunstancias¹⁰ que requieren unas soluciones no asimilables a las de las vías interurbanas, y determinan la posibilidad de establecer un trazado acorde con esas circunstancias. En estos entornos cobra un especial relieve el concepto de sistema viario: la relación sistémica¹¹ entre el tronco, las eventuales calzada lateral o vía colectora-distribuidora, y la vía de servicio debe ser especialmente estudiada (figura 1).

En España, la Red estatal de carreteras es fundamentalmente interurbana; aunque también hay una parte de ella¹² que discurre por entornos periurbanos y aun urbanos, abarcando tipologías de características muy diversas: variantes

de población, rondas, arterias, travesías, vías de penetración, etc. Estos tramos tienen una función directamente relacionada con:

- El mantenimiento de la continuidad de la red interurbana.
- El acceso a puertos y aeropuertos de interés general.
- En algunos casos, la penetración al centro urbano.

3. La clasificación funcional

En su Guía Verde de 2004 (*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*) la **AASHTO** establece una jerarquización de la red basada en los distintos tipos de desplazamientos que se realizan en un itinerario (figura 2). Desde este punto de vista se establecen seis etapas en el itinerario que se recorre desde una vía principal hasta el punto de finalización del viaje:

- Movimiento principal.
- Transición.
- Distribución (o reparto).
- Colectora (o recogida).
- Acceso terminal.
- Terminación.

Este esquema de funcionamiento se materializa en la clasificación de la red recogida en la tabla 1.

A estas tipologías hay que añadir la autopista, que es considerada aparte por tener un diseño específico y hasta cierto punto independiente del entorno.

Cada elemento de la jerarquía funcional puede servir como colector para el siguiente elemento más alto, pero un elemento debe

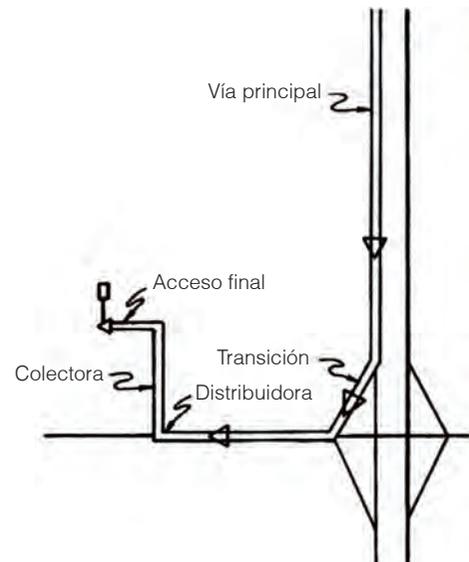


Figura 2

estar presente sólo donde la recogida intermedia sea necesaria para satisfacer los requerimientos de espaciamiento e intensidad de tráfico del siguiente tramo más alto. Mediante la definición del espaciamiento y requerimientos de la intensidad de tráfico de cada tramo siguiente más alto, es posible determinar donde es necesario usar el sistema completo o qué tramos intermedios se pueden omitir.

Esta clasificación reconoce que las vías

Tabla 1

Entorno	Tipo de tramo	
Rústico	Arteria	Principal
		Secundaria
	Vía colectora	Principal
		Secundaria
Vía local		
Urbano	Arteria	Principal
		Secundaria
	Vía colectora	
	Calle	

⁶ Las denominadas "vías rápidas" que contemplaba la Ley 25/88, de 29 de julio, de Carreteras (BOE del 30), en la actualidad han dejado de tener existencia legal, según la Disposición final primera del Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre (BOE del 23 de diciembre), por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

⁷ En un principio, Red de Interés General del Estado (RIGE).

⁸ Es bien sabido que **movilidad** y **accesibilidad** son conceptos antagónicos.

⁹ También se puede utilizar para definirlo los límites del suelo urbano definidos en los instrumentos de planeamiento urbanístico.

¹⁰ Habitualmente de restricción del espacio disponible.

¹¹ A menudo complicada por la presencia de plataformas reservadas p. ej. al transporte colectivo.

¹² Precisamente la que soporta más tráfico.

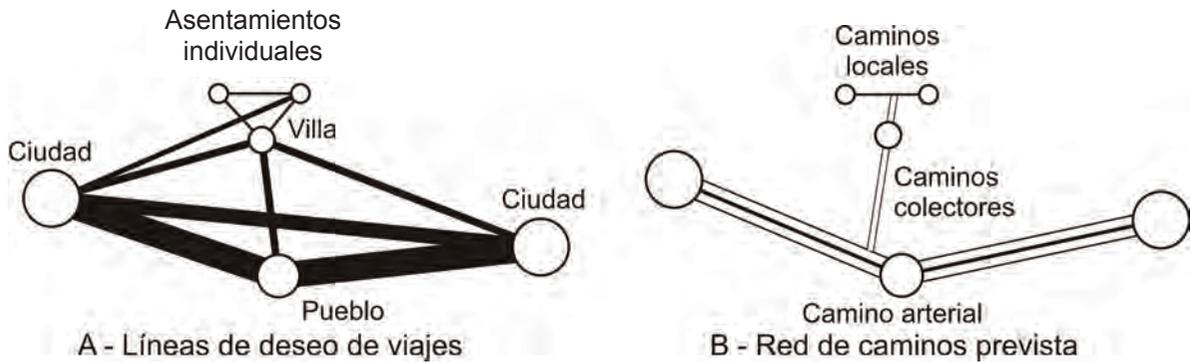


Figura 3

individuales no sirven a los desplazamientos independientemente unas de otras, sino que la mayoría de los desplazamientos tienen lugar a través de una red y se pueden categorizar en relación con ella de una forma lógica y eficiente. De este modo, la clasificación funcional de las vías es también coherente con la categorización de los desplazamientos.

Una ilustración esquemática de esta idea básica se muestra en la *figura 3 A*, donde las líneas de deseo de los desplazamientos son rectas que conectan los círculos que representan sus orígenes y destinos. La anchura relativa de las líneas indica las cantidades relativas de deseos de desplazamiento, y el tamaño relativo de los círculos indica la relativa generación de desplazamientos y el poder de atracción de los lugares mostrados.

Dado que no es práctico dar conexiones de líneas directas para cada línea de deseo, los desplazamientos se deben canalizar sobre una red viaria limitada, según la *figura 3 B*. Los movimientos más cargados son servidos directamente; los más pequeños son canalizados por trayectorias indirectas.

En este esquema también se ve que la jerarquía funcional está relacionada con la jerarquía de distancias de los desplazamientos servidos por la red. Junto a la idea de categorización del tráfico, está el doble papel que la red viaria desempeña en la provisión de

- accesibilidad al territorio, y
- movilidad del desplazamiento.

La accesibilidad es un requerimiento casi fijo de la zona, pero la movilidad varía con el nivel del servicio. La movilidad puede incorporar varios elementos cualitativos, tales como la comodidad del desplazamiento

y la constancia de la velocidad, pero el factor básico es el tiempo de desplazamiento.

La jerarquía de las distancias de desplazamiento se puede relacionar lógicamente con su organización funcional, al reunir los requerimientos de acceso a la propiedad y la movilidad de viaje:

- Las vías locales interurbanas ponen énfasis en la función de accesibilidad.
- Las vías para desplazamientos principales o de distribución ponen énfasis en un alto nivel de movilidad para los desplazamientos directos.
- Las vías colectoras ofrecen aproximadamente un servicio equilibrado para ambas funciones, como se ilustra conceptualmente en la *figura 4*.

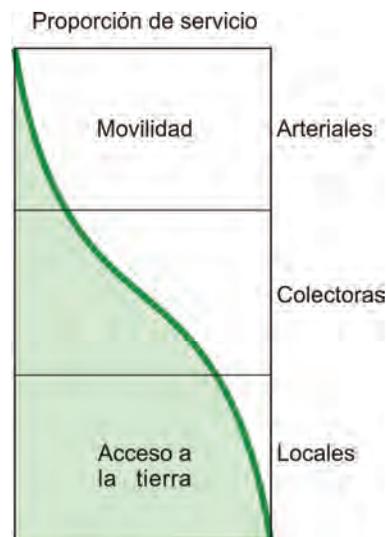


Figura 4

El conflicto entre servir a un desplazamiento y dar acceso a un disperso patrón de orígenes y destinos requiere diferencias y gradaciones en los tipos funcionales. En las vías principales es necesaria una limitación regulada del acceso (parcial o total), para

realzar su función primaria de movilidad en el proyecto. Inversamente, la función primaria de las vías locales es dar acceso (lo cual causa una limitación de la movilidad). Así, la extensión y grado de la limitación de los accesos es un factor significativo en la definición de la categoría funcional de una vía.

4. Las clasificaciones morfológicas

En un trabajo pionero, Mariano Gullón propuso en 1997 una clasificación morfológica atendiendo sólo a cuatro características básicas:

- Existencia o no de calzadas separadas para cada sentido de circulación, designando por (A) el caso de existencia.
 - Tipología de los nudos, designando por (B) el caso de sólo enlaces.
 - Grado de control de los accesos directos, designando por (C) su limitación total.
 - El tipo de vehículo admitido, designando por (D) si el tráfico es exclusivamente de vehículos automóviles.
- Con ellos se puede establecer la *tabla 2*, que recoge las 16 morfologías posibles. Además, habría que incluir aparte:
- Las vías colectoras-distribuidoras y las de servicio.
 - Los caminos de servicio y similares que, aunque no tengan consideración de carreteras, sigan siendo vías públicas.

Hasta cierto punto, este planteamiento coincide con la visión que se recoge en la legislación y normativa española. Presenta igualmente el problema de que, bajo la designación de carretera convencional, se incluyen tramos de muy diferentes características.

5. Otros criterios de clasificación

5.1. Generalidades

Hay que señalar que no siempre se trata de criterios independientes: por ejemplo, se pueden encontrar fuertes relaciones entre la capacidad y la accesibilidad. No obstante, estos otros criterios son necesarios, puesto que un tramo asignado a una determinada categoría puede funcionar con capacidades y niveles de accesibilidad muy diversos.

Se podría incluir también explícitamente como variable la velocidad; pero al incluir ya la accesibilidad, resultaría redundante. Por otro lado, se puede considerar que se trata de una variable de salida (resultado), admitiendo la hipótesis de que serán finalmente los usuarios quienes la elijan¹³ para una determinada tipología del tramo.

5.2. Tipo de desplazamiento

El tipo predominante de desplazamiento al que se da soporte puede ser:

- Largo recorrido (extrarregional).
- Medio recorrido (intrarregional).
- Corto recorrido (local).

En un mismo tramo pueden coexistir todos ellos en distinta proporción, aunque uno sea predominante.

5.3. Relación con las poblaciones

Es necesario tener presente que la jerarquización funcional no sólo se debe basar en el recorrido por un itinerario que discurre de forma continua desde vías principales a su destino final; puede ser necesario que, para alcanzar ese destino, se tengan que atravesar poblaciones por su entorno periurbano o, incluso, por una zona puramente urbana. Por ello es necesario enriquecer el esquema con nuevas categorías que incluyan tramos que den servicio a ese tipo de desplazamientos.

- En el puro entorno urbano, además de las vías que forman parte de su **red arterial**²⁵, podemos tener **avenidas**²⁶, **paseos**²⁷, **alamedas**²⁸, **bulevares**²⁹ y **calles**³⁰.
- Los conceptos de **variante**³¹ de pobla-

ción³², **circunvalación**³³ y **ronda**³⁴ en el fondo constituyen una funcionalidad adicional de un tramo viario, condicionado respectivamente por su entorno interurbano, periurbano o urbano. También es cierto que el paso del tiempo puede desplazar estas zonas, cambiando su consideración inicial.

- Pero no sólo son identificables estos tipos de desplazamiento, que rodean a una población. También es necesario realizar desplazamientos hacia o desde el interior de ésta, que deben ser re-

suelto mediante **travesías**³⁵ o **vías de penetración**³⁶.

Una infraestructura básica de una población, como es una autopista o autovía urbana o periurbana, es un **sistema general** y debe ser incluida en su planeamiento urbanístico. Por lo tanto, el suelo necesario para ella³⁷ debe ser aportado dentro de las previsiones globales de dicho planeamiento: no tiene sentido expropiarlo (y pagarlo). Otra cosa es su construcción y puesta en servicio, la cual puede ser escalonada en el tiempo; en este caso, conviene empezar

Tabla 2

Calzada	Tipo de nudo	Limitación de accesos			
		Total (C)		Parcial	
		Reservada para automóviles			
		Sí (D)	No	Sí (D)	No
Separadas (A)	Sólo enlaces (B)	autopista ¹⁴	(ABC) ¹⁵	(ABD)	autovía ¹⁶
	Hay intersecciones	(ACD) ¹⁷	(AC)	(AD)	(A) ¹⁸
Única	Sólo enlaces (B)	(BCD) ¹⁹	(BC)	(BD)	(B)
	Con intersecciones	carretera para automóviles ²⁰	(C) ²¹	(D) ²²	carretera convencional ²³ / (2 + 1) ²⁴

¹³ Evidentemente, bajo un principio de consistencia, se buscará que las velocidades de diseño y señalización de dichos tramos coincidan con las operativas.

¹⁴ Según las definiciones de [1] (art. 1.j), [2] (art. 1.h), [3] (Anexo, 61) y [5] (art. 2.3).

¹⁵ Autovía con limitación total de accesos.

¹⁶ Carretera que, no reuniendo todos los requisitos de autopista, tiene calzadas separadas para cada sentido de circulación y limitación de accesos a propiedades colindantes. No cruza a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni es cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna. [5] (anexo 62).

¹⁷ Carretera para automóviles con calzadas separadas.

¹⁸ "Autovía" (vía pública que no es autopista, pero tiene características análogas, en especial calzadas separadas para cada sentido de circulación, pero con limitación parcial de accesos o con pérdida de alguna otra característica). [3] (art. 5.v).

Carretera que, no reuniendo todos los requisitos de una autopista, tiene calzadas separadas para cada sentido de la circulación y limitación de accesos a las propiedades colindantes. [5] (art. 2.4).

Carretera multicarril [4, (apéndice A, Glosario)] con calzadas separadas.

¹⁹ Carretera para automóviles sin cruces a nivel.

²⁰ Vía distinta de una autopista, reservada a la circulación de automóviles y sin acceso a las propiedades colindantes. [1] (anexo 5.F.5).

"Vía para automóviles" ("toda vía, distinta de autopista, reservada exclusivamente a la circulación de automóviles, sin acceso a las propiedades colindantes y señalizada como tal") [3] (art. 5.w).

²¹ "Vía rápida" ("Carretera de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes"). [3] (Anexo, 63) y [5] (art. 2.5).

²² "Una placa adicional colocada debajo de la señal E-17 ("carretera para automóviles") podrá indicar que por excepción, se autoriza el acceso de los automóviles a las propiedades colindantes." [2] (anexo 5.F.5).

²³ Según las definiciones de [3] (Anexo, 64) y [5] (art. 2.7).

²⁴ Carretera (convencional) de 3 carriles (2 en un sentido y 1 en el contrario).

²⁵ En una población o grupo de poblaciones, conjunto de tramos de carreteras actuales o futuros que establezcan de forma integrada la continuidad y conexión de los distintos itinerarios, o presten el debido acceso a los núcleos de población afectados. (RGC).

²⁶ Vía ancha, a veces con árboles a los lados (DRAE).

²⁷ Lugar o sitio público para pasearse (ir andando, a caballo, en un carruaje, etc. por distracción o por ejercicio (DRAE).

²⁸ Paseo con álamos (o con árboles de cualquier clase) (DRAE).

²⁹ Calle generalmente ancha y con árboles (DRAE).

³⁰ En una población, vía entre edificios o solares (DRAE).

³¹ Desviación provisional o definitiva de un trecho de una carretera o camino (DRAE).

³² Obra de modernización de una carretera que afecta a su trazado, y como consecuencia de la cual se evita o sustituye una travesía o tramo urbano. (RGC). Las variantes de población no la rodean completamente, sino que tienden a alejarse del casco urbano.

³³ Vía de tránsito rodado que circunda un núcleo urbano al que se puede acceder por diferentes entradas (DRAE). El casco urbano a menudo tiene partes exteriores a la circunvalación.

³⁴ Cada uno de los paseos o calles cuyo conjunto circunda una ciudad o la parte antigua de ella (DRAE).

³⁵ Parte de un tramo urbano en la que existan edificaciones consolidadas al menos en las dos terceras partes de su longitud, y un entramado de calles con ella al menos en uno de sus márgenes. (RGC).

³⁶ A diferencia de las travesías, que atraviesan el casco urbano, las vías de penetración tienen su origen (o final) en la zona central de éste, y generalmente tienen una orientación radial. Son propias de poblaciones grandes.

³⁷ Y para las vías de servicio y las eventuales calzadas laterales o vías colectoras-distribuidoras.



Sistema de calzadas centrales y laterales: la M-30 de Madrid

por las calzadas más exteriores, resolviendo primero los problemas de corto recorrido y terminando por los más largos.

5.4. Capacidad

Las necesidades de capacidad de la sección transversal dan origen a varias configuraciones viarias:

- Vías de **calzada única** de doble sentido de circulación:
 - De dos carriles. Es la disposición normal y más frecuente.
 - De más de un carril, al menos para uno de los sentidos (multicarril). Si se trata de un carril adicionado a los dos normales, el tratamiento suele ser localizado (rampas, etc.).
- Vías con **dos calzadas separadas** (una para cada sentido de circulación). Todas las autopistas y autovías lo son; pero también responden a este tipo algunas carreteras convencionales. Pueden ser:
 - De dos carriles cada una.
 - De más de dos carriles, al menos una de ellas.
- Vías con **calzadas separadas, con más de dos calzadas** al menos para uno de los sentidos. Si la demanda del tráfico necesita más de cuatro carriles por sentido hay que disponer dos calzadas separadas para cada sentido de circulación³⁸, formando un **sistema de calzadas centrales y laterales**, las cuales se conectan entre sí en algu-

nos puntos mediante unos ramales de transferencia. Las calzadas centrales sirven al tráfico de recorrido más largo; mientras que las calzadas laterales, además de servir a los tráficos de recorrido más corto, conectan con las vías transversales mediante enlaces³⁹. Excepcionalmente, en algunos enlaces se pueden conectar directamente también las calzadas centrales con una vía transversal, sobre todo si ésta es importante: de esta manera se reducen los movimientos de trenzado en las calzadas laterales.

En las calzadas centrales de una autopista periurbana puede ser razonable que la separación entre conexiones contiguas sea análoga a la correspondiente a una autopista interurbana; mientras que en las calzadas laterales se puede reducir a la mitad.

Las calzadas laterales no son vías colectoras-distribuidoras, puesto que además de las conexiones inicial y final, tienen otras conexiones con las calzadas centrales. Tampoco son vías de servicio y, por lo tanto, no pueden dar acceso directo a las propiedades colindantes.

Además, la capacidad puede ser complementada con elementos accesorios como son:

- Las **vías colectoras-distribuidoras**⁴⁰, con las cuales conectan los ramales de uno o varios enlaces consecutivos que, consiguientemente, no conectan directamente con el tronco⁴¹. Tienen un principio y un final que, según la impor-

tancia relativa de los tráficos, deberán ser tratados respectivamente como una salida y una entrada, o como una bifurcación y una confluencia.

No pueden dar acceso directo a las propiedades colindantes. Y según la normativa española⁴², tampoco se pueden conectar vías de servicio (aunque sí ramales de enlace). Este planteamiento no tiene mucha lógica desde un punto de vista técnico: si las vías de servicio de una autopista han atraído hacia ella el tráfico del entorno, éste debe ser canalizado hacia el tronco cuanto antes. Además, la distinción entre vías de servicio y ramales no resulta aparente a los usuarios. Sería, en cambio, razonable que las vías de servicio conectaran con las colectoras-distribuidoras a intervalos de unos 1 000 m como máximo.

Las **vías de servicio**⁴³ reguladas por la Norma **3.1-IC** y, además, por la Orden ministerial de 16 de diciembre de 1997⁴⁴. Las vías de servicio tienen como misión fundamental dotar de accesos directos a las propiedades colindantes, procurando unificar los adyacentes; aunque en ellas también se admite la presencia de intersecciones o glorietas que mejoren las condiciones de circulación, sobre todo en correspondencia con centros que generen o atraigan tráficos importantes.

En los casos en los que una vía de servicio existente tenga también como función servir como ramal de enlace o intersección, se considerará que prevalece esta segunda función⁴⁵ en los tramos de la vía cercanos a sus conexiones con otras vías, en una distancia que será la de visibilidad de parada para la velocidad correspondiente y como mínimo de 60 m, contados a partir del final del carril de deceleración o, en su caso, antes del comienzo del carril de aceleración. Idénticas limitaciones son de aplicación a los tramos de vías de servicio cercanos a sus conexiones con la calzada principal.

5.5. Limitación de los accesos

El grado de **accesibilidad** al territorio que se consigue puede ser variado:

- a) Sin acceso directo⁴⁶ a las propiedades

colindantes (**limitación total**, como en las autopistas). El acceso se realiza de forma indirecta, mediante vías de servicio que sólo conectan en los enlaces⁴⁷. Éstos se complican al aumentar el número de sus patas, pues no se pueden conectar las vías de servicio a los ramales⁴⁸.

b) Con acceso limitado a las propiedades colindantes (**limitación parcial**, como en las autovías). El acceso también se realiza de forma indirecta mediante vías de servicio, pero éstas pueden conectar directamente con el tronco de la autovía, siempre que no haya otra alternativa y se respeten unas ciertas distancias a las conexiones contiguas⁴⁹. Esto se hace para anticipar, aunque sea parcialmente, la corrección de situaciones existentes en las que resulte posible mejorar la seguridad mediante la construcción de vías de servicio que sirvan para reducir el número de conexiones con el tronco, o para adaptar a la normativa conexiones existentes; y siempre que la construcción de la vía de servicio sin conexiones con el tronco entre los enlaces no sea una alternativa viable por su coste desproporcionado⁵⁰. En el caso de instalaciones de suministro de combustible existentes⁵¹ que tengan accesos asimilables a los directos, se podrán admitir sucesivas salidas del tronco, anteriores a dichas instalaciones, desde la autovía a las vías de servicio. En todo caso, se proyectará el mínimo número de conexiones compatible con la función de las vías de servicio; y las excepciones que se autoricen no tendrán carácter definitivo, quedando pendientes de futuras reordenaciones en las que se pueda terminar de corregir la situación y ajustarla a la regla general.

c) Con accesos directos autorizados, como ocurre en las vías de servicio y en la mayoría de las carreteras convencionales.

Fuera de poblado, una vía de servicio o de acceso a una población pequeña normalmente pueden conectar con el tronco. Los problemas se presentan en las inmediaciones de los núcleos urbanos grandes, en los que el tronco puede incluso llegar a formar parte de la propia red urbana.

5.6. Tipo de usuario

En las vías interurbanas resulta importante la proporción de vehículos pesados:

- Menos de un 5 %.
- Entre un 5 y un 15 %.
- Más de un 15 %.

En las vías urbanas (y en muchas carreteras convencionales interurbanas), hay que contar con la presencia de autobuses que requieren una parada y, sobre todo, de usuarios vulnerables: peatones, vehículos de dos ruedas, etc.

6. La clasificación en la normativa técnica española

Los criterios de clasificación de las carreteras contenidos en la vigente Instrucción de Carreteras, Norma **3.1-IC** "Trazado", son los siguientes:

A. Definición legal a partir de la Ley **25/1988** de Carreteras (**BOE** del 30)⁵², que establece los siguientes casos:

- Autopistas.
- Autovías.
- Vías rápidas⁵³.
- Carreteras convencionales.

B. Número de calzadas:

³⁸ Art. 7.2 de la Norma **3.1-IC** "Trazado".

³⁹ También pueden conectar mediante intersecciones (que no sean glorietas) con vías transversales que no crucen el sistema de calzadas centrales y laterales: sólo hay giros a la derecha.

⁴⁰ Calzada con sentido único de circulación, sensiblemente paralela al tronco de una carretera y contigua a él, aunque separada físicamente, cuyo objeto es independizar de dicho tronco las zonas de conflicto que se originan entre conexiones consecutivas muy próximas. En ningún caso sirve a las propiedades o edificios colindantes. (**3.1-IC** modif.).

⁴¹ Aunque, en el caso de un sistema de calzadas centrales y laterales, la vía colectora-distribuidora no conecte directamente con las centrales sino con las laterales.

⁴² Orden ministerial de 16 de diciembre de 1997, modificada por las siguientes: O.M. de 13 de septiembre de 2001, **FOM/392/2006** de 14 de febrero, y **FOM/1740/2006** de 24 de mayo.

⁴³ Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ella solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos (**RGC**). Puede tener sentido de circulación único o doble (**3.1-IC**). Por sus características, las vías de servicio son elementos funcionales de la carretera y, como tales, podrán tener acceso directo a las autovías. No tienen la consideración de carreteras; si bien puede haber otras carreteras que hagan la función de la vía de servicio, en cuyo caso prevalecerá la condición de carretera sobre la de vía de servicio (**O.M.** 16/12/1997).

⁴⁴ Modificada por las siguientes: O.M. de 13 de septiembre de 2001, **FOM/392/2006** de 14 de febrero, y **FOM/1740/2006** de 24 de mayo.

⁴⁵ Y por lo tanto, no se admitirán accesos directos.

⁴⁶ Acceso a una carretera en el que la incorporación de los vehículos a la calzada o desde ella se produce sin utilizar las conexiones de otras vías públicas con la carretera. (**3.1-IC**)

⁴⁷ No se conectará la vía de servicio en los ramales de enlace, debiendo integrarla como una pata más de las que acceden al enlace.

⁴⁸ Aunque sí otros ramales, por bifurcación o confluencia.

⁴⁹ Los usuarios no distinguen por qué en una autovía puede haber conexiones de vías de servicio con el tronco, y no en una autopista: suelen ser incapaces de distinguir entre ambas clases de carretera.

⁵⁰ Por ejemplo, originado por la necesidad de salvar accidentes físicos importantes o de expropiaciones muy costosas.

⁵¹ A las que se concede una especial consideración por su relación directa con el uso de la autovía por los vehículos.

⁵² Y por el Real Decreto Legislativo **339/1990**, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobada por Real Decreto Legislativo **339/1990**, de 2 de marzo.

⁵³ Las denominadas "vías rápidas" que contemplaba la Ley **25/88**, de 29 de julio, de Carreteras (**BOE** del 30), en la actualidad han dejado de tener existencia legal, según la Disposición final primera del Real Decreto **1428/2003**, de 21 de noviembre (**BOE** del 23 de diciembre), por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobada por Real Decreto Legislativo **339/1990**, de 2 de marzo.

- Carreteras con calzadas separadas.
 - Carreteras de calzada única.
- C. Grado de control de los accesos:
- Sin accesos directos a propiedades colindantes.
 - Con limitación de accesos directos a propiedades colindantes.
 - Con accesos directos autorizados.
- D. Según las condiciones orográficas:

Tabla 3

Tipo de relieve	Máxima inclinación media (%)
Llano	≤ 5
Ondulado	5 a 15
Accidentado	15 a 25
Muy accidentado	> 25

E. Según las condiciones del entorno urbanístico:

- Tramos urbanos: los que discurren en su totalidad por suelo clasificado como urbano por el correspondiente instrumento de planeamiento urbanístico.
- Tramos interurbanos: los no incluidos en el apartado anterior.

Pese a esta exposición, finalmente el único criterio que se considera a efectos de designar las carreteras es el legal, en

Tabla 4

Autopista	AP-120	AP-100	AP-80		
Autovía	AV-120	AP-100	AV-80		
Vía rápida⁵⁴		R-100	R-80		
Carretera convencional		C-100	C-80	C-60	C-40

Tabla 5

Tipo de carretera	R (Carretera multifuncional)		T (De paso)	L (De conexión)
	Carretera	Arteria interurbana	Carretera express ⁵⁶	Autopista
Calzadas	Única	Separadas	Única ⁵⁷	Separadas
Nudos	Intersecciones, incluso glorietas	Glorietas o intersecciones sin cruces de mediana	Enlaces	
Accesos	Depende del caso	Si hay accesos, no cruzan la mediana	Sin accesos directos	
Limitación de velocidad fuera de poblado	90 km/h	110 ó 90 km/h	90 km/h	130 ó 110 km/h
Cruce de poblado	Sí, eventualmente		No	
Empleo (orientativo)	Vías principales en medio rural, conexiones a corta/media distancia. Tiene en cuenta los usos del entorno		Vía aislada de su entorno, conexiones a media/gran distancia	
Tráfico	Medio	Alto	Medio	Alto

Tabla 6

IMD (veh.)	Tráfico de paso > 30%	Tráfico de paso < 30%
> 12 000	Autopistas Calzadas separadas Sólo enlaces Sin accesos directos Ciertos usuarios prohibidos	Arterias urbanas Calzada única Intersecciones, glorietas separadas < 5 km Con accesos directos
< 12 000	Carreteras "express" Calzada única Sólo enlaces Sin accesos directos Ciertos usuarios prohibidos	Carreteras Calzada única Intersecciones Con accesos directos

Tabla 7

Red	Carreteras que corresponden	Tráfico de paso < 30%
	Entorno interurbano	Entorno urbano
PRIMARIA (de tránsito, largo desplazamiento)	Autopistas interurbanas Carreteras interurbanas principales	Autopistas urbanas Vías urbanas de tránsito
PRINCIPAL (distribución)	Carreteras interurbanas principales	Vías urbanas de tránsito
SECUNDARIA (de penetración)	Carreteras interurbanas secundarias	Vías urbanas de barrio
LOCAL (de acceso)	Carreteras interurbanas locales	Vías urbanas locales

conjunción con la "velocidad de proyecto" en km/h. Sólo se consideran los casos contemplados en la *tabla 4*.

La vía rápida no se considera una solución viable actualmente, por lo que realmente sólo se dispone de tres alternativas para cubrir un amplio espectro de funcionalidades: autopista, autovía y carretera convencional.

7. Comparación con otros países

Una comparación de los sistemas de clasificación entre diversos países muestra que el número de clases de carretera varía considerablemente de uno a otro, y que las clases resultantes también difieren en gran manera; aunque en todos ellos la clasificación

ción tenga como objetivo un sistema **jerarquizado**. Dicho esto, la clasificación parece ser, en gran medida, un rasgo de la carretera más bien administrativo.

En relación con los tipos teóricos de carretera descritos se pueden observar los siguientes detalles:

- Los Países Bajos y Suecia no consideran, en su normativa, carreteras interurbanas con calzadas separadas que no sean autopistas.
- En Alemania, Francia, Noruega y Suiza no se construyen normalmente carreteras interurbanas con calzadas separadas que no sean autopistas.
- En Finlandia y Suecia se contempla en la clasificación un tipo de carretera de calzada única y que satisface todas demás características de una autopista. En España ha habido también carreteras de esta clase, las denominadas "vías rápidas"⁵⁴.

7.1. Normativa francesa

La instrucción sobre las condiciones técnicas de las carreteras principales (*Aménagement des Routes Principales, ARP*) de 1994 del **SETRA**, define tres tipos principales de carreteras interurbanas: las de tipo **L**, **T** y **R**, con las características recogidas en la *tabla 5*.

Por otra parte, aunque se trata de una referencia más antigua, la Circular del 9 de diciembre de 1991 define los mismos tipos en función de la **IMD** y de si el tráfico de paso supera o no el 30%⁵⁵ (*tabla 6*).

7.2. Normativa italiana

La Instrucción italiana de 2001 (*Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade*) identifica algunos factores fundamentales que caracterizan las redes viarias desde un punto de vista funcional, como:

- El tipo de desplazamiento al que sirven (tránsito, distribución, penetración o acceso); el desplazamiento se debe entender también en el sentido opuesto, o sea, de recogida progresiva a varios niveles.
- Magnitud del desplazamiento (distancia media recorrida por los vehículos).
- Función asumida en el contexto terri-

Tabla 8

Red	Movimiento servido	Distancia del desplazamiento	Función en el territorio		Composición del tráfico
			Interurbano	Urbano	
PRIMARIA (a)	Tránsito	Larga	Nacional e interregional	Zona urbana entera	Limitada
PRINCIPAL (b)	Distribución desde la red primaria a la secundaria y, en su caso, a la local.	Media	Interregional y regional	Entre barrios	Limitada
SECUNDARIA (c)	Penetración hacia la red local	Reducida	Provincial y entre poblaciones	De barrio	Todos los componentes
LOCAL (d)	Acceso	Corta	Entre poblaciones y municipal	Dentro del barrio	Todos los componentes

Tabla 10

Función	Tipo de carretera			
	Primaria	Principal	Secundaria	Local
Tránsito	•	o		
Distribución	o	•	o	
Penetración		o	•	o
Acceso			o	•

- Función principal propia
- o Función principal de la clase contigua



Figura 5

torial atravesado (conexión nacional, regional, provincial o local).

- Composición del tráfico y categorías que comprende: coches, pesados, motos, peatones, etc.).

Atendiendo a estos factores establece la clasificación recogida en la *tabla 7*.

Cada red vendría caracterizada conforme al contenido de la *tabla 8*.

A los cuatro niveles funcionales citados para las redes hay que añadir, además, el

nivel terminal, que se identifica con las estructuras dispuestas para los vehículos detenidos, limitadas también a unas pocas unidades superficiales. Ese nivel queda caracterizado por la *tabla 9*.

La norma indica que, una vez identificada la clase funcional de cada una de las redes viarias que forman el sistema global, es posible identificar los elementos que la componen (es decir, los tramos de carretera), y definir para ellos las características más idóneas de uso y de colocación.

En teoría, la función principal asignada a una carretera concreta debería coincidir con la propia de la red a la que pertenece. En la realidad, sólo se puede alcanzar una coherencia funcional entre la red y el elemento viario. A tal fin puede resultar útil definir, para un tramo

viario concreto, una función principal y, en su caso, unas funciones secundarias que, para garantizar un buen funcionamiento de la red, se deben corresponder con las funciones principales de las clases funcionales contiguas a la propia del elemento estudiado, según el esquema que figura en la *tabla 10*.

De ello se deduce que, para un buen funcionamiento del sistema global, se necesita una atribución exacta de funciones a

Tabla 9

Nivel terminal	
Movimiento servido	Estacionamiento
Magnitud del desplazamiento	Nulo
Función en el territorio	Local
Composición del tráfico	Todos los componentes, salvo limitaciones específicas

cada una de las redes, y una identificación concreta de las funciones principal y secundaria para sus tramos; de esta manera se puede evitar que un elemento viario concreto pertenezca simultáneamente a redes de clases diferentes.

En un sistema global existente es posible que falte algún nivel funcional; esto resulta aceptable siempre que se respete la ordenación jerárquica de los movimientos entre los elementos viarios jerárquicamente más cercanos.

Además, para asegurar el funcionamiento del sistema global, hay que añadir los **nudos viarios**. Éstos, si son homogéneos, conectan carreteras de la misma red; mientras que si no lo son, generalmente conectan carreteras que pertenecen a redes de niveles funcionales contiguos.

Se distinguen las siguientes clases:

- Nudo primario: (en la red primaria, y entre ésta y la principal).
- Nudo principal: (en la red principal, y entre ésta y la secundaria).
- Nudo secundario: (en la red secundaria, y entre ésta y la local).
- Nudo local: (en la red local).

Estos nudos tienen distintas características técnicas, según la clase funcional a la que pertenezcan. Además, se presentan en las redes en número creciente al disminuir su jerarquía.

La *figura 5* recoge un esquema de los cuatro niveles de red descritos en la norma.

⁵⁴ Las denominadas "vías rápidas" que contemplaba la Ley 25/88, de 29 de julio, de Carreteras (BOE del 30), en la actualidad han dejado de tener existencia legal, según la Disposición final primera del Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre (BOE del 23 de diciembre), por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobada por Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

⁵⁵ Ambas condiciones en el año de puesta en servicio, que se establece a los 15 años.

⁵⁶ De una calzada, semejante a nuestra vía rápida, e igualmente fuera de uso en la actualidad.

⁵⁷ Con dos o tres carriles.

Tabla 11

Categoría	Tipo	Tratamiento de márgenes	Accesos	Vías secundarias	Nudos principales
1	Calzada normal (7,3 m) S2	Bordillos y aceras. Pasos para peatones	Restricciones para evitar la parada de vehículos y la concentración de movimientos de giro	Isletas tipo lágrima	
2	S2	Arcén de 1 m en situación normal	Como 1		Lágrima para rango más bajo de tráfico; en otro caso separación de sentidos o glorietas
3A		Arcén de 1 m. Uso peatonal reducido al mínimo	Como 1 , y prohibición de parada en el rango más alto de tráfico	Isletas o separación de sentidos	Separación de sentidos o glorietas
3B	Calzada ancha (10 m) WS2⁵⁸	Como 3A			
4		Como 3A	Como 1 . Prohibición de parada	Separación de sentidos o glorietas. Algunos accesos cerrados. A veces enlaces en el rango más alto de tráfico	Glorietas
5		Bordillos y aceras, o arcén de 1 m		Cruces prioritarios. Sin cruces de mediana	Glorietas. Enlaces si están económicamente justificados
6	Calzadas separadas multiuso de dos carriles (7,3 m) D2AP	Una franja de 1 m pavimentada	Severa restricción de accesos. Prohibición de parada	Sin cruces secundarios a nivel. Sin huecos en la mediana	Glorietas en el rango más bajo de tráfico. En otro caso, enlaces
7A		Como 6	Sin accesos excepto los aislados ya existentes únicamente con giros a la derecha. Prohibición de parada	Como 6	Enlaces
7B	Autopista de dos carriles D2M	Criterios de diseño de autopista	Regulación de autopista	Ninguno	Criterios de diseño de autopista
7C	Calzadas separadas multiuso de tres carriles (11 m) D3AP	Como 6	Como 7A	Como 6	Como 7A
8A	D2M	Como 7B			Como 7B
8B	D3AP	Como 6	Como 7A	Como 6	Como 7B
9	Autopista de tres carriles D3M	Como 7B			
10	Autopista de cuatro carriles D4M	Como 7B La categoría 10 requiere autorización del Departamento de Supervisión		Como 7B	

7.3. Normativa británica

El Manual de diseño de carreteras y puentes (*Design Manual for Roads and Bridges*), en su volumen 6 "Trazado" (*Road Geometry*), Sección 1 "Tramos" (*Links*), Capítulo 6 "Introducción al diseño coordinado de tramos" (*Introduction to Coordinated Link Design*) incorpora para carreteras interurbanas la clasificación y recomendaciones de diseño que figuran en la *tabla 11*.

También se reconoce que la clasificación de las carreteras urbanas resulta más difícil de establecer, debido a sus condicionantes específicos.

⁵⁸ Se requiere autorización del Departamento de Supervisión para crear tramos de más de 2 km de esta categoría.

8. Propuesta

En zonas interurbanas de pequeña densidad de población, una vía de servicio o, incluso, el acceso a un núcleo de población no muy grande, puede normalmente conectar con el tronco de la vía principal sin demasiados problemas, ni necesidad de vías colectoras-distribuidoras.

Sin embargo, de lo expuesto en los apartados anteriores no se deduce que la normativa para vías interurbanas sea aplicable en toda su literalidad a las situadas en entornos urbanos o periurbanos; sino que debe ser adaptada a las circunstancias propias de dichos entornos, con el objetivo de aprovechar al máximo la capacidad de la vía.

Las previsiones del tráfico en las que se

basa el diseño de una vía en este tipo de entornos y, especialmente, las necesidades de espacio de su sección transversal, no sólo han de ser realistas sino también generosas, especialmente en lo relativo al desarrollo urbanístico de los terrenos colindantes. Las congestiones habituales en gran número de las vías ya construidas de este tipo avalan estas precauciones a la hora de su planeamiento.

Así, por ejemplo, si de la prognosis del tráfico se dedujera la necesidad de contar, en un futuro, con un sistema de calzadas centrales y laterales:

- Debe preverse el espacio necesario para alojar las calzadas laterales y los ramales de conexión.
- Podría ser razonable que la separación

Tabla 11

	Jerarquización	Tipo de desplazamiento	Capacidad (Ejemplos)	Accesibilidad	Usuarios	Entorno	
Vía principal	Autopista	Largo	2(2+2) ó 2(3+3)	Limitación total (LT)		Interurbano	
	Autovía	Largo/Medio	2(2+2)	Limitación parcial (LP)		Interurbano	
	Carretera convencional (interurbana)	Largo/Medio	1(1+1)	Accesos directos (AD)		Interurbano	
	Carretera de contorno	Variante	Largo/Medio	2(2+2) ó 1(1+1)	LT ó LP		Periurbano
		Circunvalación	Largo/Medio	2(2+2) ó 1(1+1)	LT ó LP		Periurbano
		Ronda	Medio/Corto	2(2+2) ó 1(2+2)	AD		Urbano
	Carretera de acceso	Vía de penetración	Medio/Corto	2(2+2) ó 1(2+2)	LP ó AD		Periurbano
		Travesía	Medio/Corto	1(1+1)	AD		Urbano
	Arteria urbana	Corto	2(2+2) ó 1(2+2)	AD		Urbano	
Avenida/Paseo/Alameda/Bulevar	Corto	2(2+2) ó 1(2+2)	AD		Urbano		
Calle	Corto	1(1+1)	AD		Urbano		
Vía auxiliar	Vía colectora-distribuidora	Corto	1(1)	LT		Periurbano/Urbano	
	Vía/calzada lateral	Corto	1(2)	LP		Urbano	
	Vía de servicio	Corto	1(1) ó 1(1+1)	AD		Interurbano/Periurbano/Urbano	
	Calle residencial	Corto	1(1) ó 1(1+1)	AD	Peatones	Urbano	

mínima entre los enlaces de las calzadas centrales se atuviera a los valores habituales en zonas interurbanas.

- Al ser menor la velocidad operativa (y, consiguientemente, la de diseño) de las calzadas laterales, la separación mínima entre sus enlaces podría ser del orden de la mitad que en el caso de las centrales.

Las vías de servicio deberían conectar con unas vías colectoras-distribuidoras a intervalos de unos 1 000 m; y éstas últimas con el tronco (en su caso, con las calzadas laterales) a intervalos intermedios entre esos 1 000 m y la separación mínima en el caso de calzadas laterales, o los valores habituales en zonas interurbanas (donde no haya calzadas laterales).

Naturalmente, las infraestructuras ya existentes presentan casi siempre un diseño demasiado estricto y fuertes limitaciones de espacio, lo cual suele hacer inviable su acondicionamiento a los estándares que aquí se preconizan; pero para la Ingeniería de Caminos, la dificultad es sólo una cualidad de una meta accesible, como ha demostrado recientemente la remodelación efectuada en la **M-30** de Madrid.

Desechando algunos tipos teóricos (y anómalos) contenidos en la *tabla 2*, se puede formular la *tabla 12* en la que se recogen tipos de carretera que deberían tener características de trazado diferenciadas en

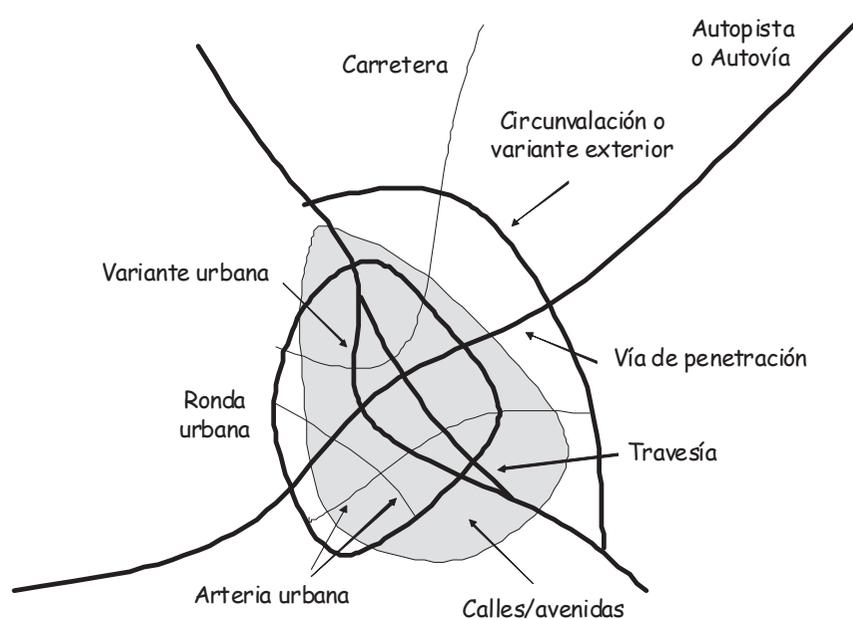


Figura 6

cuanto a sección transversal (*figura 6*), sin prejuzgar las demás características (planta y alzado).

Referencias

[1] Convención sobre la circulación vial, Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Circulación por Carretera, Viena, 1968, Naciones Unidas, E/CONF.56/16/Rev.1, Nueva York, 1969.
 [2] Convención sobre la señalización vial, Conferencia de las Naciones Unidas

sobre la Circulación por Carretera, Viena, 1968, Naciones Unidas, E/CONF.56/17/Rev.1, Nueva York, 1969.

[3] Código de la Circulación, aprobado por Decreto **1277/1969**, de 26 de junio (BOE del 28)
 [4] Manual de Capacidad de Carreteras” (*Highway Capacity Manual, 1985, Special Report 209, Transportation Research Board*), Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, 1987
 [5] Ley **25/1988**, de 29 de julio, de Carreteras (BOE del 30). ❖



Una vista de conjunto sobre el problema de la seguridad frente a incendios en túneles

A general view on the safety problems in tunnels fires

Manuel Romana Ruiz
Universidad Politécnica de Valencia
Miembro del Comité de Túneles de ATC
y del correspondiente de PIARC

Resumen

Se repasa, de una manera general, el problema de los incendios en túneles: riesgo para las personas en los diferentes tipos de túneles (carretera, ferrocarriles, metros); causas, frecuencia y magnitud de los incendios; y daños a la infraestructura del túnel (resistencia del hormigón al fuego).

Este artículo es, con algunas correcciones y añadidos, la ponencia de introducción presentada en la sesión sobre "Incendios en túneles", organizada por la Cátedra Universidad - Empresa Paymacotas con la colaboración de STMR, en la Universidad Politécnica de Cataluña, el 5 de mayo de 2011 (1). Este artículo ha sido aprobado por el Comité de Túneles de ATC para su publicación en la revista Rutas.

PALABRAS CLAVE: Túnel, fuego, carreteras, ferrocarriles, metros, hormigón.

Abstract

The paper gives a general view on the safety problems in tunnel fires: risks for the users in the different kind of tunnels (roads, railways, subways); origins, frequency and magnitude of fires; and damages to the tunnel infrastructures (concrete loss of strength during the fire).

A substantial part of the paper was presented at the session on "Fires in Tunnels" held at the Technical University of Barcelona on May 15, 2011 [1].

KEY WORDS: Key Words: Tunnel, fire, roads, railways, subways, concrete.

Presentación

El Comité internacional de túneles de la AIPCR viene trabajando desde hace muchos años, incluso antes de acontecer los graves accidentes en los túneles alpinos en los años 1999 y 2000, en el estudio, evolución y consecuencias de los incendios en túneles de carretera. Así que ya en el ciclo 1996 – 1999 se elaboraron sendos informes relativos a “Túneles de Carretera: Emisiones, Ventilación y Medio Ambiente” (1999), “Control del fuego y del humo en túneles de carretera” (1999), y “Polución derivada del Dióxido de Nitrógeno en túneles de carretera” (2000), habiéndose publicado varios más hasta la actualidad.

En esta misma línea se ha venido trabajando en el Comité nacional de la Asociación Técnica de Carreteras que ha prestado apoyo al Comité internacional, participando activamente en los grupos de trabajo que redactaron los informes citados y colaborando en su divulgación.

Siguiendo con este objetivo y en esta ocasión además en el marco del aula PaymaCotas, Manuel Romana Ruiz, miembro de los Comités nacional e internacional y presidente del nacional en el periodo 1984 – 1999, impartió en mayo de 2011 la ponencia “Incendios en túneles. Una visión de conjunto”, que por su interés se ha considerado oportuno dar a conocer a los lectores de la Revista Rutas, destacando, como consecuencia de los nuevos conocimientos, estudios e investigación, nueva normativa, esfuerzo inversor y revisión de las experiencias, la desigual situación en la que se encontraban los túneles tan sólo hace unas décadas y el cambio de rumbo producido como reacción a los importantes incendios acontecidos.

Rafael López Guarga

Presidente del Comité nacional de túneles de la ATC

1. Introducción

El tema de los incendios en túneles evoca en nuestra mente cierto sentimiento de aprensión, o incluso de terror. Es un miedo algo irracional: si nos imaginamos próximos al fuego esa situación nos inquieta mucho y nos asusta. Es normal, y deseable, ese sentimiento de miedo (aunque sea irracional), porque es un mecanismo de defensa en nuestra vida diaria. Pero si, como es nuestra tarea de hoy, debemos analizar un problema como ingenieros debemos obviar los miedos irracionales y mantener la mente fría, para tratar de realizar un análisis lo más objetivo posible.

Un ejemplo claro de la existencia de esos miedos en la imaginación colectiva es el tratamiento que los medios de comunicación dan a los incendios en los túneles. Son noticia destacada, de portada, aunque el problema haya sido nimio. Un ejemplo reciente: según La Nueva España (periódico de Oviedo, edición del 21 de abril de 2011) “el humo de una barricada con neumáticos ardiendo causó la intoxicación de cuatro personas en los túneles de Riaño”. Leído así, la noticia no parece ofrecer dudas: alguien colocó una barricada en un túnel, provocó un incendio e intoxicó a cuatro personas.

No fue exactamente así y la noticia, correctamente planteada, pudo leerse en el diario digital AsturGalicia (<http://asturgalicia.wordpress.com/2011/04/20/>). Existió realmente la barricada, colocada por los trabajadores de la empresa *Alas Aluminion* en señal de protesta porque, si no se encuentra una solución económica o un comprador, la empresa va a ser cerrada. Pero la barrica-

da no estaba en un túnel. Los túneles de Riaño son dos (uno muy corto, de 125 m; y otro más largo, de 750 m) y están bastante próximos entre sí; constituyen el último tramo de la carretera autonómica AS-16 antes de su entrada en La Felguera. Con objeto de asegurar el corte de tráfico, sin posibles desvíos, los obreros colocaron la barricada entre los dos túneles y un golpe de viento hizo que parte del humo entrase en el túnel corto. Los conductores bloqueados se asustaron, salieron de sus coches y camiones y se quejaron del efecto del humo. Parece claro que en un túnel de 125 m de largo el escape es inmediato y es difícil intoxicarse. La noticia publicada por La Nueva España es, por lo menos, muy exagerada.

Por otra parte cuando hablamos de incendios en túneles evocamos automáticamente los túneles de carretera, porque solemos tener una experiencia más directa

de ellos, debida a que los atravesamos frecuentemente en nuestros vehículos. Este efecto es también muy general entre los políticos que establecen regulaciones de todo tipo. La Unión Europea dictó la “**Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras**”, mucho antes de ocuparse de los túneles ferroviarios o de metro.

Y sin embargo los incendios en túneles de carretera han sido, y son, mucho menos peligrosos que los incendios en túneles ferroviarios o de metro, como puede comprobarse en la *tabla 1* en la que se reseñan los incendios en túneles con más mortalidad en los últimos cuarenta años. Es lógico que así sea porque los vehículos ferroviarios llevan muchos más pasajeros que los vehículos carreteros, y, además, su escape está con-

Tabla 1. Incendios con más mortalidad en túneles en los últimos cuarenta años

Año	Lugar	País	Tipo de túnel	Muertos	Heridos
1971	Vranduk	Bosnia	Carretera	34	Sin datos
1972	Fukui	Japón	Ferroviario	29	Sin datos
1979	Nihonzaka	Japón	Carretera	7	2
1987	Londres	Reino Unido	Metro	31	~150
1993	Vega de Anzo (Asturias)	España	Ferroviario FEVE	12	7
1995	Baku	Azerbaián	Metro	289	256
1999	Mont Blanc	Francia/Italia	Carretera	39	34
1999	Tauern	Austria	Autopista	12	49
2000	Kaprun	Austria	Funicular	155	Ninguno
2001	S. Gotardo	Suiza	Carretera	11	19
2003	Daegu	Corea del S.	Metro	~130	~140
2006	Viamala	Suiza	Carretera	9	Sin datos

Nota.- Algunas cifras de muertos y heridos son aproximadas por falta de información final sobre las consecuencias médicas (a largo plazo) de los accidentes.



Figura 1. El túnel Nihonzaka después del incendio (Mashimo y Mizutani, 2003)

dicionado por las acciones de los agentes de tráfico que pueden ser muy erróneas (por ejemplo, la mayoría de los muertos en el incendio del metro de Baku se produjeron porque se cortó el tráfico, deteniendo un convoy repleto de viajeros dentro del túnel a unos 200 metros de otro convoy, ya evacuado, que ardía en una estación; los pasajeros del convoy detenido en el interior del túnel perecieron asfixiados).

En los túneles de carretera es más factible el auto-rescate de los viajeros atrapados en el incendio y, por esa razón, los túneles más modernos de carretera (y los ferroviarios de alta velocidad) tienen galerías de escape con la finalidad de facilitar ese auto-rescate.

El incendio de 1979 en el túnel de Nihonzaka destruyó 173 vehículos y no pudo ser apagado más que después de 11 días [2]. Fue, por lo tanto, el primer incendio importante en túneles de carretera. Véase el aspecto del túnel en la figura 1.

Los japoneses aceptaron la lección, construyeron un túnel experimental para ensayos de incendios, y establecieron, experimentalmente y por primera vez, los principios básicos de la circulación del humo en un túnel. En Europa el incendio del túnel de Nihonzaka pareció “distinto y distante” y no se le prestó demasiada atención. Se pensaba que un desastre de ese calibre no podía suceder en la Europa de finales del siglo XX.

Pero sucedió. En abril de 1999 ardió la carga de margarina de un camión en el túnel del MontBlanc, murieron asfixiadas 39 personas, y el incendio duró 53 horas (prácticamente se extinguió solo). El túnel estuvo cerrado tres años por problemas jurídicos y administrativos y para una remodelación completa. Y en mayo del mismo año, un semáforo de obra en el interior del túnel del Tauern provocó un choque múltiple de dos camiones y tres coches, seguido de incendio.

Murieron 12 personas, el incendio fue apagado por los bomberos en 15 horas y la reconstrucción del tramo dañado duró tres meses.

La conmoción causada en Europa por estos accidentes fue enorme. Y para remarcarla, en octubre de 2001 un choque frontal entre dos camiones provocó un incendio en el túnel de San Gotardo con 8 muertos (los usuarios dentro del túnel que no atinaron a salir por las galerías de evacuación existentes; el saldo de muertos habría sido mucho mayor si una gran cantidad de automovilistas no hubiera escapado por ellas).

Y la Comisión Europea se puso a trabajar y propuso su directiva, que fue aprobada por el Parlamento Europeo, en su última sesión antes de las elecciones de 2004, espoleado por la entonces Comisaria de Transportes, Loyola de Palacio (†). Antes de dos años, el Ministerio de Fomento la traspuso para todas las carreteras, autopistas y autovías de la Red de interés general del Estado Español.

La reflexión de Francisco Palazón Rubio (experto en ITS) en 2003 sigue siendo válida: “En la Europa Comunitaria mueren anualmente unas 40 000 personas en accidentes de circulación. Los siniestros del túnel del Mont Blanc, Tauern y San Gotardo produjeron, en casi cuatro años, 60 víctimas mortales. Debido a la alarma social causada por estos siniestros, se han hecho, para mejorar la seguridad en túneles, esfuerzos comparables a los destinados a combatir la siniestralidad regular de más de 150 000 muertos en este mismo periodo de tiempo en las carreteras europeas” [3].

¿Cuál es la razón de esta desproporción de esfuerzos? Aparentemente sólo hay una: la Unión Europea (y su brazo ejecutivo que es la Comisión) se mueve teniendo más en cuenta las percepciones de la sociedad europea que los hechos objetivos. Si la sociedad, azuzada por los medios de comunicación, está preocupada por la seguridad en túneles de carretera la Unión Europea legisla en ese sentido, sin tener en cuenta la eficacia real, en términos de muertes evitadas, de las medidas legisladas. Cualquier muerte es lamentable y deben hacerse todos los esfuerzos posibles para evitarla. Pero la sociedad valora más unas muertes, las que le asustan, que otras. Con este rasero: un muerto en el incendio de un túnel “vale” más que otros mil

en accidentes de tráfico fuera de ellos.

En lo que sigue repasaremos, a vista de pájaro, algunas de las cuestiones planteadas por los incendios en los túneles, tratando más de fijar conceptos (y órdenes de magnitud) que de realizar un estudio científico detallado de dichas cuestiones.

2. Causas de los incendios

En los túneles ferroviarios y de metro la causa de casi todos los incendios es un fuego eléctrico, que se suele iniciar dentro de un vagón debido a defectos de funcionamiento en instalaciones secundarias. Por ejemplo, el incendio del funicular de Kaprun (en Austria) se debió al sobrecalentamiento producido en un pequeño calefactor eléctrico instalado, fuera del diseño original, en la cabina de los conductores, a petición de ellos; y el fuego del ferrocarril en el túnel Fukui se inició en una pequeña cocina eléctrica del coche restaurante. Otras veces el fuego se inicia a partir de problemas de suministro eléctrico en la catenaria.

Un descarrilamiento puede ocasionar un fuego en trenes con mercancías inflamables (como, por ejemplo, en Baltimore: en 2001 un vagón de un tren de mercancías cargado con combustibles descarriló en el interior del túnel de Howard Street causando un monumental incendio que perturbó la vida urbana pero no produjo víctimas).

Finalmente, en líneas de vía única, el choque de trenes dentro de un túnel es un accidente terrible, que puede causar un incendio posterior. Así fue el accidente en el túnel de FEVE de Vega de Anzo (Asturias), en 1993. No es posible deslindar la causa de la muerte de las víctimas: el choque o el incendio posterior.

En los túneles carreteros la mayoría de los incendios son causados por fugas de combustible en los motores, combinadas con sobrecalentamientos o problemas del circuito eléctrico. Generalmente arde un solo vehículo, que en ocasiones entra ardiendo en el túnel; el fuego puede ser controlado por los equipos de explotación del túnel (que a veces tienen su propio equipo automóvil de extinción, como en el túnel de Guadarrama en la AP-6) o por los propios usuarios. Se utilizan mucho los dispositivos de extinción fijos y disponibles en el túnel: extintores portátiles, bocas de incendio equipadas, etc.

El incendio no tiene consecuencias graves. Arde un solo vehículo y el fuego dura minutos. El daño a la infraestructura del túnel suele ser mínimo y la circulación se reanuda en un par de horas como máximo.

Por citar un solo túnel, bien conocido, en el túnel del Montblanc se habían producido 17 incendios de vehículos pesados desde que se abrió al tráfico en 1965 hasta el incendio de 1999. Fueron controlados, con relativa facilidad, con extintores portátiles o por la acción de los bomberos (franceses o italianos). La causa alegada con más frecuencia fue el sobrecalentamiento de los motores, debido a las rampas de acceso. Ninguno de los incendios causó víctimas mortales ni daños graves a la infraestructura del túnel.

Algunas veces la carga de un camión empieza a arder antes de la entrada en el túnel. Así ocurrió en el primer incendio en el 2º Túnel de Guadarrama (un camión cargado con resina) y parece que también en el incendio de 1999 en el Túnel del MontBlanc (un remolque lleno de margarina). Es curioso que estas cargas y otras similares (como la madera) no estén clasificadas como mercancías peligrosas, y ciertamente en otros sentidos no lo son; pero son combustibles fáciles. El fuego dura bastante tiempo (varias horas), es difícil de extinguir y la circulación se interrumpe un largo tiempo. El daño a la infraestructura del túnel depende de su vulnerabilidad y puede ser grave: en túneles con ventilación transversal o semitransversal parte del forjado superior de separación de aire se destruye.

Pero en los incendios graves, con víctimas, en túneles de carretera, autopista o autovía, la causa suele ser un accidente de tráfico previo. Así ocurrió en 13 de los 15 incendios más desastrosos en túneles de carretera. Generalmente arden varios vehículos, el fuego dura de varias horas a algunos días y es muy difícil de controlar por los bomberos, si es que llegan a tiempo y en condiciones de luchar contra el incendio.

Se sabe que en el interior de los túneles la seguridad vial es mayor que en el resto de la red. Aunque es difícil cuantificar la mejora puede estimarse que la probabilidad de un accidente de tráfico dentro de un túnel es bastante menor que fuera. En la red española la siniestralidad vial en el interior de los túneles es del orden de 1/3 a 1/6 de la exterior.

Además, muchos accidentes se localizan en las inmediaciones de las bocas y pocos en el interior, lo que facilita la evacuación directa.

3. Frecuencia de los incendios

Hay una casi total falta de datos estadísticos completos sobre la frecuencia de incendios en túneles de carretera. Pero pueden hacerse algunas estimaciones:

- La frecuencia es siempre inferior a 25 por cada 10⁸ vehículos-kilómetro.
- A finales del siglo pasado la frecuencia en los túneles franceses variaba entre 0 y 10 por 10⁸ vehículos-kilómetro.
- La frecuencia es mayor (del orden de un incendio/mes a un incendio/año) en:
 - Túneles urbanos.
 - Túneles largos con muchos vehículos pesados.
 - Túneles de montaña con largas rampas de acceso.
- En un 40% de los túneles nunca hubo un fuego.

Estas frecuencias son muy bajas. Los incendios en túneles de carretera, con varias víctimas mortales, son realmente escasos (la *tabla 1* reseña 6 incendios en todo el mundo, durante los últimos 40 años).

4. Riesgos para la vida humana

El primer riesgo es el calor, ya sea dentro del incendio, ya sea en sus proximidades. El hombre no puede soportar temperaturas del aire del orden de 80° ni radiación de calor mayor de 2,5 kW/m². Los bomberos bien equipados con equipos ignífugos sólo pueden trabajar con radiaciones inferiores a 5 kW/m², lo que les impide, en muchos casos, acercarse a un fuego bien desarrollado para combatirlo.

El segundo riesgo, mucho más frecuen-

te, es la asfixia por inhalación de humos con gases tóxicos (CO, NO, HCN, HCl...) producidos por la ignición. La inmensa mayoría de las víctimas mortales lo son a causa del humo. Y el problema se agrava mucho por la falta de visibilidad. Por eso una ventilación bien diseñada y bien manejada es la principal herramienta para salvar vidas dentro de un túnel en el que arde un incendio. Y, conjuntamente, debe dotarse a los túneles de galerías de escape para facilitar el auto-rescate de los afectados en el plazo de tiempo más breve posible (por dar un número, durante los primeros 8-10 minutos desde el inicio del fuego).

El tercer riesgo es la caída de partes de la infraestructura del túnel construidas con hormigón u otros materiales ligeros. Los forjados para ventilación y las placas ligeras sobrepuestas a los hastiales de túnel son dañados por el incendio y pueden ocasionar víctimas. Pero eso no ocurre en los primeros minutos, porque debe llegarse a los 300-400° para que comiencen las caídas. Los bomberos son quienes corren este riesgo.

El cuarto riesgo sería el "spalling", o desconchado de las paredes de hormigón del túnel. El "spalling" se produce en gran cantidad de incendios y se supone que puede ser peligroso para las personas. Pero no conozco ningún caso de alegación de daños producidos por "spalling".

5. Magnitud de los incendios

Se han realizado muchos incendios experimentales en túneles para estudiar sus características. Los experimentos anteriores a 1995 (recogidos en la *tabla 2*) fijaron las características de diseño de incendios que aún se usan.

Una definición simplificada de la magnitud de los incendios se recoge en la *tabla 3*, deducida de los ensayos del proyecto

Tabla 2. Algunos incendios experimentales anteriores a 1995

Lugar	País	Fecha	Observaciones
Offeneg	Suiza	1965	
Zwenberg	Austria	1974-5	
PWRI	Japón	1980	Túnel artificial construido ex profeso
Runnehamar*	Noruega	1990-2	Proyecto EUREKA FIRETUN de la Unión Europea
Memorial Túnel*	Virginia (EE.UU.)	1993-5	Proyecto de la FHWA y Parsons para la Central Artery en Boston

(*) Túneles fuera de servicio, acondicionados para ensayos sistemáticos de incendios

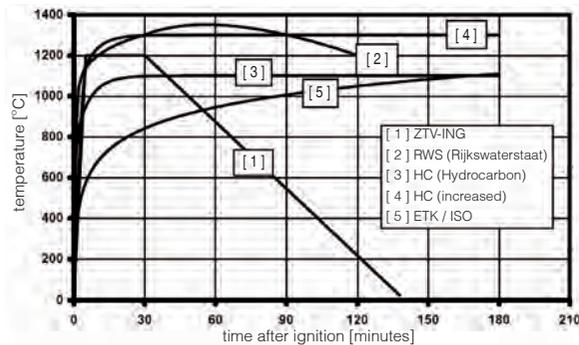


Figura 2. Curvas de fuego utilizadas en Europa [4]

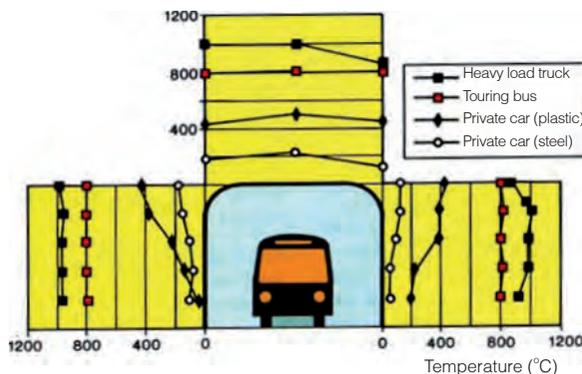


Figura 3. Temperaturas en las paredes del túnel durante los ensayos EUREKA [6]

EUREKA. Existen otras tabulaciones, utilizadas en las normativas de diferentes países, pero no son muy diferentes de las definidas en la *tabla 3*.

En España, el incendio de diseño generalmente adoptado para túneles de carretera es de una potencia de fuego de 30 MW, lo que excluye las cisternas cargadas con mercancías peligrosas o explosivas (como

la que arrasó el camping de Los Alfaques, a 3 km de Alcanar, el año 1978 y produjo 243 muertos y más de 300 heridos graves). El riesgo debido a la circulación de tales vehículos en los túneles largos (en los casos en que se permite) suele estar controlada mediante medidas especiales, como, por ejemplo, la circulación en convoyes específicos.

Salta a la vista la enorme desproporción entre los incendios “normales” de un coche, autobús o camión y el de una cisterna con hidrocarburos. La diferencia no estriba sólo en la magnitud del incendio sino en su duración: de 10 a 30 minutos para un coche y de una a cuatro horas para un camión.

La discusión sobre si las mercancías peligrosas deben evitar el paso por túneles es muy compleja y cae fuera del ámbito de este artículo generalista. Una posición adoptada a veces por las autoridades de tráfico es que un posible accidente explosivo (BLEVE en la jerga técnica) puede presentar menos riesgos para la población en un túnel que en un entorno urbano o urbani-

zado. La decisión de autorizar un túnel para el paso de mercancías peligrosas es difícil y requiere análisis complejos de riesgos.

Las llamadas “curvas de fuego” están normalizadas y relacionan la temperatura alcanzada en el interior del fuego con el tiempo desde su comienzo. La *figura 2* (tomada de Hack y otros, [4]) resume. Son las siguientes:

1. ZTV/ING, utilizada en los ferrocarriles alemanes.
2. RWS, holandesa Su temperatura máxima es 1 350°.
3. HC, hidrocarburos, una curva empírica desarrollada para la previsión de incendios en las refinerías de petróleo. Su temperatura máxima es 1 100°.
4. HC incrementada, obtenida multiplicando por 13/11 las ordenadas de la curva HC. Su temperatura máxima es 1 300°.
5. ETK/ISO, normalizada para incendios de material celulósico (por ejemplo, muebles) y que es la más utilizada en edificación (es normativa en España).

El criterio conjunto propuesto por ITA-PIARC [5] es utilizar la curva 4 (HC incrementada) cuando el riesgo de rotura del revestimiento sea catastrófico (por ejemplo, en túneles subacuáticos o en túneles urbanos muy someros) o para proteger equipamientos vitales y la curva 5 (ISO) en los demás casos.

Examinando estas curvas se aprecia que todas (menos la 1) presuponen un periodo largo de incendio a temperatura máxima, lo que no parece demostrado en los incendios experimentales. En todas ellas la temperatura aumenta muy rápidamente en los primeros minutos del fuego, lo que sí parece confirmado en todos los incendios experimentales. En 10 minutos o menos se alcanza la temperatura máxima. Esa es la razón por la que la cualidad más necesaria

Tabla 3. Magnitud de los incendios medida en el proyecto EUREKA

Tipo de vehículo	Carga (GJ)	Potencia (MW)	Observaciones
Turismo	6	4	EUREKA
Microbús	7	4,5	EUREKA
Autobús	41	20	EUREKA
Remolque TIR	65	20-30	EUREKA
Camión pesado	88	30	EUREKA
Cisterna de 50 m ³ de gasolina	1 500	300	Estimación holandesa



Figura 4. Daños en el túnel del Negrón después del incendio de un camión en 2008 (Palazón y López, 2010)

en la respuesta al incendio sea la rapidez. Tanto la de identificación y localización, como la de asistencia a los usuarios afectados y la de auto-rescate. Para alcanzar esa rapidez los sistemas y las personas deben estar bien probados y entrenados. Los sistemas automáticos de detección y guía de la respuesta son una ayuda necesaria, aunque hay opiniones diversas sobre si necesitan o no un ajuste y supervisión humanos.

Pero hay que hacer notar que se trata de temperaturas en el foco del incendio. En el humo son menores (del orden de 200°-400°) y en los paramentos del túnel también (del orden de de 200°-400° para incendios de coches y de 800°-1 000° para incendios de vehículos pesados, ver *figura 3*). Además disminuyen rápidamente al alejarse unas decenas de metros del foco y varían según la dirección del incendio: a barlovento de él son menores, efecto que se utiliza cuando se controla el incendio mediante ventilación longitudinal.

La diferencia de temperaturas durante el incendio explica que los incendios de automóviles rara vez causen daños importantes, a diferencia de los incendios de vehículos pesados.

Los caudales de humo supuestos para el cálculo de la ventilación son altos: del orden de 50 m³/s para el incendio de una furgoneta y de 80 m³/s para el de un camión (normativa del CETU francés).

6. Daños a la infraestructura del túnel

Hay que considerar tres tipos de daños posibles [7]:

- A las instalaciones y equipamientos de los túneles en la zona del incendio si no están especialmente protegidas.
- A la infraestructura “civil” complementaria (forjados, aceras, placas de revestimiento que no sean ignífugas...).
- A la infraestructura “civil” básica del túnel: el conjunto sostenimiento-revestimiento.

Pero el túnel no “arde”. No hay precedentes de que un incendio produzca la destrucción total o parcial de túneles excavados en mina.

Las instalaciones y equipamientos pueden dañarse si son afectados directamente por las llamas o por los humos calientes



Figura 5. Elementos de la infraestructura del túnel de San Gotardo caídos después del incendio de 2001

(por ejemplo los ventiladores pierden potencia con el calentamiento del humo). La *figura 4* [8] muestra daños en el túnel del Negrón en la autopista A-66 después de un incendio en 2008.

El incendio puede afectar a la infraestructura “civil” complementaria. Las uniones de estos elementos con el sostenimiento-revestimiento del túnel suelen fallar si no están especialmente protegidas, y las caídas presentan un riesgo adicional para los usuarios del túnel y para los miembros de las brigadas de bomberos. La *figura 5* muestra diversos elementos caídos en el túnel de San Gotardo después del incendio de 2001.

La reconstrucción es compleja y obliga a cerrar el túnel por periodos largos. Por ejemplo en el túnel del Tauern se destruyó un gran tramo del forjado superior de ventilación, porque estaba apoyado en ménsulas del revestimiento construidas con hormigón sin armar. Su reconstrucción con elementos prefabricados se hizo en un tiempo récord de 3 meses.

El hormigón es un elemento que aguanta bastante bien los efectos del fuego. En términos generales su resistencia a compresión simple permanece más o menos constante hasta una temperatura de 300°, para disminuir después paulatinamente hasta anularse a unos 800° (véase la *figura 6* [9]). Pero el efecto es distinto para cada clase de hormigón. Por lo tanto, su fusión está descartada en prácticamente todos los incendios, aunque puede suceder en incendios de cisternas de mercancías peligrosas (BLEVE en la terminología técnica).

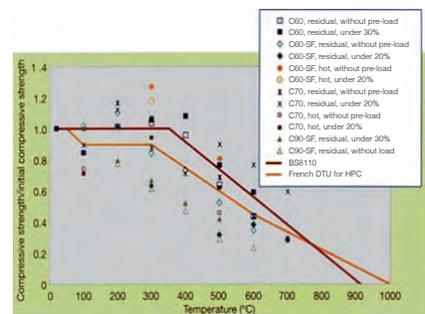


Figura 6. Pérdida de la resistencia a compresión del hormigón con el aumento de la temperatura (Cheirezy et al, 2001)

La resistencia a tracción del hormigón, y la de las armaduras de acero, se pierde antes, alrededor de los 300°. Por lo tanto, los incendios serán especialmente peligrosos en los túneles construidos en zanja con pantallas, y losa de cubierta y en los túneles subacuáticos de elementos prefabricados de hormigón armado. Esa es la razón por la que Holanda (con numerosos túneles bajo canales o nivel freático) tiene el reglamento antifuego más estricto entre los países de la Unión Europea.

La protección de las armaduras contra los efectos del incendio está bien definida en los Eurocódigos y debe hacerse aumentando su recubrimiento. Pero el hormigón sin armar sufre muy pocos daños estructurales como se demostró en el incendio del túnel del MontBlanc.

El riesgo más frecuente para el hormigón es el “spalling”, término que podría traducirse por “lajeo” o, más castizamente, “desconchado”. Su causa es la vaporización del agua contenida en los poros del hormigón, con efectos explosivos sobre la



Figura 7. Daños en las dovelas del túnel de La Mancha después del incendio de 1996



Figura 8. Daños por "spalling" en las dovelas del túnel de la Mancha después del incendio de 1996

zona más superficial. El ejemplo clásico de "spalling" son los daños en las dovelas de hormigón de alta resistencia del revestimiento circular del túnel de la Mancha durante el prolongado incendio de 1996 (figura 7). Se destruyó una parte apreciable del espesor de las dovelas y las armaduras quedaron al descubierto. Pero el túnel aguantó sin deformaciones. Tampoco aumentaron las filtraciones. La reparación se realizó con hormigón proyectado armado con fibras metálicas.

La protección contra el "spalling" puede hacerse de muy diversas maneras.

- Aumentando el espesor del recubrimiento de las armaduras.
- Incluyendo en el hormigón fibras de polipropileno.
- Mediante la aplicación superficial de morteros ignífugos.

En los túneles modernos es normal la utilización de alguna, o de varias, de esas medidas de protección del hormigón.

7. Resumen y conclusiones

La experiencia de los últimos 40 años muestra que hay relativamente muy pocos accidentes graves, con víctimas mortales,

debidos a incendios en túneles. La gravedad y el número de víctimas son mayores en túneles ferroviarios o de metro que en túneles de carretera. Sin embargo, los incendios provocan un gran miedo en el subconsciente colectivo, miedo que se refleja en el llamativo tratamiento que los medios de comunicación dan a los incendios (reales o supuestos) en túneles. Los políticos reaccionan consecuentemente.

Tras una serie de tres incendios seguidos en túneles alpinos, la Unión Europea dictó la Directiva sobre seguridad en los túneles de red viaria transeuropea, que se aplica actualmente en todos los países miembros, y está muy orientada a permitir el auto-rescate de los usuarios durante un incendio.

La causa más frecuente de incendios en túneles ferroviarios es el fuego eléctrico en una instalación eléctrica menor; mientras que en carretera es el fuego por calentamiento del motor. Sin embargo, los accidentes en túneles de carretera con más número de víctimas son incendios tras una colisión entre vehículos.

Tras una serie de incendios experimentales hay un consenso general en la magnitud de los incendios en túneles de carretera (recogido en la tabla 3) que se utiliza actualmente como base para los estudios y proyectos. Hay también un consenso sobre las curvas de fuego que deben aplicarse (figura 2), aunque con matices diferentes según las condiciones predominantes en cada país.

Los mayores riesgos para las personas los produce el humo. Por esa razón, una ventilación adecuada, en caso de incendio, es una premisa importante de la seguridad.

El incendio puede dañar al túnel destruyendo elementos de sus instalaciones, derribando elementos auxiliares de infraestructura civil (forjados, placas de revestimiento) o dañando el revestimiento de hormigón de los túneles en mina, que no se destruye por completo, sino que disminuye su espesor a causa del "spalling". En los túneles en trinchera hay riesgo de rotura de los elementos estructurales que trabajen a flexión (losas, puntales) por daños en las armaduras.

El riesgo de "spalling" se previene con facilidad aumentando los espesores de revestimientos de las armaduras o añadiendo al hormigón fibras de polipropileno.

Y una conclusión general: el riesgo de muerte por incendio en un túnel de carretera

es muchísimo menor que el riesgo de muerte por otro tipo de accidente de circulación.

8. Referencias

- [1] ALONSO, E.; ARROYO, M. & ROMANA, M. (editores) "Incendios en túneles". Cátedra Payma-Cotas. Universidad Politécnica de Cataluña. 2011.
- [2] MASHIMO, H. & MIZUTANI, T. "Current state of road tunnel safety in Japan". Japan Public Works. Research Institute and Advanced Construction Technology Center. 2003.
- [3] PALAZÓN, F. "Lecciones aprendidas en la elaboración de Manuales de Explotación". Jornada sobre seguridad en la explotación de túneles (STMR). 2003. No publicado.
- [4] HAACK A.; BENDELIUS; BOTH; CORSI; FOIT; GABAY; GALEA; HEJNY; HÖRHAN; INGASON; KUMAR; LA-CROIX & MARLAIR. "Design Fire Scenarios". Borrador no publicado. Comité de Túneles de PIARC. 2004.
- [5] ITA "Guidelines for structural fire resistance for road tunnels". Preparado en colaboración por el WG 6 de ITA y el Comité de Túneles de PIARC. 2005. Puede descargarse de www.ita-aites.org en WorkingGroupsPublications/WG6
- [6] RICHTER, E. "Propagation and developments of temperature from tests with railway and road vehicles". Proc. Int. conf. on fire in tunnels. Boras, Sweden. 1994. Pp.51-62.
- [7] ROMANA, M. "Ponencia sobre incendios en túneles". Jornada sobre seguridad en la explotación de túneles (STMR) 2003. No publicado.
- [8] PALAZÓN, F. & LÓPEZ, M. "Experiencia de TEKIA como parte de la estructura de seguridad que demanda la directiva" 5º Simp. de Túneles. ATC. Bilbao. 2010. http://www.tekia.es/web/images/stories/archivos_interes/2010/V5Simp-Tuneles/seguridad_directiva.pdf
- [9] CHEYREZY, M.; KHOURY, G. & BEHLOUL, M. "Mechanical properties of four high performance concretes in compression at high temperatures". Revue française de Genie Civil. vol 5, Nº 8. 2001. Pp 1159-1180
PIARC Informes del Comité Internacional de Túneles. Varias fechas. ❖



Conservación integral en obras de desagüe transversal. Tubos de acero corrugado y galvanizado*

Integrated conservation of cross drainage works. Galvanized and corrugated steel tubes

José M^a Zamora Pérez
Ingeniero Técnico de Obras Públicas
Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias

Resumen

La conservación de carreteras gestiona el día a día de estas vías de comunicación y, aunque siempre ha estado a la sombra de la ejecución de grandes obras de infraestructuras, resulta fundamental llevarla a cabo de una forma responsable y programada, pues su finalidad es prestar un servicio al usuario ofreciéndole un nivel de seguridad vial y confort aceptable. Son muchas las circunstancias extraordinarias que pueden producirse en una carretera en servicio a consecuencia de múltiples factores tales como: los fenómenos meteorológicos, la intensidad del tráfico, las características del terreno y el entorno por donde discurre. El presente artículo se redacta al objeto de servir como guía de aplicación en labores de conservación, reparación y sustitución de obras de desagüe transversal, ubicadas en carreteras en servicio y construidas con acero corrugado y galvanizado, que permitan mantener su funcionalidad con el objeto de minimizar daños o situaciones irreversibles.

PALABRAS CLAVE: conservación, carreteras, tubo, corrugado, drenaje.

Abstract

Highway maintenance manages these means of communication daily and, though it has always been in the shade of the execution of major infrastructures works, it is primordial to carry out it in a responsible and programmed form, since its purpose is to give a service to the user offering him a level of road safety and acceptable comfort. There are a huge number of extraordinary circumstances that can take place in a road in service as a result of multiple factors such as: meteorological phenomena, traffic jams, the characteristics of the area and the environment where it passes.

The present article is written in order to serve as a guide to implement maintenance works, repair and substitution of cross-drainage tubes, located in roads in service and built with corrugated and galvanized steel, allowing to maintain its function in order to minimize damages or irreversible situations.

KEY WORDS: Maintenance, roads, tube, corrugated, drainage.

* Premio Jóvenes Profesionales 2011 de la Asociación Técnica de Carreteras

Introducción

El presente artículo se redacta al objeto de servir como guía de aplicación en labores de conservación, reparación y sustitución de obras de desagüe transversal, ubicadas en carreteras en servicio y construidas con acero corrugado y galvanizado. No pretende ser una crítica hacia el empleo de este tipo de tubos, puesto que no se concibe desde el punto de vista de la fase de planeamiento o proyecto; sino que se ofrece una visión práctica que permita mantener su funcionalidad con el objeto de minimizar daños o situaciones irreversibles, por otra parte en ocasiones inevitables.

A raíz de la experiencia adquirida en las labores de conservación de carreteras, entre las que se enmarcan las revisiones periódicas de este tipo de obras, se pone de manifiesto que son muchos los factores que influyen en su deterioro y comportamiento a lo largo de su vida útil. El principal objetivo de estas obras es el desagüe de escorrentía superficial bajo la vía. Un hecho tan simple como éste, lleva consigo multitud de factores externos que tener en cuenta para prever su comportamiento a largo plazo. La velocidad de la corriente y sus arrastres; la vegetación y las características del entorno; las condiciones ambientales y climáticas de la zona, influyen directamente en la abrasión y aumentan el riesgo de corrosión del tubo. La función de desagüe de este tipo de obras también lleva implícita una función estructural, ya que se trata de un elemento concebido para soportar sobre él las cargas permanentes propias del relleno de tierras existente bajo la plataforma, incluidas las cargas derivadas del tráfico de la vía.

Marco normativo

La principal ventaja del uso de tubos de acero corrugado y galvanizado radica en su bajo coste frente a las obras de hormigón, y en su fácil colocación que permite reducir plazos de ejecución. Estas ventajas no están justificadas si no se acompañan de un estudio en el que se compruebe que las condiciones de la zona de empleo cumplen las prescripciones marcadas por el PG-3 [1]. Pero, ¿qué es lo que exige actualmente el PG-3? Siguiendo el orden de factores

que influyen en este tipo de obras, señalado en el apartado anterior, se detallan a continuación las prescripciones generales que tener en cuenta:

Deterioro por abrasión

A este respecto el PG-3 [1], en su artículo 412.3, expone que los tubos de acero corrugado y galvanizado:

“No son recomendables cuando vayan a estar sometidas a corrientes de agua con velocidades superiores a tres metros por segundo (3 m/s) o que transporten acarreos. En estos casos su empleo exigirá la disposición de revestimientos resistentes a la abrasión en la sección mojada, tales como hormigón u otros materiales que aseguren la durabilidad del conducto.”

Es difícil pensar que los tubos de acero colocados actualmente en nuestras carreteras mantengan a través de ellas una escorrentía de aguas limpias de acarreo a través de ellos, sobre todo en zonas de montaña o del norte de España, donde las carreteras discurren por entornos repletos de vegetación, siendo inevitable los arrastres de maleza, tocones, árboles, bolos y otros materiales. Ya que hasta el momento no existen sistemas de filtro o retención que permitan evitar los arrastres, es fundamental tener en cuenta estos factores a la hora de hacer un correcto mantenimiento preventivo de los tubos ya en servicio.

Deterioro por corrosión

La corrosión es un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto. La celda que causa este proceso está compuesta esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad). El ánodo es el lugar donde el metal es corroído; el electrolito es el medio corrosivo; y el cátodo, que puede ser parte de la misma superficie metálica o de otra superficie metálica que esté en contacto, forma el otro electrodo en la celda y no es consumido por el proceso de corrosión. En el ánodo, el metal corroído pasa a través del electrolito como iones cargados positivamente, liberando electrones que participan en la reacción catódica. Por ello, la corriente de corrosión entre el ánodo y el cátodo consiste en electrones que fluyen dentro del metal y en iones que fluyen dentro del electrolito.

Aunque el aire atmosférico es el medio más común, las soluciones acuosas son los ambientes que con mayor frecuencia se asocian a los problemas de corrosión. En el término solución acuosa se incluyen aguas naturales, suelos, humedad atmosférica, lluvia y soluciones creadas por el hombre. En función del pH, el medio puede caracterizarse por ser ácido (pH bajo) o alcalino (pH alto), factor que a su vez vendrá marcado por el contenido de cloruros, sulfatos y sulfuros. Por tanto, los tubos de acero utilizados en obras de desagüe de carreteras están directamente expuestos a la corrosión.

Definidos los conceptos básicos se citan, a continuación, las limitaciones de empleo que marca el PG-3 [1] a este respecto:

“En general, sólo se podrán utilizar este tipo de conductos con suelos o aguas que cumplan las condiciones siguientes:

Características	Suelos o aguas
Resistividad	≥ 3 000 ohmios*cm
pH	9 ≥ pH ≥ 6
Contenido de cloruros	≤ 100 mg/kg
Contenido de sulfatos	≤ 500 mg/kg
Contenido de sulfuros	≤ 100 mg/kg

“No obstante, podrá autorizarse su uso cuando dispongan de la adecuada protección adicional (...) Esta protección adicional podrá ser de mortero de cemento, de materiales bituminosos, poliméricos, epoxídicos, reforzados o no con fibras,....”

Función estructural

Como ya se comentó, estos tubos son elementos estructurales que por su ubicación están sometidos a cargas permanentes que es necesario tener en cuenta antes de su puesta en obra. El artículo 412.5 del PG-3 [1], en su apartado 2, marca una serie de directrices sobre el lecho de apoyo y los rellenos del trasdós. En cuanto a la altura de relleno sobre la obra de desagüe, únicamente se especifica lo siguiente: *“Se cuidará que la altura del relleno sobre la clave del conducto no supere los límites, máximos ni mínimos, indicados en el Proyecto”*.

Para obtener más información al respecto hay que consultar la “Guía de Cementaciones en Obras de Carretera”, de las series monográficas del Ministerio de Fomento [2]. En el punto 6.7. *Caños y conductos transversales, en su apartado 4, se*



Foto 1. Filtraciones



Foto 2. Vegetación



Foto 3. Grietas

prescribe que:

“En la fase de proyecto ha de analizarse el estado límite último de aplastamiento de la conducción enterrada. Este estado límite último viene condicionado por la presión vertical y por la forma de la cimentación.”

A continuación, la “Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera” [2] marca una serie de directrices a tener en cuenta en el cálculo y dimensionamiento de este tipo de obras.

Situación actual

Ahora surge la duda: los tubos de acero corrugado y galvanizado en servicio ¿cumplen lo expuesto anteriormente? En la mayoría de los casos no, a excepción de los que han sido rehabilitados con el paso del tiempo. La justificación a esto se encuentra en que hasta la redacción del PG-3 [1] del año 2000, las únicas restricciones existentes en relación al deterioro por corrosión eran en función del pH ($11 > \text{pH} > 6$), aunque se permitía su uso con una protección adecuada. No se establecían limitaciones respecto de las condiciones hidráulicas (velocidad de la corriente y acarreo), ni tampoco respecto a su función estructural.

Partiendo de la situación real descrita, se debe establecer un método de inspección y actuación sobre este tipo de obras, de manera que se alcance un correcto estado de conservación, cumpliendo su funcionalidad tanto como obra de desagüe como de elemento estructural.

Inspección periódica

Las tareas de inspección de obras de paso sirven de base para programar las labores de mantenimiento y conservación; permiten generar un historial en el que se reflejen los deterioros y previenen de situaciones similares en un futuro.

La “Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera” [2] establece que *durante la vida útil de la obra, deben realizarse las inspecciones previstas en el Sistema de Gestión de Puentes [4] o programa que en su caso lo sustituya cuando les sea de aplicación, y en caso contrario inspecciones periódicas de tipo ordinario, e inspecciones extraordinarias en su caso, después de periodos de lluvia o aguaceros aislados de especial intensidad.*

Independientemente del sistema utilizado, en las inspecciones básicas enmarcadas dentro de las labores propias de mantenimiento, existen aspectos clave que pueden aportar una valiosa información para conocer el verdadero estado de conservación de estas obras. Fundamentalmente se trata de un examen visual “in situ” que permita la siguiente toma de datos:

EXTERIOR. Elementos estructurales y entorno de la obra de desagüe (fotos 1, 2 y 3).

- **Comprobar si existen socavaciones** en elementos de canalización de aguas hacia el tubo (cunetas y aletas), así

como grietas y arrastres de tierras en el talud de la carretera. Las filtraciones de agua por fuera del conducto hacia el interior del mismo, suponen un riesgo potencial que en la mayoría de los casos no se ve hasta que la obra se colapsa.

- **Observar si existen humedades o eflorescencias** en boquillas y paramentos exteriores que den lugar a fisuras o, incluso, a grietas que dejen armaduras al aire susceptibles de corrosión que haga peligrar la integridad estructural.
- **Evaluar el nivel de vegetación del entorno de la obra.** Los arrastres de material de este tipo en aguaceros intensos provoca la obstrucción del cauce impidiendo la evacuación de aguas.

INTERIOR. Inspección de la obra de desagüe (fotos 4, 5 y 6).

- **Estado general de limpieza.** Comprobar que no existan obstáculos para la libre circulación del agua.
- **Inspeccionar estado de conservación de la solera, los hastiales y la clave.** Prestando especial atención a las zonas que presenten abombamientos, deformaciones, corrosión y pérdida de tornillería.
- **Observar el estado de las juntas de solape que conforman el tubo.** Son zonas de especial importancia por la posibilidad de generar filtraciones de aguas subterráneas a través de ellas. El



Foto 4. Libre circulación de aguas



Foto 5. Deformaciones y corrosión



Foto 6. Colapso y hundimiento calzada

peligro de estas pequeñas corrientes de agua radica en el arrastre de material y en la formación de cavidades internas, existiendo, una vez que el terreno pierda humedad, peligro de hundimiento y colapso de la estructura.

Una vez tomados estos datos, se procede a la evaluación de necesidades de actuación. Por norma general, las labores de limpieza no requieren estudio previo, sino que han de estar enmarcadas dentro del programa de actuaciones ordinarias en obras de desagüe. A continuación, se definen los tipos de actuaciones a llevar a cabo en función de los resultados de la inspección básica.

Tipos de actuaciones

Las actuaciones se pueden clasificar en diversos tipos según el criterio empleado, en el presente artículo se prioriza en función del deterioro que presente la obra de desagüe estudiada.

PREVENTIVO. Limpieza y mantenimiento ordinario

Se trata de todas las labores que han de llevarse a cabo de manera ordinaria y que son comunes a todas las obras de desagüe transversal de este tipo. Un correcto mantenimiento programado minimiza situaciones que originen daños irreversibles, a la vez que permite realizar un seguimiento del estado general de la obra.

- **Ejecución de accesos a la obra (fotos 7 y 8).** Al tratarse de obras de desagüe transversal, este tipo de tubos, se encuentran ubicados al pie de rellenos donde el acceso de personal y maquinaria, en ocasiones, se ve dificultado por la presencia de árboles y abundante vegetación. La ejecución de pistas de acceso permanentes y su posterior mantenimiento en buen estado, resultan fundamentales para las operaciones de limpieza y conservación ordinaria de la obra. Las principales unidades que llevan asociadas estas tareas son:

- **Tala de árboles y arranque de tocones.**
- **Despeje y desbroce de vegetación.**
- **Extensión y compactación de material transitable en capa de rodadura.**

- **Limpieza, siega y desbroce de las**

bocas (fotos 9 y 10). Resulta fundamental que la circulación del agua a través de la obra, tanto a la entrada como en el interior, no encuentre obstáculos. Lo habitual es programar las labores de siega y desbroce entre los meses de mayo y septiembre. En cuanto a la limpieza de las bocas, es conveniente realizarla después de épocas en las que las precipitaciones hayan sido intensas o continuas en el tiempo, pues es habitual el arrastre de materiales que se acumulan en las bocas de entrada a la obra.

- **Limpieza y despeje de vegetación en márgenes de ríos (fotos 11 y 12).** Este apartado exige la coordinación entre las Administraciones implicadas como son, en el caso de las carreteras, el Ministerio de Fomento y las Administraciones Autonómicas y Locales, y en el caso de los ríos, las Confederaciones Hidrográficas que gestionan las cuen-

cas. Las riberas de los ríos son zonas de abundante vegetación que en épocas de precipitaciones extraordinarias es arrastrada por el aumento del cauce. El material acarreado supone un peligro potencial para este tipo de tubos, ya que existe el riesgo de obstrucción de la obra por árboles o ramas de gran tamaño. Para evitar esta circunstancia conviene elaborar planes forestales que contemplen la tala y despeje de vegetación, en aquellas zonas inundables por crecidas ordinarias.

CORRECTIVO. Rehabilitación integral de la ODT

Tras la toma de datos y evaluación de los mismos en las revisiones descritas en el apartado de inspecciones periódicas, se programan las actuaciones de tipo correctivo. Estas son, por lo general, de mayor envergadura que las anteriores y se han de estudiar para cada obra en particular. Como punto en común a todas ellas des-



Foto 7. Ejecución de pista



Foto 8. Acceso a boca de salida



Foto 9. Cauce obstruido



Foto 10. Retirada de material



Foto 11. Arrastre de vegetación



Foto 12. Obstrucción tubo y aumento de nivel

taca la utilización de la estructura original de ODT. Partiendo de esta, se analizan las zonas que requieren actuación para asegurar el desagüe de aguas para el que ha sido proyectado.

- **Exterior.** Esta actuación tiene como finalidad aumentar la resistencia estructural de los taludes inmediatos a la obra de desagüe, así como facilitar la canalización de las aguas hacia las bocas de entrada.

- **Ejecución de boquillas y aletas hormigonadas (fotos 13 y 14).** Se trata de una actuación localizada de fácil ejecución y que contribuye, en primer lugar, a evitar la erosión del perímetro de terreno que rodea las bocas y, además, sirve como elemento canalizador de aguas de aguas cuando el caudal aumenta.

- **Estabilización de taludes mediante muro de escollera (fotos 15 y 16).** Por norma general, se trata de una actuación de mayor envergadura que la anterior. Las zonas próximas a las bocas de la ODT que se consideren inestables y puedan provocar desprendimientos de tierras que obstruyan la circulación del agua, han de ser tratadas de forma inmediata. Cuando se presentan casos de este tipo resultan eficaces la ejecución de escolleras de cauce y contención de taludes.

- **Ejecución de cunetas de hormigón a pie de talud (fotos 17 y 18).** Estos elementos de canalización resultan muy efectivos para evitar que el agua discorra libremente, con la consiguiente degradación del talud, produciendo arrastres de tierras, formación de cárcavas y desprendimientos que puedan dañar la ODT.

- **Interior.** La rehabilitación interior de la



Foto 13. Encofrado y hormigonado



Foto 14. Situación final



Foto 15. Estabilización talud superior



Foto 16. Ejecución de escolleras de cauce



Foto 17. Obras sin canalización a pie de talud



Foto 18. Ejecución de cuneta en "V"



Foto 19. Síntomas de corrosión

obra de desagüe transversal se realiza en función del deterioro que presente.

De esta forma tenemos los siguientes tipos de actuaciones:

- **Ejecución de solera de hormigón (fotos 19, 20 y 21).** Esta actuación

se recomienda cuando la ODT presente deformaciones, corrosión o daños por acarreo en la zona de circulación de aguas. Consiste en ejecutar una solera de hormigón armado con escalones laterales, en



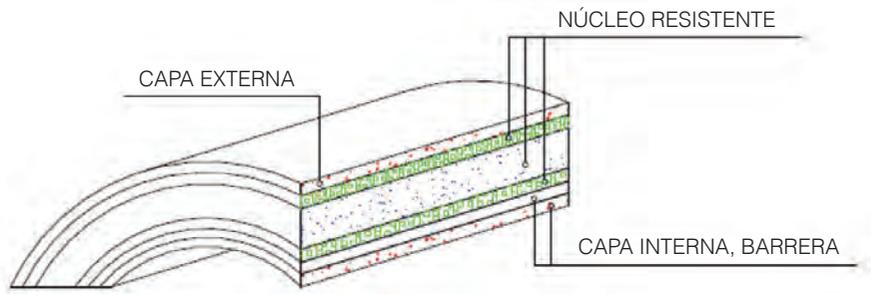
Foto 20. Ejecución de solera



Foto 21. Desencofrado

forma de canal, que haga visitable la obra y facilite el acceso a ella en las labores de limpieza.

- **Rehabilitación mediante tuberías de PRFV.** La utilización de tuberías de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) en recuperación de redes de desagüe envejecidas se ha incrementado de forma



Esquema 1

Capa	Espesor	Composición	Función
Interior o de barrera	1 – 1,5 mm	- Fibra de vidrio entrelazada. - Resinas tipo ortoftálico o isoftálico.	- Resistencia a la abrasión y corrosión. - Impermeable. - Bajas pérdidas por rozamiento. - Propiedades hidráulicas constantes en el tiempo.
Núcleo resistente o estructural	Variable	- Resinas poliéster ortoftálico. - Fibra de vidrio hilo continuo. - Inertes de sílice/cuarzo.	- Resistencia mecánica.
Externa	0,2 – 0,3 mm	- Resinas poliéster ortoftálico. - Fibra de vidrio hilo continuo. - Inertes de sílice/cuarzo.	- Resistencia a agentes externos: ambientales o del terreno.



Foto 22. Introducción tubo PRFV



Foto 23. Sellado zona anular



Foto 24. Vista interior tubo PRFV

considerable en los últimos años. Compuestos por resinas sintéticas o poliéster ortoftálico, fibra de vidrio y sílice, estos materiales son aplicados principalmente en tres capas, para proporcionar una resistencia periférica de alta rigidez y un acabado liso de la superficie interior (véase esquema 1).

Sistema utilizado cuando la tubería presenta deterioros en las juntas de solape y, en general, exista riesgo de filtraciones de

aguas subterráneas presentes en el talud. Se basa en la introducción del tubo de PRFV en el interior de la tubería existente, disminuyendo el diámetro final del conducto, pero mejorando sensiblemente la capacidad de conducción del flujo. Los diámetros disponibles en el mercado van desde 300 a 4 000 mm. Las longitudes requeridas se consiguen mediante juntas elastoméricas utilizadas como elementos de unión entre módulos. El montaje finaliza

con el relleno de la zona anular entre el tubo nuevo y el existente mediante lechada de cemento o arena. Esto es factible gracias a la alta capacidad de carga de los tubos de PRFV, evitando de este modo colapsos de la tubería antigua que puedan dañar la nueva y el efluente de aguas que pueda circular entre ambas (fotos 22, 23 y 24).

- **Revestimiento interior mediante gunitado (fotos 25, 26 y 27).** La gunita es un hormigón de granu-



Foto 25. Colocación malla electrosoldada



Foto 26. Proyección hormigón



Foto 27. Estado final gunita

lometría fina y dosificación alta en cemento, que se proyecta por empuje de aire a alta presión sobre la superficie interior del tubo de acero existente. Como paso previo a esta operación, es preciso colocar una malla electrosoldada o fibras metálicas para conseguir una resistencia mayor en un menor espesor. La principal ventaja de este sistema es que dota a la estructura de una impermeabilización óptima gracias a la ausencia de poros. No se hace necesario el uso de encofrados ni moldes, lo que facilita su puesta en obra. Este tipo de rehabilitación se utiliza en los tubos cuyo diámetro permita el trabajo de los operarios en su interior. Es habitual combinarlo con la ejecución de la solera de hormigón comentada, consiguiendo así la rehabilitación integral que se pretende.

SUSTITUTIVO. Retirada de la obra de desagüe

Es la situación más extrema que se puede plantear. Esto sucede cuando la obra de desagüe sufre daños irreversibles como pueden ser colapso, hundimiento o rotura total, y se hace inviable cualquiera de las actuaciones descritas. Aunque cada situación requiere un estudio particularizado para tomar la solución adecuada, todas tienen en común la retirada del tubo existente. Lo normal es desmontar la plataforma de la carretera por medios mecánicos, acceder hasta la cota donde se ubica la tubería y proceder a su retirada (fotos 28, 29 y 30).

Para la reconstrucción del sistema de desagüe se requiere una primera fase de planeamiento, en la que se han de estudiar todos los factores que influyan en la elección de la solución óptima. En cuanto a los aspectos técnicos a tener en cuenta, el primer paso es realizar los cálculos hidráulicos pertinentes en cada caso. En el cálculo de obras de desagüe transversal se parte de unos datos básicos que son los siguientes:

- *Caudal de diseño*: en general, a las obras de desagüe transversal le corresponde a un periodo de retorno de 100 años, según se establece en la Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial" (3), salvo en aquellos casos donde haya posibilidad de daños catastróficos, para los

que será hasta de 500 años. Se considera daño catastrófico el riesgo de pérdidas de vidas humanas o graves daños personales y las afecciones a núcleos poblados o industriales. Es el dato de partida para todos los cálculos hidráulicos que se van a realizar con objeto de dimensionar la obra de desagüe.

- *Tipo de obra y dimensiones*: es otro de los datos básicos ya que determina todos los parámetros hidráulicos dependientes de la geometría de la sección (circular, rectangular o arcos).
- *Coefficiente de rugosidad del material*: depende del material del tubo. Es necesario para determinar las pérdidas de carga por fricción en el interior.

Se proyectará una estructura capaz de cumplir las condiciones de funcionamiento exigidas.

La forma del conducto proyectado dependerá de las particularidades del terreno, las necesidades de luz libre, las limitaciones de cota por la rasante de la vía y la carga del relleno que soporte. En función de lo anterior, la forma puede ser circular, en bóveda, en arco o rectangular. Los más utilizados son los conductos circulares, aunque en las situaciones donde los caudales de diseño sean más importantes se optará por secciones rectangulares, ya que tienen mayor capacidad. Las secciones en forma de

bóveda se proyectan en los emplazamientos donde la altura del relleno es mayor.

Puesto que se trata de ejecutar una obra en una zona donde el acero corrugado y galvanizado no ha resultado efectivo, el material a emplear será hormigón armado, mucho más resistente en ambientes agresivos con el acero.

El trazado de la nueva obra debe modi-



Foto 28. Desmonte de plataforma



Foto 29. Tubería descubierta



Foto 30. Desmontaje de tubo

ficar lo menos posible el cauce natural, de manera que no se produzca un estrechamiento excesivo a la entrada, manteniendo la pendiente y la alineación.

En cuanto a la puesta en obra, se debe prestar especial atención a la cama de asiento ya que, si el conducto no estuviera bien apoyado o la compactación fuera insuficiente, se podrían producir asentamientos



Foto 31. Colapso de ODT



Foto 32. Nueva ODT en servicio



Foto 33. Colocación del elemento prefabricado

que afectarían a la plataforma.

A continuación se describen los trabajos que requiere una actuación completa de sustitución de una ODT.

- **Ejecución de una obra de desagüe transversal con prefabricados de hormigón (fotos 31, 32 y 33).**

Una vez definida la sección de la obra de desagüe transversal con los cálculos

hidráulicos correspondientes, se procede a elaborar el programa de trabajos, cuyas fases principales se detallan a continuación:

- **Excavación y retirada de los materiales**

que forman el relleno hasta la cota de la obra de desagüe. A medida que dicha excavación avanza, se procederá a la formación de una pista que garantice, en un primer momento, la salida de camiones con el material procedente de la excavación y después el acceso de la grúa y camiones que transportan los elementos prefabricados hasta la proximidad de su localización definitiva.

- **Construcción de un caballón o ataguía**

de contención que permita la ejecución de los trabajos garantizando la evacuación de las aguas.

- **Demolición de la obra de desagüe existente**, mediante su corte en trozos manipulables y transportables.

- **Excavación y preparación del asiento para la cimentación:**

Se procederá a disponer un asiento de material pétreo, sobre el que se asiente el nuevo conducto de manera que garantice su esta-

bilidad futura.

- **Construcción del cimiento de la bóveda:** Se ejecutará una solera o zapata de hormigón, previo encofrado de sus paramentos.

- **Colocación de elementos prefabricados.**

- **Relleno del trasdós:** Finalizada la colocación de los elementos se procede al relleno del trasdós de los paramentos mediante la aportación y compactación del material granular. Este proceso se hará de forma alternativa y continua por ambos lados del conducto, para evitar desplazamientos o colapsos de éste. Así mismo, se cuidará la compactación para evitar asentamientos futuros.

- **Reconstrucción del relleno y retirada de la ataguía de contención:** Por el procedimiento habitual y cuidando la unión entre las nuevas tongadas y las ya existentes.

Paralelamente, se procederá a la puesta en obra de una capa exterior de tierra vegetal que garantice una adecuada restauración e integración paisajista de los trabajos en el futuro. Sobre la capa vegetal, se aplicará una hidrosiembra de especies vegetales en dotación y naturaleza adecuada a la zona en la cual se localiza la obra. Adicionalmente, se procederá a la retirada del material aportado en la ataguía de contención, una vez que la cota del relleno así lo permita.

- **Reconstrucción del firme:** De manera similar a lo ejecutado con el relleno.

- **Señalización y restitución del tráfico:** Finalizado el firme, se procederá a la colocación de la barrera de seguridad conforme a la normativa vigente. Se retirarán a su vez los elementos de balizamiento y señalización.

- **Otras soluciones**

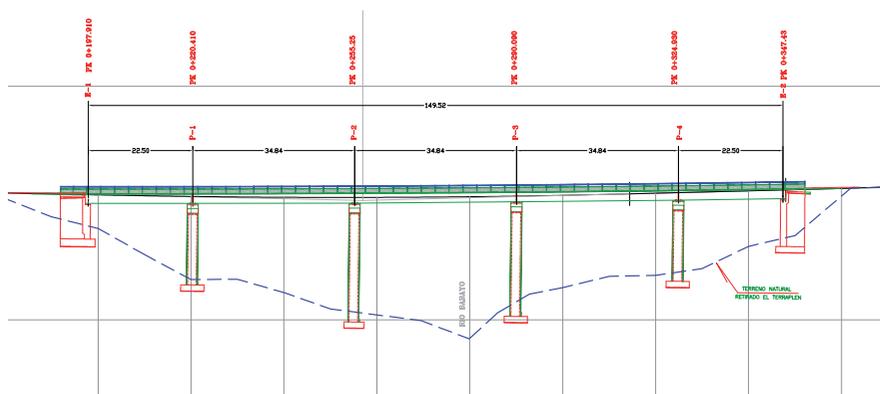
En algunas ocasiones, se presentan factores que no se tuvieron en cuenta en la construcción de la obra original. Si las condiciones hidráulicas requeridas a la hora de sustituir la tubería dañada no se ajustan a ningún tipo de obra de desagüe transversal



Foto 34. Plataforma original



Foto 35. Desmonte de tierras



Esquema 2. Viaducto proyectado

convencional, se propone la construcción de una obra de paso. Esta solución también es recomendable en los casos donde la rasante de la carretera se encuentre excesivamente elevada respecto del cauce, circunstancia que lleva consigo un amplio movimiento de tierras en la fase de relleno una vez colocada la obra de paso. No cabe duda que, en el supuesto que se produzca este caso, sería necesaria la redacción del correspondiente proyecto de construcción, en el que se tengan en cuenta todos los aspectos propios de una estructura de este tipo. Por tanto, se trata del caso más extremo de todos los que son objeto del presente artículo, tratándose de una obra de construcción propiamente dicha y no de una labor de conservación y mantenimiento de las obras de drenaje transversal (fotos 34 y 35 y esquema 2).

Condicionantes externos o particularidades de cada caso concreto, podrían aconsejar la no reconstrucción de la vía haciendo necesaria la búsqueda de soluciones alternativas. Este es el caso, por ejemplo, de factores medioambientales no vigentes en la construcción de la carretera

original, como pueden ser la preservación de reservas naturales. La construcción de nuevas carreteras o vías de gran capacidad y que absorben la mayor parte de la intensidad de tráfico del tramo afectado, pueden dar lugar a habilitar o acondicionar variantes de trazado para salvar la obra de desagüe dañada.

Son muchas las variables que es necesario tener en cuenta en este supuesto, por tanto, cada caso particular habrá de ser estudiado de forma independiente con el fin de alcanzar la solución mas adecuada.

Conclusión

De todo lo expuesto anteriormente se obtiene una idea clara: Las obras de desagüe transversal de acero corrugado y galvanizado requieren un mantenimiento preventivo y una inspección periódica.

A pesar de ser concebidas como un simple elemento canalizador de aguas, la función de este tipo de obras va mucho más allá. Por su ubicación, puesta en obra, material, dimensiones y el entorno que las rodea, su deterioro por falta de manteni-

miento puede provocar daños irreversibles en la carretera y, consecuentemente, interrumpir el tráfico por ella. Dependiendo de la zona por la que discurra la vía afectada existe la posibilidad de que, una avería de este tipo, genere problemas de comunicación, transporte, turismo y, en general, resulten damnificadas determinadas facetas socio-económicas del lugar. La sustitución integral de una ODT de acero corrugado y galvanizado requiere, desde el punto de vista presupuestario, una inversión considerable.

Por tanto, y a tenor de todo lo expuesto, es imprescindible elaborar un programa de trabajo que incluya, la inspección de todas las obras de este tipo, en las que se realice una evaluación de su estado de deterioro, para posteriormente y con esos datos, llevar a cabo un plan de actuaciones preventivas, en todos los casos, y correctivas, en los que lo requieran en función de los daños que presenten. Con ello, se alcanzará un nivel de servicio que garantice el correcto funcionamiento y permita prever situaciones de colapso con la suficiente antelación.

Referencias

- [1] Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3).
- [2] Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras (Serie monografías. Ministerio de Fomento).
- [3] Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje Superficial".
- [4] Sistema de Gestión de Puentes (Manual de inspecciones básicas de la D.G.C. Ministerio de Fomento). ❖



Estructuras E-7 y E-8 en la Hiperronda de Málaga

Estructuras y Prethor han participado en la construcción de las Estructuras E - 7 y E - 8 del Tramo: Conexión Ma-417- Autovía A-357 Guadalhorce, aplicando las soluciones más innovadoras en la producción y montaje de prefabricados.



Finalizada la Circunvalación Oeste de Málaga (Hiperronda)

La Redacción **Introducción**

El pasado 27 de diciembre, con la puesta en servicio de los dos últimos tramos AP-7/Conexión carretera M-417 (Tramo I) y Conexión carretera M-417/Autovía A-357 del Guadalhorce (Tramo II) quedó abierta al tráfico la totalidad de la Circunvalación oeste de Málaga, conocida como Hiperronda, cuyos tramos III y IV ya fueron abiertos al tráfico el 28 de diciembre de 2010, y que ha supuesto una inversión conjunta de más de 240 millones de euros cofinanciada por el Fondo de Desarrollo Regional (Fondos FEDER).

La continuidad de la A-7 en la zona del área metropolitana de Málaga quedó resuelta en 1992 mediante la construcción de las denominadas Ronda Oeste y Ronda Este de Málaga, que enlazaron en Torremolinos y en Rincón de la Victoria con la Autovía del Mediterráneo.

El crecimiento de las demandas de tráfico, como consecuencia del gran desarrollo urbano y turístico, puso de manifiesto ya a finales de los años 90 la insuficiente capacidad y creciente inadecuación funcional de la solución en servicio entonces. En esas

fechas se realizó un estudio de planeamiento, concertado entre Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía y Ayuntamiento de Málaga, con el objetivo de diseñar una solución que diera satisfacción a los diferentes intereses en juego: territoriales, administrativos, funcionales, ambientales, urbanísticos, etc.

Los dos tramos de Nueva 2ª Ronda de Málaga puestos en servicio el 27 de octubre de 2011 constituyen el cierre por el oeste del tramo de 24 km que fue concebido como solución tipo *by-pass* al tramo de la A-7 que venía presentando los mayores

Infraestructuras Viarias



Esquema de trazado

valores de la IMD (185 664 en 2010). En la nueva vía sólo se han construido tres enlaces intermedios, confiando al viario complementario, en construcción por la Junta de Andalucía y el Ayuntamiento, la solución de distribución y captación del tráfico en el territorio atravesado. En este espacio del valle del Guadalhorce se asientan prácticamente todos los equipamientos que sirven a la importante conglomeración urbana de Málaga: aeropuerto, Mercamálaga, Centro de Transportes, Universidades Polígonos Industriales, Parque Tecnológico, etc., así como la conexión con la autovía autonómica A-357 (del Guadalhorce) y la nueva

Carreteras identificó la necesidad de actuar aumentando la capacidad y mejorando las condiciones de servicio en la Autovía de Málaga (A-45) entre Pedrizas y Málaga.

A tal efecto tomó la decisión de promover la realización de una nueva vía en ese tramo con características de autopista de peaje, apartando la realización de un tercer carril en la A-45, tanto por las dificultades técnicas que entrañaba (túneles y viaductos) como por su elevado coste.

La nueva autopista, ahora también abierta al tráfico, supone un segundo acceso desde el interior al área metropolitana de Málaga, lo que redundará en incremento

de seguridad vial y garantía de servicio. Así mismo supone una importante reducción de distancia y tiempo de recorrido en los itinerarios hacia y desde la Costa del Sol Occidental y el Valle del Guadalhorce, todo ello en conjunción con la nueva 2ª Ronda Oeste.

La Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, de uso gratuito para todos los usuarios, consta de cuatro tramos con una longitud total de 21 km, denominados:

Tramo 1. Autopista AP-7-Conexión con la Carretera MA-417.
Tramo 2. Carretera MA-417- Autovía A-357 del Guadalhorce.
Tramo 3. Autovía A-357 del Guadalhorce- Carretera C-3310.
Tramo 4.- Carretera C-3310 – Autovía del Mediterráneo A-7.

Tramo 1. Autopista AP-7-Conexión con la Carretera MA-417.

Tramo 2. Carretera MA-417- Autovía A-357 del Guadalhorce.

Tramo 3. Autovía A-357 del Guadalhorce- Carretera C-3310.

Tramo 4.- Carretera C-3310 – Autovía del Mediterráneo A-7.

Tramo 4.- Carretera C-3310 – Autovía del Mediterráneo A-7.

Tramo 4.- Carretera C-3310 – Autovía del Mediterráneo A-7.

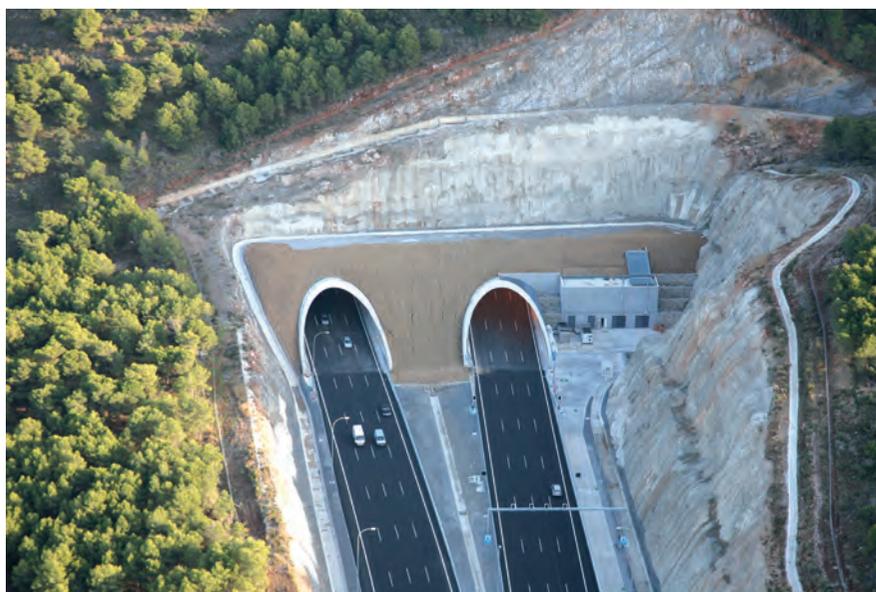
Tramo 1: Autopista AP-7 – Conexión MA-417

Este tramo de autovía, que discurre en dirección sur-norte, diseñado para una velocidad de 120 km/h y construido por FERROVIAL AGROMÁN, comprende los 6 075 m desde la conexión con la autopista AP-7 hasta la conexión con la carretera autonómica A-7052 (antigua MA-417). Además, en el origen del tramo se desarrolla el entronque con la indicada autopista que tiene una longitud de 1 500 m.

Descripción del trazado

El trazado de este tramo se inicia en la variante de Torremolinos (p.k. 224,5 de la Autopista AP-7), en las proximidades del Palacio de Congresos y Exposiciones, junto al enlace en glorieta superior de la citada localidad. La traza del tronco de la autovía se desprende de la Autopista AP-7 a una distancia aproximada de un kilómetro al sur del denominado Enlace de Torremolinos. Toma después rumbo hacia el norte y discurre bordeando por la falda de la Sierra de Churrana.

A la altura del p.k. 2,557, la traza penetra en túnel bajo la Sierra de Churrana tomando rumbo noroeste. El túnel de Churrana tiene tipología bitubo, es decir, tubos independientes para separar ambas calzadas, y longitud de unos 1 250 m.



54 Túnel de Churrana

A continuación, la traza retoma rumbo norte, para cruzar la carretera autonómica A-404 en el p.k. 4,200. En el p.k. 5,750 cruza superiormente la carretera autonómica A-7052 y finaliza en las inmediaciones del enlace de conexión con dicha carretera.

Secciones tipo

La sección transversal de la autovía está diseñada con dos calzadas, con cuatro carriles de 3,5 m de anchura, arcenes interiores de 1,5 m, arcenes exteriores de 2,5 m, y bermas exteriores de 1,5 m, tanto en las secciones de desmonte como de terraplén. Ambas calzadas están separadas por una mediana reducida de 2 m, salvo en las proximidades del túnel y en el entronque con la AP-7.

La sección del firme del tronco de autovía (tráfico T0 y explanada E-3) se corresponde con la sección estructural 031, y se compone de 4 cm de mezcla bituminosa tipo PA-12 en la capa de rodadura, 11 cm (5+6) del tipo S-20 en la intermedia y 7 cm de G-25 en la capa de base sobre 25 cm de zahorra artificial.

Enlaces y estructuras

En este tramo de la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, se ha construido un enlace, situado al origen (p.k. 0+000) y una parte del enlace inicial del tramo siguiente, situado en el p.k. 6+000.

El enlace de la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga con la Autopista AP-7 del Mediterráneo, en las proximidades de Torremolinos, está configurado propiamente por dos semienlaces: uno direccional para los movimientos entre la nueva ronda y la Autopista AP-7, hacia y desde Algeciras; y otro para los movimientos de conexión con la glorieta del Enlace de Torremolinos que permite el acceso a la citada población o el retorno hacia y desde la ciudad de Málaga.

En las proximidades del final del tramo (p.k. 6+000), pero ya en el tramo siguiente (Conexión MA-417 – Autovía A-357 del Guadalhorce), se dispone el enlace de conexión con la carretera autonómica A-7052 (antigua MA-417). De este enlace se ha desarrollado únicamente dos ramales en este proyecto. El enlace consiste en una glorieta



Pérgola de conexión con la Autopista AP-7

inferior que conecta la autovía con la carretera autonómica A-7052. El diseño del enlace tiene en cuenta la futura conexión del denominado Vial Metropolitano Distribuidor Oeste de Málaga (actuación en desarrollo por la Junta de Andalucía) y posibilita también que se conecte a ella el Acceso Norte al Aeropuerto de Málaga. En esta obra se contempló únicamente la ejecución del enlace anterior que permitió la conexión provisional con la carretera A-7052.

Además de los enlaces, se han dispuesto 9 pasos inferiores, 3 pasos superiores y 2 muros. Dos de los pasos inferiores corresponden a prolongaciones de sendos pasos inferiores existentes bajo la Autopista AP-7, y los siete restantes corresponden a nuevas estructuras. Los dos muros se han dispuesto al borde de la berma del tronco de la autovía, para evitar que la excavación en trinchera o el derrame de terraplén afectaran a edificaciones muy próximas a las márgenes de la AP-7.

Túnel bajo la Sierra de Churriana

Con orientación norte-sur y diseñado para una velocidad de 100 km/h, este túnel excavado en mina, se ha diseñado con un radio en curva de 1 300 m, una pendiente suave del 0,5%, y una velocidad de 100 km/h.

Se compone de tubos independientes para cada calzada, de 1 256 m de longitud aproximada cada uno y 185 m² de sección. Se trata de un hito en el ámbito nacional, al convertirse en el paso subterráneo para

vehículos más ancho que existe en España, que conecta Alhaurín de la Torre con Torremolinos. Cada uno de los tubos consta de cuatro carriles de 3,5 m y dos arcenes de 1 m. Además, y en lo que se refiere a los sistemas de seguridad, están equipados con apartaderos de seguridad y 13 galerías de conexión y escape, de 415 m de longitud, para la evacuación en caso de accidente. Están ubicadas cada 90 m y presurizadas (para evitar la entrada de humo en caso de incendio). Además, se han habilitado tres redes de tuberías para bomberos; tres tipos de alumbrado y guías visuales de *leds* para facilitar la conducción, con su propio centro de transformación, y dos líneas eléctricas, por si una de ellas falla. A ello se unen sis-

Unidades más importantes	
Despeje y desbroce del terreno	649 308 m ³
Excavación de tierra vegetal	151 618 m ³
Excavación total	2 565 969 m ³
Terraplén con material de la excavación	1 985 074 m ³
Excavación en túnel por métodos convencionales	536 986 m ³
Suelo estabilizado	68.939 m ³
Suelo seleccionado	71 490 m ³
Hormigón	348 968 m ³
Acero pasivo	9 535 423 kg
Acero activo	12 005 kg
Mezclas bituminosas en caliente	268 726 t

Infraestructuras Viarias

temas avanzados de videovigilancia, depuración de aire y drenaje de agua, sensores ambientales, sistemas automáticos de protección contra incendios, incidencias e intrusión.

Drenaje

El drenaje está constituido por 6 caños de 2,00 m de diámetro y otros 8 caños de 1,80 m de diámetro. Además, 2 marcos de 2,00 x 2,00 m, 4 marcos de 3,00 x 2,00 m, 8 marcos de 3,00 x 3,00 m y 3 marcos de 7,00 x 3,00 m.

Reposición de carreteras y servicios

Esta actuación ha contemplado la reposición de cuatro carreteras: A-404 a Alhaurín de la Torre (antigua A-366), la de acceso a la cantera de San Miguel, el entronque de la carretera de acceso a Torremolinos desde el actual enlace con la AP-7 y la A-7052 que va desde Churriana a la Estación de Cártama. Todas ellas totalizan una longitud de 2 344,838 m.

La reposición de la carretera A-404 (p.k. 4+200) se ha ajustado al trazado proporcionado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, que tiene prevista la duplicación de esta carretera.

La sección tipo de las reposiciones de

carreteras está constituida por 2 carriles de 3,5 m más sobreechamientos correspondiente en curvas, arcenes de 1,5 m y bermas de 0,5 m.

Finalmente hay que resaltar que se han repuesto 14 caminos agrícolas, 9 líneas eléctricas, 5 líneas de teléfono, 2 conducciones de la Dirección General de Tráfico, 1 línea de abastecimiento, 1 red de alumbrado, 1 red de abastecimiento de agua potable y 5 instalaciones de riego.

Tramo 2: Conexión MA-417 – Autovía A-357

El tramo Conexión MA-417 – Autovía

A-357 del Guadalhorce, con una longitud total de 3 900 m, discurre de Sur a Norte por un corredor que atraviesa el valle del río Guadalhorce, al Oeste de las pistas del aeropuerto de Málaga y del núcleo de población de Zapata, entre la carretera A-7052, en el término municipal de Alhaurín de la Torre y la carretera A-7054 (antigua MA-401) a la altura de Mercamálaga, en el término municipal de Málaga.

En el p.k. 0+240 se dispone el Enlace 2, de tipo diamante con glorieta central inferior a distinto nivel, mediante el cual, a través de un vial de conexión, se accede a la carretera A-7052 en Alhaurín de la Torre.



Enlace 2 con glorieta central inferior a distinto nivel (tramo 2)

Ficha técnica

Titular:

SEITT. Ministerio de Fomento.
Demarcación de Carreteras del Estado
en Andalucía Oriental

Director de la obra:

D. José Antonio Domingo Atencia
ICCP

Proyecto:

D. Enrique Rodríguez Álvarez
ICCP

Empresa constructora:

Ferrovial-Agromán

Jefe de obra:

D. Claudio Salvemini Salerno
ICCP

Asistencia técnica, control y vigilancia:

UTE Euroconsult-Geoconsult

Características geométricas

El tramo finalizado ha sido diseñado para una velocidad de 120 km/h, con un radio mínimo en planta de 1 050 m y máximo de 2 500 m. Los parámetros mínimo y máximo de clotoide son de 352 y 835, y la inclinaciones máxima y mínima de la rasante son del -2,71% y del 0,50%, respectivamente. Los parámetros mínimo de acuerdo vertical cóncavo es de 9 000 m y el máximo del convexo de 12 000 m.

Secciones tipo

La sección transversal tipo del tronco de la autovía se compone de dos calzadas de cuatro carriles de 3,5 m de ancho por carril, arcenes interiores de 1,5 m y exteriores de 2,5 m, berma exterior de 1,5 m y mediana estricta de 2 m.

Por lo que se refiere al Ramal de conexión con la A-7052, este se compone de una calzada de dos carriles de 3,5 m de ancho por carril con arcenes exteriores de 1,5 m. Se ha dejado prevista una ampliación de este ramal de enlace para cuando el flujo de tráfico así lo justifique, formada por otra calzada de dos carriles de similares características, a cota de suelo estabilizado.

En cuanto a los ramales unidireccionales de enlace con la Glorieta, la calzada es de 4 m de anchura, arcén interior de 1 m y exteriores de 2,5 m, con berma de 1,5 m.

Finalmente, la Glorieta dispone de una calzada de dos carriles de 4 m de ancho por carril, arcén interior de 1,0 m, arcén exterior de 1 m y berma de 1 m. Se ha dejado una plataforma rellena de grava prevista para poder ampliar la glorieta a 3 carriles de 4 m de ancho (a cota de suelo estabilizado), para cuando el flujo de tráfico así lo justifique.

Por lo que se refiere al firme, en el tronco de la autovía se considera una categoría de tráfico T0 y una explanada E3 la sección ejecutada es la S-032 del catálogo de secciones de firme de la Instrucción 6.1-IC (4 cm de PA-12 en la capa de rodadura, 6 cm de D-20 en estructuras y otros 6 de S-20 en terraplenes y desmontes en la capa intermedia y 10 cm de G-25 en la capa de base, excepto en estructuras. Todo ello sobre 25 cm de suelocemento SC-40, excepto en estructuras.

En los ramales y en el vial de conexión con la A-7052 se considera una categoría de tráfico T-1 y una explanada E3 la sección propuesta es la S-132 del catálogo de secciones de firme de la Instrucción 6.1-IC (4 cm de PA-12 en la capa de rodadura, 6 cm de S-20 en la capa intermedia y 10 cm de G-25 en la capa base sobre 20 cm de suelocemento SC-40.

Estructuras

El tramo Conexión MA-417 – Autovía A-357 del Guadalhorce dispone de 3 pasos inferiores, 2 pasos superiores y 2 viaductos de grandes dimensiones, siendo especialmente relevante el viaducto singular sobre el río Guadalhorce.

Pasos inferiores

Los pasos inferiores E-1 y E-2, sobre la glorieta del enlace nº 2, son puentes integrales gemelos de 2 vanos de 30 m de longitud, formados en sección por tres losas aligeradas de 1,40 m de canto, de hormigón pretensado, unidas entre si formando una plataforma para autovía de 4 carriles por sentido.

El tablero integral se empotra en tres pilas centrales de sección circular variable en cuello de botella y en 2 estribos flotantes cimentados mediante los pilotes metálicos, hincados en el terraplén, característicos de estos puentes. La cimentación de las pilas se realiza mediante encepados de 4 pilotes excavados y hormigonados "in situ".

En el p.k. 0+600 se sitúa un paso inferior (estructura E-3) que permite dotar de permeabilidad bajo la Autovía dando continuidad a un camino de servicio, formado por un marco de hormigón armado de 73 m de longitud, 10,50 m de ancho y 5 m de gálibo vertical.

Pasos superiores y muros de acompañamiento

Los pasos superiores E-4 y E-5, junto



con los muros que los unen, forman un conjunto de estructuras que permiten pasar en desmante la autovía bajo la carretera MA-416, que es vía pecuaria, y bajo el Acueducto del Rey que es un bien patrimonial a preservar por su alto valor histórico y arqueológico.

La estructura E-4, sobre la autovía para el paso de la carretera MA-416, es un puente integral de 2 vanos de 22 m de longitud, formado en sección por una esbelta losa maciza de 0,90 m de canto y 13 m de ancho, de hormigón pretensado, que se empotra en una doble pila central de sección circular y en 2 muros estribo cimentados directamente sobre el terreno y que proporciona el máximo gálibo a las calzadas de la autovía.

La estructura E-5, sobre la autovía que permite preservar el Acueducto del Rey, es así mismo un puente integral de 2 vanos de 20,70 m de longitud, formado en sección por una esbelta losa maciza de 1,00 m de canto y 23 m de ancho, de hormigón pretensado, que se empotra en cuatro pilas centrales de sección circular y ovalada, y en 2 pantallas



Viaducto sobre la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga

estribo excavadas y hormigonadas “in situ”. La estructura tiene la particularidad de su proceso constructivo, que permitió ejecutar el puente sin tocar el Acueducto del Rey y dejándolo apoyado e integrado en el puente y en la autovía.

Los muros dispuestos se dividen en dos categorías:

- Muros de contención que permiten, formando un conjunto de estructuras con la E-4 y E-5, pasar en desmante la autovía bajo la carretera MA-416 y el Acueducto del Rey. Estos muros son de hormigón armado y se dividen en tipo 1 ($h \leq 2,00$ m) a tipo 9 ($h \leq 10,00$ m). Los dos primeros tipos tienen un espesor constante del paramento vertical de 0,30 m; del tipo 3 al tipo 9 tienen el trasdós de ancho variable con un talud 1 H/11V con un espesor de 0,30 m en cabeza. Las dimensiones de las zapatas varían en función de la altura del

paramento vertical.

- Murete de contención en mediana, que sirve para absorber la diferencia de rasante entre ambas calzadas entre el p.k. 1+150 y el p.k. 1+450. Este murete es de hormigón armado y está formado por una zapata de 0,40 m de espesor y 1,65 m de ancho y un paramento vertical de altura variable y espesor constante de 0,50 m.

Además, a lo largo del recorrido del tramo cuyo contratista principal ha sido ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, y dentro del capítulo de estructuras, se destacan las E-7 Viaducto del Guadalhorce y E-8 Viaducto sobre la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga, ambas de notable complejidad y construidas por ESTRUCTURAS y MONTAJES, del Grupo PUENTES, y cuyo proyecto de construcción estuvo a cargo de PONDIO INGENIEROS, las cuales tuvieron que adaptarse en todo

momento a los medio auxiliares disponibles, alcanzándose un elevado rendimiento y acortándose los plazos de ejecución.

Viaducto del Guadalhorce

Sobre el cono de embocadura del acondicionamiento hidráulico del río Guadalhorce, la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga proyectó un viaducto singular de 798 m de longitud, capaz de soportar la avenida de 500 años de período de retorno del río Guadalhorce, dispuesto en tablero único con cuatro carriles por sentido.

El estribo sur del viaducto coincide sensiblemente en alineación con la mota del encauzamiento, proporcionando un gran esviaje en el inicio. A continuación se proyectaron los 9 vanos del viaducto que permiten llegar al estribo norte del mismo, sensiblemente más ortogonal a la mota norte del encauzamiento.

Los nueve vanos del viaducto se dis-

tribuyen con el esviaje que determina el cauce de aguas bajas, conforme a los elementos del encauzamiento que salvan de la siguiente manera: Los primeros vanos son de canto constante de 2,00 m en la zona central de cada vano, variando linealmente hasta 3,50 m en los encuentros con las pilas P-1, P-2, P-3, P-4, P-5 y P-8 y hasta 4,30 m en las pilas P-6 y P-7. Las luces varían entre 56,50 y 90,00 m, excepto sobre el cauce de aguas bajas que resulta ser de 135,00 m, todos ellos apoyados en pilas formadas por células triangulares formadas por dos puntales inclinados hacia cada vano que recibe la pila.

Las pilas se singularizan, enfatizándolas con geometrías en “V” que brotan de la coronación de los encepados, siendo especialmente notable en los márgenes del cauce de aguas bajas y que recogen el canto variable del tablero con naturalidad y eficacia estructural.

La sección transversal del tablero del viaducto es de una estructura formada por tres vigas monocajón de hormigón pretensado, de canto variable en los encuentros con las pilas. Sobre el tablero se dispuso una losa de hormigón armado de espesor variable entre 0,20 y 0,40 m entre extremo de voladizos y sección sobre las almas de las vigas.

Esta sección de alas tan esbeltas está motivada por la reducida altura de la rasante de la Ronda (condicionada por la proximidad del aeropuerto) y, por tanto, por la proximidad del tablero a los potenciales observadores del Puente (usuarios, por ejemplo, de los caminos de borde) y por la robustez visual de las pilas, de pequeña altura, pero de considerables dimensiones, adecuadas, por otra parte, a las grandes cargas que tendrán que transmitir. Se trata también de un tablero de gran anchura, que en cualquier caso requiere una agrupación de pilas, de delicado encaje visual, dificultad agravada por el notorio esviaje del tablero en relación con la dirección de circulación del agua que, además, no está inequívocamente determinada.

Las cimentaciones del viaducto se han realizado sobre los terrenos del aluvial actual del río, que presenta una naturaleza detrítica y un espesor de unos 7 a 10 m, por debajo del cual aparece la potente serie pliocuaternaria de arenas, limos y gravas

de la hoya de Málaga, hasta profundidades de 50 m, que serán las necesarias para los pilotes de cimentación de las pilas del viaducto.

El proceso constructivo del viaducto constó de las siguientes fases:

- En primer lugar se procedió a la ejecución de las cimentaciones mediante encepados de hormigón armado que transmiten las cargas al terreno mediante cimentaciones profundas consistentes en pilotes ejecutados in situ de hormigón armado, de diámetros 1 800 y 2 000 mm.
- En paralelo, al comprobarse la insuficiente capacidad de soporte del terreno (el valor medio no alcanzaba el valor de 1 kg/cm^2) y para evitar que una vez colocados los castilletes y pilas pudieran asentar el terreno durante la colocación de las vigas, se diseñó un doble tratamiento de la cimentación, consistente en la realización de una cimentación de losas de hormigón, para el apoyo de los castilletes sobre un terreno consolidado, con una excavación de la zona donde se sitúan estas losas hasta una profundidad de 2,50 m por debajo de la cota de cimentación y su posterior relleno con pedraplén. Para la consolidación del terreno se procedió a realizar unas precargas mediante dados de hormigón situados sobre estas losas de cimentación de los castilletes, simulando una carga equivalente a la que tendrían que soportar durante el proceso constructivo. En aquéllas zonas donde esta sustitución del terreno era inviable y la capacidad del terreno era incluso inferior a la señalada arriba (zonas aledañas al río Guadalhorce) se optó por la hinca de pilotes prefabricados que aseguren el correcto funcionamiento de los encepados sobre los que se colocaron los apeos.
- La siguiente fase consistió en la realización de los alzados de pilas y estribos. Las pilas, al ser en forma de "V", requerían una cimbra apoyada sobre torres de apeo. Los estribos fueron diseñados con muros en vuelta para contención de las tierras.
- Posteriormente se colocaron las vigas prefabricadas sobre las pilas y torres de apeo provisionales, uniéndolas median-



A lo largo del tramo 2 se han dispuesto 3 pasos inferiores, 2 pasos superiores y 2 viaductos de grandes dimensiones

te hormigonados in situ y postesados. Una vez unidas se realizó el hormigonado de losa sobre prelasas situadas entre hastiales de vigas.

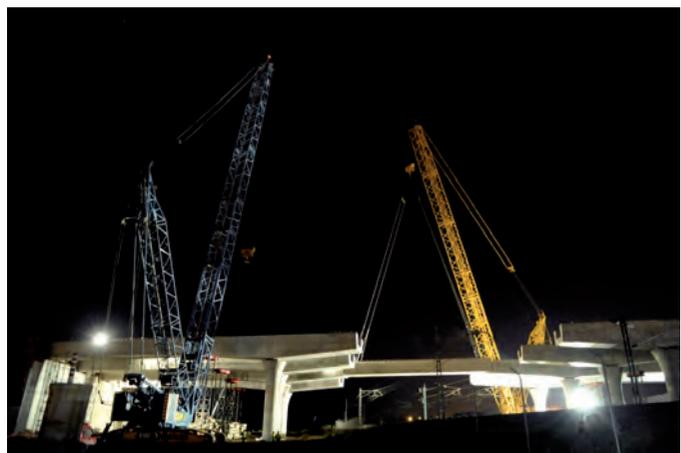
- Por último, se hormigonaron los voladizos del tablero mediante carro de encofrado.

Viaducto sobre la L.A.V. Córdoba-Málaga

Finalmente destaca la estructura del viaducto sobre la L.A.V. Córdoba-Málaga y el Polígono Guadalhorce que, con sus 583,42 m de longitud, salva la Línea de Alta Velocidad Córdoba – Málaga, el polígono industrial de Mercamálaga y la carretera A-7054 (antigua MA-401).

El viaducto, que tiene 15 vanos de 45,00 + 55,00 + 45,00 + 6x36,72 +

3x39,60 + 41,00 + 34,60 + 23,70 m formado por un único tablero con cuatro a seis carriles por sentido. La sección, de ancho variable de 46,70 a 53,60 m, está formada por cuatro vigas monocajón de hormigón pretensado de 2,20 metros de canto en todos los vanos salvo en el vano 2, en el que el canto de las vigas es de 2,00 metros en el centro de vano y linealmente variable en las proximidades de las pilas hasta llegar a 3,00 metros. Sobre el tablero se dispone



Vista nocturna del proceso constructivo

Infraestructuras Viarias

Unidades más importantes	
Despeje y desbroce del terreno	347 076 m ³
Excavación de tierra vegetal	123 995 m ³
Excavación en desmonte	576 862 m ³
Terraplén con material de la excavación	119 605 m ³
Terraplén con material de préstamos	1 072 240 m ³
Suelo estabilizado	41 082 m ³
Suelo seleccionado	51 329 m ³
Hormigón	219 934,48 m ³
Acero en armaduras pasivas	22 592 270,00 kg
Acero en armaduras activas	1 204 106,41 kg
Viga prefabricada canto constante	2 898,91 m
Viga prefabricada canto variable	1 561,53 m
Pilotes in situ diámetros 1 800/2 000 mm	11 872,40 m
Pilote prefabricado hincado T-400 mm	36 666,00 m

una losa de hormigón armado de espesor variable entre 0,25 y 0,42 metros entre extremo de voladizos y sección sobre las almas de las vigas.

Las pilas de hormigón armado, de proporcionada altura con el tablero, se estilizan adoptando una sección circular variable en cuello de botella. La cimentación se realiza mediante encepados de pilotes prefabricados.

Drenaje

En lo referente al drenaje del tronco de autovía, se han realizado 5 obras de drenaje transversal consistentes en 1 tubo de Ø 1 800 mm de hormigón armado y 4 marcos de hormigón armado de diferentes dimensiones. En el vial de conexión con la A-7052 se realizaron 2 obras de drenaje transversal, consistente en 1 tubo de Ø 1 800 mm de hormigón armado y 1 marco de hormigón armado

El drenaje longitudinal está formado básicamente por una serie de cunetas, encauzamientos de hormigón ciclópeo, bajantes, caz prefabricados, bordillos y colectores de hormigón.

En la realización de la obra se han afectado los siguientes servicios: 10 líneas eléctricas, 2 líneas telefónicas, 1 oleoducto,

1 conducción de gas natural, 2 conducciones de abastecimiento, 6 conducciones de saneamiento y 4 redes de riego.

Protección ecológica, paisajística y ambiental

La obra ha realizado la integración paisajística con extendido de tierra vegetal y posterior hidrosiembra y plantación de arbustos y plantas en los taludes de la autovía y pasos transversales, así como la protección acústica con la protección del casco urbano de la Barriada de Zapata, protección de fauna, y seguimiento arqueológico, durante el movimiento de tierras, con el fin de proteger el posible patrimonio arqueológico subyacente y no visualizado. En cuanto al Acueducto del Rey, inscrito en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz con carácter específico, se ha realizado la estructura E-5 cuya particularidad de su proceso constructivo ha permitido ejecutar el paso superior sin tocar el Acueducto del Rey, y dejándolo apoyado e integrado en la estructura y en la autovía.

Finalmente, durante la fase de construcción, y al objeto de evitar los riesgos derivados de un vertido accidental de sustancias peligrosas, se ha construido una balsa de decantación asociada a las instalaciones auxiliares, planta de aglomerado y parque de maquinaria.

Autovía A-357 del Guadalhorce - Carretera C-3310 (Tramo 3) y C-3310-Autovía del Mediterráneo (Tramo 4)

Estos dos tramos, que suman una longitud total de 11,4 km, fueron abiertos al tráfico el pasado 28 de diciembre de 2010, y supusieron una inversión conjunta de cerca de 190 millones de euros (véase *Rutas nº 142*).

La apertura al tráfico de estos tramos supondrá la absorción diaria de unos 54 000 vehículos, que antes transitaban por la ronda oeste de circunvalación, y que en 2030 crecerán hasta los 114 000 de IMD.

Por otro lado y gracias a las modificaciones introducidas por el Ministerio de Fomento, el tramo A-357-C-3310 dispone de 4 carriles por sentido de la circulación y el C-3310-Autovía A-7, de tres, lo que supuso la ampliación de un carril más por tramo, cuya sección transversal consta de 4 y 3 carriles de 3,5 m de anchura por sentido de circulación respectivamente, arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de 1,50 m, mediana de 2 m y bermas de 1,50 m. Gracias a estas medidas, se ha dotado a esta autovía de un sensible aumento de su capacidad circulatoria con sus consiguientes beneficios.

Por lo que se refiere a la sección del firme adoptado para el tronco de la autovía, se corresponde con la sección 032, de tipo semirrígido, y consta de una subbase de suelocemento de 25 cm de espesor y una sucesión de capas de mezclas bituminosas en caliente de 20 cm de espesor total: 4 cm de PA-12 de tipo drenante en la capa de rodadura, 6 cm de S-20 y 10 cm de G-25.

La categoría de explanada adoptada para los diferentes viales ha sido de tipo E3, y se ha obtenido mediante la ejecución de una capa de suelo estabilizado "in situ" con cemento de 30 cm de espesor, sustentada sobre un relleno de suelo seleccionado tipo 2, de espesor variable en función de la calidad del suelo donde descansa.

Tramo 3. Autovía A-357 del Guadalhorce - Carretera C-3310

Como recordarán nuestros lectores,

Ficha técnica

Titular:

SEITT. Ministerio de Fomento.
Demarcación de Carreteras del Estado
en Andalucía Oriental

Director de la obra:

D. José Antonio Domingo Atencia
ICCP

Proyecto:

D. Javier Rui-Wamba Martija
ICCP

Empresa constructora:

Acciona Infraestructuras

Jefe de obra:

D. Francisco José López López
ICCP

Asistencia técnica, control y vigilancia:

UTE Getinsa-Appplus-Geocontrol



A lo largo del tramo 3, de 5,1 km de longitud, se han dispuesto 17 estructuras

este tramo de 5,1 km de longitud, construido por OHL discurre desde la Autovía del Guadalhorce, a la altura del centro de transportes por mercancías, hasta la C-3310, camino viejo de Antequera, al final del Puerto de la Torre. Su construcción supuso, entre otras actuaciones, la realización del Enlace del Guadalhorce, complejo nudo viario que permite la conexión entre la Nueva Ronda Oeste y otros tres viales: la Autovía A-357, el Vial Metropolitano y la carretera A-7076 de Campanillas. Así mismo, el tramo final del Vial Metropolitano Distribuidor Oeste, de algo menos de 2 km de longitud, entre la A-7054 (antigua MA-401 o Avenida de José Ortega y Gasset) y su conexión con la Nueva Ronda Oeste, transitando junto al Centro de Transportes de Mercancías. Además, la restitución de la A-7076 (antigua MA-405, carretera de Campanillas).

Estructuras

El tramo presenta un total de 17 estructuras, destacando entre ellas el viaducto de Los Ruices, que salva el cruce con la profunda vaguada del arroyo Arias, en la parte central del recorrido. Su longitud total es de 221 m, dispuesta en siete vanos donde los extremos son de 23 m y los centrales de 35 m cada uno. El tablero es de vigas prefabricadas y las cimentaciones son directas.

En cuanto al resto de estructuras, hay que destacar:

- 5 pasos superiores con distintas soluciones: uno con losa continua postesada, de canto constante de 1 m; y dos pasos con tablero de vigas prefabricadas tipo artesa. Además se deben mencionar los pasos superiores de tableros mixtos del enlace del Guadalhorce, con longitudes de 280 y 367 m respectivamente, que cruzan en tres niveles de altura sobre la autovía A-357 y sobre la Nueva Ronda de Circunvalación de Málaga.
- 11 pasos inferiores para dar continuidad a caminos existentes o de nueva ejecución, con soluciones de tipo marco de hormigón armado para tres de ellos, losa continua postesada de canto constante de 0,75 m para uno, tablero de vigas prefabricadas tipo doble T en 5 ocasiones, artesa en una de ellas, y, por último, la ampliación de una bóveda triarticulada existente de dimensiones interiores 6,0 x 4,0 m.

Además, se distinguen 4 muros de contención de tierras, situados en su totalidad en los ramales del enlace del Guadalhorce, y la disposición de 49 obras de drenaje transversal: 11 de ellas situadas a lo largo

del tronco de la autovía y el resto en los ramales del enlace del Guadalhorce. La mayor parte se corresponde con marcos o bóvedas de hormigón armado, de dimensiones interiores comprendidas entre 2 x 2 y 7 x 3 m.

También hay que destacar que, a lo largo del tronco de la autovía, se ha dispuesto cuneta trapezoidal y colector de 1 000 mm en la mediana, así como cunetas revestidas laterales en zona de desmonte, de 1,5 m de anchura. Estas últimas también se encuentran en todos los ramales de enlace.

Tramo 4. C-3310- Autovía del Mediterráneo A-7

Este tramo, que ha sido construido por la UTE SACYR-PRINUR, y ha supuesto una inversión aproximada de 91,66 millones de euros para sus 6,31 km de longitud troncal, discurre entre las inmediaciones del antiguo camino de Antequera (al norte de Málaga, entre la urbanización "El Ventorriño" y el paraje de San Cayetano), y el p.k. 240 aproximadamente de la actual Autovía del Mediterráneo, A-7, cerca del enlace de Las Virreinas.

Estas nuevas infraestructuras beneficiarán sensiblemente a los camiones que



El tramo 4 tiene una longitud de tronco de 6,31 km y supuso una inversión aproximada de 91,66 millones de euros

antes iban al CTM, atravesando el falso túnel de Carlos Haya; a los más de 15 000 empleados del Parque Tecnológico de Andalucía, y a los vecinos de Teatinos, Campanillas y Puerto de la Torre.

Entre sus características geométricas hay que destacar que la nueva infraestructura ha sido diseñada con un radio mínimo en planta de 500 m y máximo de 5 000 m, y una pendiente máxima del 4,98%. Así mismo, a lo largo de su recorrido se han dispuesto: un enlace, siete viaductos con una longitud conjunta de 1 105 m, cinco pasos superiores, un paso inferior, dos pasos de fauna y siete obras de drenaje (marcos de 32 x 2,5 m).

Descripción del trazado

En el inicio, la autovía toma dirección noreste y resuelve la conexión con la carretera A-7075 mediante un enlace de tipo diamante con glorieta inferior, de 70 m de radio, que se salva con dos estructuras de vano único sobre estribos de tierra armada y tablero de vigas prefabricadas, dando acceso a la barriada de Puerto de la Torre y a la población de Almogía.

A partir de esta zona, el trazado gira hacia el sureste, bordeando los parajes de Los Llanos y Los Gázquez.

El arroyo España se cruza con dos viaductos seguidos, de 93 m y 153 m de longitud, y se alcanza el punto más alto de

la obra situado a 241 m sobre el nivel del mar.

El paso sobre el arroyo de la Salud se realiza mediante un viaducto de 80 m de longitud; y en el arroyo Teatinos se ubica un doble viaducto, el más largo del recorrido, con 266 m, con vanos comprendidos entre 26,50 y 40,00 m en el lado izquierdo; y entre 27,50 y 40 m, en el derecho.

Más adelante, la Ronda gira en dirección este, bordeando por el sur un grupo de edificaciones existentes, y pasando el arroyo del Cuarto con otro viaducto de 100 m de longitud, buscando a continuación la intersección con la A-7, y salvando el arroyo de Los Ángeles mediante el último de los viaductos, de 240 m de largo.

El tramo finaliza en el enlace con la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste con la A-7, que se realiza con un gran esviaje, por lo que se han dispuesto dos estructuras en pérgola para la conexión entre las diferentes calzadas y las vías de servicio implicadas. La penetración de la Nueva Ronda en la A-7 se efectúa por el centro, para lo que ha sido necesario ejecutar una variante de 800 m para la calzada derecha (en sentido a Ronda Este) de la actual A-7, completándose los ramales de conexión con el enlace Las Virreinas.

Estructuras

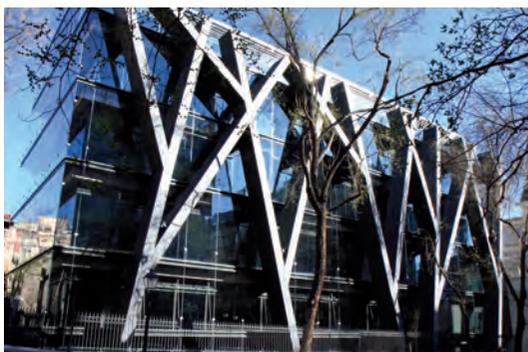
En lo que se refiere a los viaductos mencionados y dispuestos en el tronco de la autovía, todos han sido construidos con vigas doble T prefabricadas, cimentación directa (dos de ellos profunda con micropilotes) y con longitudes de entre 27 (1 vano) y 266 m (6 vanos). Con igual tipología se diseñó el Puente Arroyo España y cimentación profunda.

Por lo que se refiere al paso inferior dispuesto en el tronco se trata de una pérgola, también con vigas doble T prefabricadas y cimentación superficial.

Finalmente los pasos superiores: tres de ellos en camino transversal, construidos con hormigón postesado y cimentación superficial; y los dos restantes, dispuestos en sendos enlaces, son de tipo pérgola con vigas doble T prefabricadas y cimentación superficial.

Finalmente tan sólo resta remitir a nuestros lectores al citado nº 142 de nuestra revista para complementar la información relativa a estos dos últimos tramos. ❖

PROYECTAMOS ESTRUCTURAS



- Puentes
- Estructuras singulares de edificación
- Edificios en altura
- Estructuras metálicas
- Estructuras de hormigón armado y pretensado
- Estructuras mixtas de hormigón y acero
- Medios Auxiliares para la construcción

Pondio
Ingenieros

C/ Infanta Mercedes, nº90 - 1ªpl. 28020 MADRID
Telf: 91 781 85 90 Fax: 91 781 85 93
www.pondio.com / pondio@pondio.com

Reunión de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras



El pasado 28 de noviembre tuvo lugar, en la sede de la ATC, la reunión que tradicionalmente celebra la Junta Directiva por estas fechas. El objetivo principal fue la presentación del presupuesto para el próximo año que, en esta ocasión, ha sido elaborado desde la prudencia obligada que exige la situación económica del sector. El presupuesto fue aprobado por unanimidad.

El Presidente, **D. Roberto Alberola**, informó a la Junta sobre los hechos más importantes acaecidos desde la reunión anterior entre los que destacó la celebración del Congreso Mundial de Carreteras, que tuvo lugar en México a finales del mes de septiembre, y sobre el que la revista ya ha publicado una extensa información. No obstante, el Presidente destacó no solamente la brillante presencia de los técnicos de los comités nacionales en las distintas sesiones del Congreso, sino también la aprobación por parte de la Asociación Mundial de Carreteras de la composición de los nuevos Comités Internacionales entre los que España contará con dos presidentes y varios secretarios.

El Presidente también informó sobre la remodelación de las oficinas de la ATC, aprobada en la anterior reunión de la Jun-

ta, que tuvo lugar el pasado mes de junio, y cuyas obras han llegado a feliz término, habiéndose realizado durante el verano sin interrupción de la actividad diaria de la Asociación. Al respecto, se informó que ya se han formalizado unos cuantos cursos para el próximo año, que era uno de los objetivos de la remodelación de las citadas oficinas. Al terminar la reunión, los miembros de la Junta tuvieron la ocasión de visitar las nuevas salas y pudieron comprobar el grado de tecnificación con el que se han llevado a cabo los trabajos.

También, y aprovechando la reunión de la Junta Directiva, se procedió a la entrega

del premio “Jóvenes profesionales” convocado por la Asociación a primeros de año. El premio, dotado con 5 000 €, se ha otorgado en esta ocasión al trabajo presentado por **D. José M^a Zamora Pérez**, y aparece publicado en la sección de Rutas Técnicas de este mismo número de nuestra revista.

Finalmente y como viene siendo habitual, se otorgaron los nombramientos de miembros de Honor y Socios de Mérito de la Asociación, que en este año recayeron en **D. Sandro Rocci** y **D. José M^a Morera**, los primeros, y en **D. Carlos Oteo**, **D. Adolfo Güell** y **D. Antonio Medina**, los segundos. ❖



Entrega del Premio “Jóvenes profesionales”



La instantánea recoge el momento en el que Dña. Belén Monercillo, da lectura al acta de la reunión de la concesión del premio. De izquierda a derecha, D. José M^a Zamora, D. Carlos Delgado, Dña. Belén Monercillo, D. Adolfo Güell, D. Roberto Alberola, D. Jesús Díaz, D. Pablo Sáez y D. José M^a Izard

El pasado 28 de noviembre, tras la reunión de su Junta Directiva y en lo locales de la Asociación Técnica de Carreteras, tuvo lugar la entrega del citado premio a **D. José M^a Zamora Pérez**, por su trabajo **“Conservación integral obras de drenaje transversal. Tubos de acero corrugado y galvanizado”**.

El jurado, que tomó la decisión por unanimidad en su reunión del pasado 16 de noviembre de 2011, estuvo compuesto por **D. Roberto Alberola**, *Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras y del Jurado*; **D. Adolfo Güell**, *Vocal representante del Ministerio de Fomento*; **D. Jordi Follía**, *Vocal representante de las Comunidades Autónomas*; **D. Jesús Díaz**, *Vocal representante de los socios individuales*; **D. Carlos Delgado**, *Vocal representante de las Escuelas Técnicas*; **D. José M^a Izard**, *Vocal representante de las empresas constructoras*; **D. Pablo Sáez**, *Vocal representante de las empresas constructoras*; y **Dña. Belén Monercillo**, *Secretaria del Jurado y Directora de la ATC*.

El jurado justificó la concesión del premio porque se trata de un “documento que

demuestra una inquietud profesional muy marcada, identificando un problema latente, con un planteamiento de soluciones técnica y económicamente viables. La presentación del trabajo, en un formato que puede ser utilizado a modo de manual práctico, ha sido valorada de forma muy positiva por el Jurado, que determina además que dicho trabajo se ajusta perfectamente a lo expresado en las bases del Premio”.

El resto de trabajos que llegaron a la final fueron: *“La auscultación de firmes como herramienta para la eficiencia en la conservación de carreteras”*, de D. Alberto Martínez Navarro; *“Uso de las columnas de grava para la formación de explanadas viarias”*, de D. Emmanuel Carvajal; y *“Aprovechamiento del material procedente del fresado de firmes flexibles en obras de carretera”*, de D. Raúl Martínez. ❖



D. Roberto Alberola, Presidente de la ATC y del Jurado haciendo entrega del premio a D. José M^a Zamora



Entrega de distinciones de Socios de Honor y Socios de Mérito de la Asociación Técnica de Carreteras

El pasado 28 de noviembre de 2011 y de acuerdo a lo aprobado por la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras, celebrada el 20 de junio del presente año, tuvo lugar la entrega de distinciones de Socios de Honor a D. José M^a Morera y D. Sandro Rocci; y de Mérito a D. Carlos Oteo, D. Adolfo Güell y D. Antonio Medina.

Para la Junta Directiva “todos ellos reúnen sobradas condiciones por su larga trayectoria dentro de la Asociación en la que han volcado de forma desinteresada todo

su conocimiento y buen hacer, colaborando al mejor nombre de la misma”.

La entrega, que tuvo lugar en un céntrico club privado de la capital, contó con la asistencia, entre otros, del Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento, D. José M^a Pertierra de la Uz; D. José Luis Elvira, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento; y D. Enrique Balaguer Camphuis, Ex - Presidente de la Asociación Mundial de Carreteras y Ex - Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento. El acto

de entrega comenzó con las palabras de D. Roberto Alberola, Presidente de la Asociación, quien subrayó la constante e inestimable colaboración profesional y humana de los premiados, agradeciéndoles en nombre propio y en el de la ATC el trabajo realizado a lo largo de muchos años y que han hecho posible, junto a otros, que la ATC consiga cumplir con los objetivos para los que fue creada.

Tras estas palabras se procedió a la entrega de distinciones que recogemos gráficamente.





Sandro Rocci

Nacido en Roma en 1937 y educado en España, es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Escuela Especial (1960), obteniendo el Doctorado en 1969. Su labor docente en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid comenzó en 1968 como Profesor Encargado de curso, siendo sucesivamente Profesor Asociado, Titular y Catedrático (2000-2007). Desde 2007 es Profesor Emérito.

Además, de su labor docente, de 1958 a 1962 realizó trabajos de investigación en el Instituto "Eduardo Torroja" de la Construcción.

Dentro del Ministerio, de 1962 a 1964 fue Ingeniero colaborador a pie de obra en la Jefatura Provincial de Carreteras de Madrid, y de 1964 a 1966 en la División de Materiales de la Dirección General

de Carreteras. Los siguientes 9 años estuvo en servicio activo en la 1ª Jefatura Regional de Carreteras y tras ellos, de 1989 a 1991, fue nombrado Subdirector General de Tecnología y Proyectos de la misma Dirección. Su carrera profesional dentro del Ministerio se cerró en 1992 tras ejercer como Consejero Técnico de Relaciones Internacionales.

Finalmente, durante los años 1992 a 1997 trabajó en el grupo EUROCONSULT y desde 1997 tiene una dedicación completa a la Universidad.

Tiene publicados numerosos artículos y libros sobre temas profesionales, y ha presentado muchas ponencias y comunicaciones en Congresos nacionales e internacionales.

En cuanto a su labor en la ATC, es socio individual desde 1974 y ha pertenecido al Comité Ejecutivo de la Asociación. En el año 1986 perteneció a la Junta Directiva de la ATC como Vocal por la Dirección General de Carreteras de la Administración Central del Estado y en 1994 Vocal como Socio Individual de la Junta Directiva. Actualmente es Vicepresidente de la Junta Directiva.

Además, hoy en día es Presidente del C.T. de Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano, habiendo pertenecido a los Comités de Firms Flexibles, Firms Bituminosos, Firms de Hormigón, Firms Rígidos y Secretario del C.T. de Seguridad Vial en el periodo 1992 a 1995.

También ha sido representante español en los Comités Internacionales de Intercambio de Tecnología y Desarrollo y de Seguridad Vial (1992-1995).

Finalmente, resaltar que es miembro del Comité de Redacción de la Revista Rutas desde su creación.



José M^a Morera Bosch

José María Morera es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos con estudios en Alta Dirección de Empresas (PADE) del IESE.

Trabaja en el sector de las autopistas de peaje desde el año 1982, iniciando su carrera profesional en Iberpistas de la que fue Consejero Delegado. Tras la fusión de esta empresa con Abertis Infraestructuras en el año 2003, fue nombrado Director General

de Abertis Autopistas de España. Como consecuencia de ese cargo, ha sido primer ejecutivo de las concesionarias Acesa, Aucat, Aumar, Iberpistas, Castellana, Vasco Aragonesa y Aulesa, hasta finales del año 2010.

En la actualidad es Presidente de Henarsa (Radial2), Presidente de Tradós 45 (M-45), Consejero de Accesos de Madrid (Radiales 3 y 5), Vicepresidente de Aseta y Vicepresidente de la Comisión de Infraestructuras de la CEOE

Anteriormente, trabajó en el Centro de Estudios y Experimentación del Ministerio de Obras Públicas y en Geocisa (Grupo Dragados) y ha sido, durante 15 años, Profesor en la Escuela de Caminos de Madrid.

Con la ATC ha venido colaborando de forma ininterrumpida desde el año 1980. Ha pertenecido al Comité Internacional de Características Superficiales (hasta 1987) y al de Financiación (hasta 1995). Es miembro de la Junta Directiva y, en su día, lo fue del Comité ejecutivo de la Asociación. Ha formado parte, a lo largo de los años, de distintos Comités Técnicos Nacionales (Firms de Hormigón, Conservación de Carreteras, Firms Rígidos, Firms Flexibles y Presidente del Comité de Financiación y Evaluación Económica) y ha participado como ponente en numerosos congresos y seminarios tanto en España como en el extranjero.

Ha sido distinguido, en el año 2010, con la medalla al Mérito Profesional por el Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos.

La Asociación informa



Carlos Oteo Mazo

Nacido en Madrid, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid, ha sido desde becario a Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (26 años) y docente de Geotecnia y Cimientos, desde Profesor En-



Antonio Medina Gil

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en 1967 por la Escuela de Madrid, inició su ejercicio profesional en consultorías de ingeniería, en Madrid y en Alicante, en donde en 1973 obtuvo, por oposición, una plaza de Ingeniero en la Diputación Provincial de Alicante. Desde esa fecha hasta su jubilación, en septiembre de 2011, ha desempeñado su ejercicio profesional en ese organismo, iniciado en 1975, como Director del Departamento de Vías y Obras, Área que comprendía las competencias de ingeniería de la Administración provincial, las obras de ámbito municipal y especialmente



Adolfo Güell Cancela

Nacido el 15 de junio de 1961, Adolfo Güell es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Escuela Técnica Superior de ICCP de Madrid. De 1987 a 1991 ejerció profesionalmente

cargado de Clases Prácticas hasta Catedrático (de Ingeniería del Terreno, como se denomina actualmente), habiendo desarrollado su labor docente en Madrid (principalmente), Granada y A Coruña. Parte de esta actividad docente es la dirección de 24 Tesis Doctorales, la publicación de más de 270 trabajos en revistas, libros y congresos y dictar más de 250 conferencias.

Ha sido asesor geotécnico de diversos proyectos y obras de ferrocarriles, carreteras, obras portuarias, tratamiento del terreno, túneles, centrales de energía, etc., destacando su intervención como asesor en la ampliación del Metro de Madrid (1995-2011), como asesor del Ayuntamiento de Madrid para el soterramiento de Calle 30 y otros túneles, asesor de ADIF para los túneles de Guadarrama, y de la Dirección General de Carreteras para diversos problemas de sus obras.

Carlos Oteo es desde hace años Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC y ha pertenecido al Comité Técnico Internacional de Obras de Tierras, Drenajes y Explanadas de la Asociación Mundial de Carreteras durante el periodo 1992-1995. También es autor de más de 300 publicaciones.

la gestión de la red de carreteras dependientes de la Diputación, tanto en el capítulo de conservación como en el de su mejora, incluyendo en ella el aumento de su longitud en aproximadamente 250 km, llegando a los 1 000 actuales.

El interés por la Red Local, su atención y mejora, le ha llevado a participar en reuniones, congresos, cursos, masters y simposios relacionados con la materia, en un gran número de instituciones.

Socio de la ATC desde 1996, Antonio Medina ha pertenecido a su Junta Directiva en los periodos 2000-2004 y del 2009 al 2011, como vocal relacionado con las carreteras de las Diputaciones Forales y Provinciales, así como de los Cabildos Insulares.

Pertenece al Comité Técnico de Carreteras y Caminos Locales, actualmente C.T. de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico desde el año 1992, siendo actualmente su Presidente.

En otra vertiente profesional ha participado en tareas colegiales, desempeñando la Delegación de Colegio de Caminos en Alicante desde 1991 a 2004, habiéndosele concedido la Medalla del Mérito Profesional de dicho Colegio, como también, en relación con su actividad viaria, la medalla de Plata de la A.E.C., y la medalla de Hermano del Santo, de la Cofradía de Santo Domingo de la Calzada.

su carrera en la empresa privada hasta su ingreso, en 1991, en el Cuerpo de Ingenieros del Estado. Desde esa fecha, ha trabajado como Ingeniero de proyectos y obras en la Autoridad Portuaria de Vigo, de 1993 a 1998 como Técnico Superior de Proyectos y Obras en la Unidad de Carreteras del Estado en Pontevedra, y, desde 1998 hasta la fecha, ejerce como Ingeniero jefe de Unidad de Carreteras del Estado en Ourense.

En cuanto a su labor asociativa, es miembro y representante español en el Comité Técnico de Firms de la Asociación Mundial de Carreteras, Presidente del Comité Español de Firms de la ATC, Miembro del Comité Técnico de Conservación, Gestión y Vialidad Invernal, y Miembro Internacional en el grupo de normalización europea CEN TC. Es socio individual de la ATC desde el año 2002, y, desde 2005, pertenece a su Junta Directiva como vocal designado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. ❖

Jornada Técnica sobre Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes Madrid, 26 de enero de 2012

En la sala Agustín de Betancourt del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, C/ Almagro, nº 42 de Madrid, tendrá lugar esta jornada, promovida por el Ministerio de Fomento, y organizada por la Asociación Técnica de Carreteras y la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE) con la colaboración del citado Colegio.

Presentación de la jornada

Esta jornada está dirigida a todos los profesionales vinculados a los puentes, en todo aquello relacionado de manera especial con los aparatos de apoyo, las juntas y los sistemas de drenaje. No sólo a los responsables del mantenimiento, porque si los proyectistas, constructores e ingenieros de las administraciones no aprenden de los errores, de los comportamientos reales de aparatos de apoyo, de las juntas y de los sistemas de drenaje, no se sentirán estimulados a mejorar los procesos y se repetirán los mismos errores. Esta jornada es una magnífica oportunidad para fomentar ese diálogo imprescindible y, hasta hoy, insuficiente entre todos los actores de esta trama.

También se realizará la presentación del documento "**Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes**", que ha redactado un panel de expertos integrados en un grupo de trabajo común al Comité de Puentes de la ATC-AIPCR y a la Comisión 4, Uso y Mantenimiento, de ACHE. Se trata de una interesante referencia que viene a cubrir, con profundidad, rigor y carácter práctico una laguna en la bibliografía, tanto de la Ingeniería de Mantenimiento, como de proyecto y ejecución. Se entregará un ejemplar del libro a cada participante.

Finaliza la sesión de la mañana con una mesa redonda sobre las operaciones de mantenimiento más necesarias para asegurar una correcta duración de los distintos elementos ya citados, así como de los rendimientos que

cabe esperar de cada uno de ellos.

Por la tarde se tratarán distintos casos de sustituciones o mejoras en aparatos de apoyos, juntas y sistemas de drenaje con un vistazo a ciertos problemas adicionales causados por fallos detectados o imprevistos. Antes de la clausura tendrá lugar una mesa redonda, que versará sobre los aspectos que hay que mejorar a la hora de proyectar y construir estos elementos tan específicos de los puentes para minimizar las actuaciones de reparación necesarias.

La dirección técnica de la jornada estará a cargo de **D. Álvaro Navareño Rojo**, *Presidente del Comité de Puentes de la ATC*, y *Consejero Técnico de la Subdirección de Conservación. DGC. del Ministerio de Fomento*.

Programa técnico

08:30 • 09:15 Acreditaciones

09:15 • 09:30 Acto de Inauguración

09:30 • 10:00 Presentación del Documento

D. Álvaro Navareño, *Presidente del Comité de Puentes de la ATC*.

D. Javier León, *Presidente de la Comisión 4 de ACHE*.

D. Luis Villamonte, *Coordinador del Grupo de Trabajo*.

Sesión 1: Experiencias en Inspección y Mantenimiento

Moderador D. Pablo Díaz Simal, *LCEM-CEDEX*.

10:00 • 10:30 Aparatos de Apoyo: Tipos y Patologías Frecuentes

D. Gonzalo Arias, *Ines Ingenieros*.

10:30 • 11:00 Selección y Tendencias Actuales en Aparatos de Apoyo

D. Ignacio Pulido, *Ideam*.

11:00 • 11:30 Pausa-Café

11:30 • 12:00 Juntas de Calzada: Tipos y Patologías Frecuentes

D^a. Ana Belén Menéndez, *Geocisa*.

12:00 • 12:30 Sistemas de Drenaje en Puentes Ferroviarios: ADIF

D. Víctor Aragoncillo, *ADIF*.

12:30 • 13:00 Inspección y Mantenimiento: Reflexiones
D. Luis Ortega, *Reti-neo*.

13:00 • 13:45 Mesa Redonda: Operaciones de Mantenimiento - Durabilidad
Moderador D. Javier Payán de Tejada, *DGC, Valladolid, M^o de Fomento*.

D. Emilio Asensio, *DGC, Sevilla, M^o Fomento*.

D. Luis Ayres, *API Movilidad*.

D. Antonio Jesús Tocino, *Ferrosfer*.

D. Juan Ubera, *Iberpistas S.A.C.E.*

13:45 • 14:00 Coloquio

14:00 • 15:30 Almuerzo

Sesión 2: Actuaciones de Rehabilitación y Sustitución

Moderador D. Luis Villamonte, *Coordinador del G. de Trabajo*.

15:30 • 16:00 Experiencias en Sustitución de Aparatos de Apoyo (I)

D. Francisco González, *Betazul*.

16:00 • 16:30 Experiencias en Sustitución de Aparatos de Apoyo (II)

D. Patrick Ladret, *Freyssinet*.

16:30 • 17:00 Experiencias en Sustitución de Juntas

D. Miguel Angel Delgado, *Composán*.

17:00 • 17:30 Experiencias en Mejora del Sistema de Drenaje

D. Santiago Rodón, *Abertis Autopistas España*.

17:30 • 18:00 Mesa Redonda: Recomendaciones para el Proyecto y Obra

Moderador: D. Jose Antonio Hinojosa, *DGC, S.G. Adjunto de Proyectos, M^o Fomento*.

D. Antonio García, *Cintra*; **D. Javier León**, *Fhecor Ingenieros Consultores*; **D. Jose Manuel Simón**, *Torroja Ingeniería*; **D. Javier Albajar**, *Maurer*.

18:00 • 18:30 Conclusiones y acto de clausura



Jornadas Técnicas organizadas por la ATC

Precio de la jornada

Pago por TPV (Pago inmediato con tarjeta de crédito):

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 255,30 € + 18 % IVA).
- Socios Colectivos y siguientes plazas de Socio Protector: 255,30 € + 18 % IVA.

- Resto de Asistentes: 277,50 € + 18 % IVA.

- de Socio Protector: 276 € + 18 % IVA.
- Resto de Asistentes: 300 € + 18 % IVA.

Otras formas de pago

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 276 € + 18 % IVA).
- Socios Colectivos y siguientes plazas

Jornada técnica sobre Drenaje superficial y profundo en infraestructuras del transporte Madrid, 2 de febrero de 2012

En la misma sala del citado Colegio tendrá lugar esta jornada, promovida por el Ministerio de Fomento, y organizada por el Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras con la colaboración del citado Colegio.

Presentación de la jornada

El drenaje superficial y profundo es uno de los aspectos fundamentales para el diseño de las obras de infraestructura lineal, tanto de carretera como de ferrocarril. Un inadecuado diseño ha originado tantos daños (y reducción de la vida útil) en las plataformas viarias como en las inmediaciones de las mismas (inundaciones, erosiones, etc.).

Por eso la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento viene prestando atención especial a este problema, que se reflejó en 2003 en la publicación de unas "Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera", fruto de la cual fue la jornada que la A.T.C. organizó en Antequera hace unos años.

Ahora, la misma Dirección General ha ampliado sus trabajos, centrándose más en el campo del drenaje superficial, motivo por el cual el Comité de Geotecnia Vial ha retomado el tema y ha organizado en el seno

de la ATC, una nueva Jornada de difusión sobre diversos aspectos del drenaje (superficial y subterráneo), con la posibilidad de presentar comunicaciones libres sobre ellos.

La dirección técnica de la jornada estará a cargo de **D. Carlos Oteo Mazo**, Presidente del Comité de Geotecnia Vial, Asociación Técnica de Carreteras; y **D. Álvaro Parrilla Alcaide**, Jefe de Área de Geotecnia. Dirección Técnica. DGC del Ministerio de Fomento.

Programa técnico

08:30 • 09:15 Entrega de documentación

09:40 • 10:00 Acto de Inauguración de la Jornada

Jornada de mañana
10:00 • 10:40 Drenaje Superficial de Carreteras: Aspectos Teóricos

D. Álvaro Parrilla Alcaide, ICCP de Estado, Jefe de Área de Geotecnia, Dirección Técnica. Dirección General de Carreteras.

10:40 • 11:20 Drenaje Superficial de Carreteras: Cálculo de Caudales

D. Antonio Jiménez Álvarez, ICCP del Estado, Jefe de Área de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

11:20 • 11:50 Pausa-café

Drenaje Superficial de Carreteras: Aspectos prácticos

D. Ángel Juanco García, ICCP del Estado, Jefe del Servicio de Explanaciones y Drenaje, Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

D. Carlos Oteo Mazo, Profesor Doctor ICCP, Catedrático de Ingeniería del Terreno.

14:00 • 16:00 Almuerzo

Jornada de tarde

Comunicaciones libres (I).

17:00 • 17:15 Pausa-Café

17:15 • 18:15 Comunicaciones libres

(II)

18:15 • 18:45 Coloquio

18:45 • 19:00 Acto de Clausura de la Jornada

Precio de la jornada

Pago por TPV (Pago inmediato con tarjeta de crédito):

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 255,30 € + 18 % IVA).
- Socios Colectivos y siguientes plazas de Socio Protector: 255,30 € + 18 % IVA.
- Resto de Asistentes: 277,50 € + 18 % IVA.



Secretaría de todas las jornadas

Asociación Técnica de Carreteras. C/ Monte Esquinza, 24; 4º dcha. - 28010 Madrid (ESPAÑA). Tel.: (34) 91 308 23 18 - Fax.: (34) 91 308 23 19. E-mail: congresos@atc-piarc.com --- www.atc-piarc.com.

La inscripción se realizará a través de la página web www.atc-piarc.com o cumplimentando el cupón de inscripción del folleto editado.

Otras formas de pago:

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 276 € + 18 % IVA).

- Socios Colectivos y siguientes plazas de Socio Protector: 276 € + 18 % IVA.
- Resto de Asistentes: 300 € + 18 % IVA.

Jornada técnica sobre IAP. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera

Madrid, 21 de febrero de 2012

Finalmente y también en la sala Agustín de Betancourt del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, C/Almagro 42, de Madrid, tendrá lugar también esta jornada, promovida por el Ministerio de Fomento, y organizada por la Asociación Técnica de Carreteras con la colaboración del citado Colegio.

Presentación de la jornada

La Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11) ha sido aprobada por la OM 2842/2011, de 29 de septiembre, y publicada en el BOE de 21 de octubre de 2011.

En los años transcurridos desde 1998, en que se aprobó la Instrucción anterior, se ha producido un hecho de gran relevancia en el panorama normativo relativo a las estructuras: la redacción de los Eurocódigos y su paulatina adopción por diversos países europeos como códigos técnicos para el proyecto de puentes. La adaptación del contenido de la IAP a estas normas europeas es lo que ha inspirado fundamentalmente la redacción del texto que ahora se presenta, buscando además la mayor coherencia posible dentro del contexto reglamentario español.

La nueva instrucción IAP-11 establece las acciones y sus combinaciones, así como los coeficientes de ponderación que hay que considerar en el proyecto de puentes de la Red de Carreteras del Estado, para permitir la verificación de tales elementos de la infraestructura viaria desde el punto de vista de la funcionalidad y de la seguridad estructural. Incluye, también,

algunos criterios funcionales que deben cumplir los puentes de carretera para la verificación de los estados límite de servicio, con independencia de sus materiales constituyentes.

La importancia de los cambios introducidos respecto a la Instrucción anterior motiva la conveniencia de la presentación pública del mencionado documento.

En esta jornada se explicarán las principales novedades y se presentarán los resultados de los estudios técnicos comparativos con respecto a la Instrucción anterior en diferentes casos prácticos.

Se proporcionará a los asistentes la edición de la IAP-11 publicada por el Ministerio de Fomento.

La dirección técnica de la jornada estará a cargo de **D^a Pilar Crespo Rodríguez**, *ICCP del Estado. Jefe de Área de Estructuras, Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.*

Programa técnico

08:45 • 09:15 Acreditaciones y entrega de documentación

09:15 • 09:30 Acto de inauguración

09:30 • 10:00 Presentación general

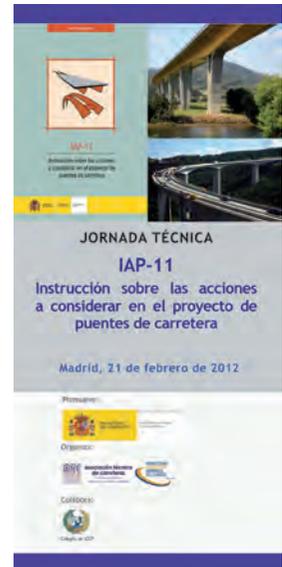
D^a. Pilar Crespo Rodríguez, *Jefe del Área de Estructuras, Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.*

10:00 • 10:15 Bases cálculo y ELS

D. Carlos Paradela Sánchez, *Jefe del Servicio de Puentes, Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.*

10:15 • 11:15 Acciones permanentes, sobrecarga de uso y Nieve

D. José María Villar Luengo, *Consejero Delegado. Torroja Ingeniería.*



D. José Simón-Tale-

ro Muñoz, *Director. Torroja Ingeniería.*

11:15 • 11:45 Pausa-Café

11:45 • 12:45 Viento, Acción térmica y Acciones accidentales

D. Francisco Millanes Mato, *Presidente. IDEAM S.A*

D. Miguel Ortega Cornejo, *Director de Proyectos. IDEAM S.A.*

12:45 • 13:45 Casos prácticos. Estudio comparativo con IAP-98

D. Hugo Corres Peiretti, *Presidente. FHECOR Ingenieros Consultores.*

D. Alejandro Pérez Caldentey, *Jefe de Departamento de I+D+i. FHECOR Ingenieros Consultores.*

13:45 • 14:00 Coloquio y conclusiones

14:00 • 14:15 Acto de clausura

14:15 • 14:30 Vino español

Precio de la jornada

Pago por TPV (Pago inmediato con tarjeta de crédito):

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 200 € + 18 % IVA).
- Socios Colectivos y siguientes plazas de Socio Protector: 200 € + 18 % IVA.
- Resto de Asistentes: 235 € + 18 % IVA.

Otras formas de pago

- Socios Protectores: 1 plaza gratuita (resto 210 € + 18 % IVA).
- Socios Colectivos y siguientes plazas de Socio Protector: 210 € + 18 % IVA.
- Resto de Asistentes: 250 € + 18 % IVA. ❖

El Gobierno destina 432 millones de euros a la conservación y explotación de carreteras del Estado

Los Consejos de Ministros de los pasados 30 de diciembre de 2011 y 5 de enero de 2012 autorizaron un total de 28 contratos de conservación y explotación de carreteras de la Red de Carreteras del Estado, distribuidas en 16 provincias, por un importe total de 432 173 340,41€.

Estas actuaciones van encaminadas a la defensa de la vía y a su mejor uso. En concreto, las obras de conservación y explotación de carreteras consisten en operaciones de viabilidad, actuaciones de seguridad vial, conservación ordinaria, vigilancia, inspecciones del estado estructural y funcional de las carreteras y de los puentes, la revisión y conservación de los túneles, la defensa del dominio público de las carreteras, así como el resto de los elementos que componen estas infraestructuras.

En Andalucía se invertirán más de 80 millones de euros en las provincias de Cádiz, Huelva, Sevilla, Almería y Granada. Otros 61,93 millones se reparten en las 4



provincias catalanas, más de 51 millones para la provincia de León, 14,8 millones en Ávila, otros 21,6 en Burgos y, finalmente 23,39 millones en Salamanca, dentro de la Comunidad castellano leonesa.

En la Comunidad Valenciana, en las provincias de Castellón y Valencia, se asignan un total aproximado a los 33 millones de euros, casi 60 millones para la Comunidad

de Madrid, 37,75 para la provincia de Huesca en Aragón y 14,30 millones en A Coruña.

Estas inversiones se suman a los más de 30 millones de euros que el Consejo de Ministros del 30 de diciembre de 2011 destinó a seis actuaciones de emergencia distribuidas en diversas carreteras en A Coruña, Sevilla, Granada, Lleida, Ceuta y Alicante.❖

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

REVISTA DE LA A.I.P.C.R. ESPAÑOLA

Para información y suscripciones pueden dirigirse a:

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

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

Forma de pago:

Cheque

Domiciliación bancaria CCC nº _____

Transferencia a la CCC nº 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa NIF

Dirección Teléfono

Ciudad C.P. e-mail

Provincia País

Año 2011 Fecha Firma

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

getinsa

Avanzamos hacia el futuro creando infraestructuras



Hemos participado en la asistencia técnica al control y vigilancia del tramo II de la Hiperronda: “Conexión MA-417 – Autovía A-357 del Guadalhorce”.



Oficina Central

Ramón de Aguinaga, nº 8. 28028. Madrid

Tel: (34) 914 18 21 10

fax: (34) 914 18 21 11

www.getinsa.es

Delegaciones internacionales permanentes

ARABIA SAUDI – ARGELIA – FILIPINAS – PERU – TURQUIA - VIETNAM



Hacemos GRANDES hasta los SUEÑOS más pequeños...

... porque en Ferrovial Agromán,
ponemos en tus manos
a los profesionales más cualificados del sector,
las más avanzadas tecnologías y más de 80 años
de experiencia en servicio y atención al cliente,
lo que nos ha dado reconocido prestigio
como empresa líder a nivel nacional e internacional.

Nosotros creemos en cada uno de nuestros clientes,
creemos en **ese sueño** y lo convertimos
en el más importante, dándole el respaldo
y la **seguridad** de hacerlo realidad.



Nueva ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, A-7.
Tramo: Autopista AP-7 – Conexión con MA-417.

ferrovial
agroman