



Asociación Técnica
de Carreteras
Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 164
JULIO - SEPTIEMBRE
2015

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral

RUTAS TÉCNICA

Túneles: optimización de la explotación,
actividades de mantenimiento
y costes basados en la experiencia

RUTAS DIVULGACIÓN

Rehabilitación del puente sobre el arroyo
Alcañizo (Oropesa-Toledo)

El camino desde el túnel seguro hasta el
túnel excelente. Evolución de la normativa
de seguridad en túneles

La hidrodemolición ya es habitual
en España

ACTIVIDADES DEL SECTOR

Jornada Técnica sobre avances
tecnológicos en conservación de carreteras

XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del
Asfalto (CILA)



SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

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

Tfno.: (+34) 91 590 01 90
info@ongawa.org
www.ongawa.org

Antes:



ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Audiberia. ONGAWA cumple todos los Principios de Transparencia y Buenas Prácticas de la Fundación Lealtad. ONGAWA recibió, en 2005, la certificación ante la AECID como ONGD Calificada en el sector Tecnología



Tribuna Abierta

- 3 El aumento de la capacidad y seguridad de las carreteras**
Sandro Rocci

Rutas Técnica

- 4 Túneles: optimización de la explotación, actividades de mantenimiento y costes basados en la experiencia**
Tunnels: optimization of the operation, maintenance activities and costs based on the experience
Rafael López Guarga



Rutas Divulgación

- 14 Rehabilitación del puente sobre el arroyo Alcañizo (Oropesa - Toledo)**
26 El camino desde el túnel seguro hasta el túnel excelente. Evolución de la normativa de seguridad en túneles
38 La hidrodemolición ya es habitual en España

Nota de Lectura

- 46 La carretera y el cambio climático**



Actividades del Sector

- 51 Jornada Técnica sobre avances tecnológicos en conservación de carreteras**
55 XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA)

Noticias del Sector

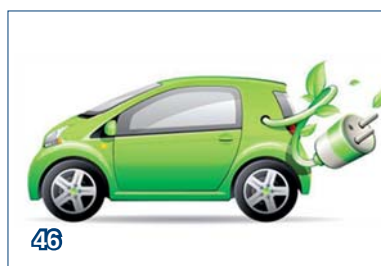
- 56 Entra en servicio el puente sobre la Bahía de Cádiz**
56 Entra en vigor la nueva Ley de Carreteras
57 Adaptación al cambio climático
57 La carretera sólo aceptará los Megatrucks en la reforma de pesos y dimensiones

PIARC

- 58 XXV Congreso Mundial de la Carretera**

ATC

- 61 Jornada Técnica Reparaciones Geotécnicas en Infraestructuras en Servicio**
63 Próxima Jornada Técnica. Guía Para la Redacción del Plan de Mantenimiento en Puentes
64 Próxima Jornada Técnica. El Responsable de Seguridad de Túneles de Carreteras
65 Próxima Jornada Técnica. Aumento de la Capacidad y la Seguridad en Carreteras de Calzada Única
66 Composición de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras
67 Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras
68 Socios de la Asociación Técnica de Carreteras





**Asociación Técnica
de Carreteras**
Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



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

DIALNET · ICYT ·
LATINDEX (Catálogo y Directorio)

Edita:

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

Comité Editorial:

Presidente:

Luis Alberto Solís Villa Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

Vicepresidente de estrategia:

Sandro Rocci Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid (España)

Vicepresidente ejecutivo:

Julio José Vaquero García Dirección General de Carreteras, M. Fomento (España)

Vocales:

José Alba García	Presidente de Arcs Estudios y Servicios Técnicos (España)
Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
María Luisa Delgado Medina	Subdirectora General de Transferencia de Tecnología, M. Economía y Competitividad (España)
Diana María Espinosa Bula	Presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, SCI (Colombia)
Alfredo García García	Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia (España)
Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez	Director del Laboratorio de Infraestructuras Viarias del CEDEX (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Carlos Oteo Mazo	Catedrático de Ingeniería del Terreno de la Universidad de la Coruña (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	Presidente HOF Consultores (Colombia)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Clemente Poon Hung	Director General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura (México)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesus J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)

Comité de Revisores Técnico-Científicos. Presidentes de Comités Técnicos de la ATC:

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

Redacción:

Asociación Técnica de Carreteras

Publicidad:

Ediciones Técnicas PAUTA
Tel.: 915 537 220 ♦ publicidad@edicionespauta.com

Diseño, Maquetación, Producción,

Gestión Publicitaria y Distribución:

Ediciones Técnicas PAUTA
direccion@edicionespauta.com

Arte Final e Impresión:

Gráficas ARIES

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102

Todos los derechos reservados.

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

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

La Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera) edita la revista Rutas desde el año de su creación (1986).

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

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



N° 164 JULIO - SEPTIEMBRE 2015

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

El aumento de la capacidad y seguridad de las carreteras

*Tribuna
abierta*



Sandro Rocci
*Presidente del Comité Técnico
de Carreteras Interurbanas*

La mayor parte de la longitud de la red interurbana de carreteras tiene la configuración más antigua: una calzada única con dos carriles, uno para cada sentido de circulación. Para adelantar a los más lentos, los vehículos más veloces tienen que ocupar momentáneamente el carril asignado al sentido contrario: por lo que al aumentar la intensidad del tráfico los adelantamientos se ven en gran parte frustrados (no hay suficientes huecos en la circulación contraria y, por consiguiente, baja el nivel de servicio hasta rebasar en muchos casos la capacidad).

No es de extrañar que cuando algún tramo de carretera convencional, a veces de concepción muy antigua, tiene éxito y su tráfico sube, el número de horas al año en las que se rebasa la capacidad (y se produce la congestión) también aumenta. La seguridad de la circulación también se ve afectada. Cuando la situación se vuelve insostenible y la demanda no se puede satisfacer por otros modos, el aumento de la capacidad de esa carretera resulta a menudo perentorio. Esto comporta, en primera instancia, disponer más carriles, para lo cual ante todo se debe disponer de sitio en la sección transversal (que se debería prever al planificar). Y para lograrlo la técnica ofrece varias posibilidades:

- a) Disponer un carril adicional en rampas largas o pronunciadas es una solución antigua pero eficaz, que palia la reducción del nivel de servicio que coincide con ellas. Este carril adicional se puede disponer por la derecha o por la izquierda del carril "normal", siendo en general preferible la primera disposición.
- b) Una configuración que ha alcanzado poca difusión en España es disponer carriles adicionales alternados a todo lo largo del tramo, que ayuden a disolver las colas que se forman en los carriles "normales" de

ambos sentidos. Es lo que se ha dado en llamar "carreteras 2 + 1", que ofrecen una solución económica y funcional.

- c) Añadir indiscriminadamente más carriles, pasando a dos por sentido, tiene limitaciones: así, las carreteras convencionales interurbanas de cuatro carriles sin mediana tienden a caer en desuso por su peligrosidad.
- d) La duplicación de la calzada (solución que se aplicó en el Programa de Autovías del Plan General de Carreteras 1984/1993) es relativamente barata, pero tiene algunos inconvenientes: reordenación de los accesos, excepciones a la normativa, etc.
- e) El planteamiento de una autopista o autovía de nuevo trazado (a menudo asociada a transformar la carretera convencional existente en una vía de servicio) es una solución de mayor fuste, a la cual se ha recurrido casi exclusivamente en épocas recientes; pero para que resulte económicamente justificada, la intensidad de la circulación debe ser superior a un umbral relativamente bajo, del orden de 5000 veh/día.

Dentro de esta gama de soluciones posibles la Administración, en su planificación, puede y debe elegir la que mejor se ajuste al interés público.

El Comité Técnico de Carreteras Interurbanas de la Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto celebrar una Jornada Técnica a finales del próximo mes de noviembre, en la que se expondrán y debatirán las características, ventajas e inconvenientes de las soluciones enumeradas. Invito, por tanto, a cuantos se interesen por estos temas (y muy especialmente a los planificadores e incluso a los políticos) a que concurran a esa Jornada en la que se ha previsto un amplio tiempo para debates y coloquios. ♦

Túneles: optimización de la explotación, actividades de mantenimiento y costes basados en la experiencia¹



Tunnels: optimization of the operation, maintenance activities and costs based on the experience

Rafael López Guarga

*Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón. Ministerio de Fomento
Director Técnico del VI Simposio de Túneles de Carreteras*

Resumen

Este artículo hace un repaso sobre los distintos túneles de carretera existentes en España, con referencias a su longitud, tipología, sentido de circulación, altura sobre el nivel del mar y procedimiento de construcción, y resalta la necesidad de realizar un inventario sobre los mismos, de establecer una buena programación de las operaciones de mantenimiento y de continuar con inspecciones periódicas.

El mantenimiento y la inspección de los túneles deben garantizar la seguridad de los usuarios, el buen funcionamiento y la fiabilidad de las instalaciones, y la seguridad del personal de mantenimiento. Estos aspectos deben de tenerse en cuenta ya desde el principio de la planificación del túnel y por supuesto durante el proyecto, construcción y posterior explotación.

Antes de la puesta en servicio del túnel es necesario llevar a cabo una serie de pruebas de funcionamiento global del sistema, de simulacros y de formación inicial del personal que se hará cargo de la explotación, siendo fundamental disponer de un buen *Manual de Explotación* que recoja el mayor número posible de fichas de incidentes. Con el túnel ya en servicio debe disponerse, además, de un plan de formación continua para cada puesto de trabajo.

El *Plan de Mantenimiento* debe también quedar establecido desde el principio, definiendo la periodicidad de las distintas operaciones y estableciendo su categoría de preventivo o correctivo.

Por último se analizan los costes más usuales en la explotación de un túnel, basados en la experiencia, y se hace una reflexión sobre la vida útil de los distintos elementos y equipamientos.

PALABRAS CLAVES: túnel, mantenimiento, sostenibilidad, eficiencia, coste.

Abstract

The paper presents a general overview of the different types of road tunnels that can be found in Spain, considering their length, typology, uni- or bi-directional traffic, height above sea level and construction method, highlighting the importance of the creation of an inventory, the implementation of an adequate plan covering the maintenance activities and the follow-up of periodic inspections.

Tunnels maintenance and inspection must guarantee users safety, reliability and functioning of equipment and also the safety of maintenance staff. All these aspects should be considered at the early stages of the tunnel, from planning to design, construction and, obviously, subsequent operation.

Prior to tunnel opening to traffic, functional and performance tests, safety exercises and training of the operation staff, who will participate in the tunnel operation activities, should be completed. Moreover, the emergency plan included in the safety documentation (Operations Manual) should cover so many protocols for incidents management as possible and a continuous training program, for each role in the organization, to be developed once the tunnel is under operation.

Maintenance Program should also be implemented, in advance to the tunnel opening, establishing the periodicity of the maintenance activities and defining their preventive or corrective characteristics.

Finally, typical operation costs are described and categorized according to existing experience and some considerations on the life cycle of the tunnel equipment and elements are included.

KEY WORDS: tunnel, maintenance, sustainability, efficiency, cost.

¹ Comunicación presentada al VI Simposio de Túneles de Carreteras, celebrado en Zaragoza del 11 al 13 de marzo de 2015.

En España existen aproximadamente 710 túneles (tubos) de carretera, gestionados por distintas administraciones, de los que un 15% son urbanos, un 14% son gestionados por las Comunidades Autónomas y el 71% restante corresponde a la Red de Carreteras del Estado (RCE).

La longitud total de estos túneles es de unos 445 km, que corresponden un 21% a los urbanos, un 12% a los regionales y un 67% a los del Estado.

Todos ellos deben de cumplir las normativas de seguridad.

En la RCE existen actualmente 513 túneles (tubos), que suman una longitud de 302,4 km, de los que 266 pertenecen a la Red Transeuropea de Transporte. En la red gestionada por las Comunidades Autónomas hay 25 túneles cuya longitud es mayor de 500 m.

Entre los principales túneles de mayor longitud cabe destacar los señalados en la Tabla 2.

Por otra parte la altura media en España sobre el nivel del mar es de 660 m, solo superada en Europa por Suiza, Austria, Andorra y Liechtenstein, lo que se traduce en problemas de vialidad invernal y en importantes variaciones de temperatura que dan lugar a dificultades para la explotación y el mantenimiento, afectando a la vía útil de los diferentes equipamientos. A veces la temperatura en los accesos puede alcanzar los 20 °C bajo cero. En la Tabla 3 se recogen los túneles de longitud mayor de 500 m cuyas bocas se sitúan a una altitud superior a los 1100 m.

Dentro de los túneles urbanos cabe citar los de Calle 30, en Madrid, que en su totalidad suman 47,4 km, los 15 túneles también en Madrid gestionados desde un mismo Centro de Control que suman 18,4 km, los 46 túneles (tubos) de las Rondas de Dalt y Litoral en Barcelona que suponen una longitud de 15,4 km y los túneles del Ayuntamiento de Barcelona que con 17 tubos dan lugar a otros 6,7 km.

En cuanto a la tipología y procedimientos de construcción hay falsos túneles, como los que aparecen en la Figura 1, y túneles excavados en mina, tanto unidireccionales como bidireccionales, constituyendo estos últimos aproximadamente las dos terceras partes del total.

Realizado el inventario de los túneles, se ha llevado a cabo por las distintas Administraciones una inspección inicial de los mismos para determinar el grado de cumplimiento de sus normativas correspondientes (Directiva 2004/54/CE, RD 635/2006) que ha reflejado que:

- el 65% cumple ya con todos los requisitos de seguridad establecidos en las normativas;
- el 35% restante requiere actuaciones que precisan la elaboración de un proyecto previo para su adecuación;
- es fundamental una buena programación de las operaciones de mantenimiento para que los túneles perduren con sus características iniciales;
- es preciso, y lo exige la normativa, continuar con las inspecciones periódicas.

Tabla 1. Distribución de los túneles pertenecientes a la RCE

Túneles	Número de túbos		
	L > 500 m	L ≤ 500 m	TOTALES
Red Transeuropea	139	127	266
Resto	52	195	247
TOTAL	191	322	513

Tabla 2. Principales túneles en España

Túnel	Año de construcción	Situación	Longitud (m)
Somport	2003	N-330/RN 134	8608
Pedrero	2005	A-67	1100
Gedo	2005	A-67	2500
Viella	2007	N-230	5200
Guadarrama	2007	AP-6	3148
Marchante	2007	A-7	1400
Piqueras	2008	N-111	2444
Cantalobos	2009	A-7	2170
Bracons	2009	C-153	4556
Arlabán	2009	AP-1	3370
Bielsa (*)	2010	A-138	3070
Petralba	2012	N-260	2625

(*) Remodelación

Tabla 3. Túneles de más de 500 m de longitud situados a una altitud superior a 1100 m

Túnel	Longitud (m)	Altura (m)	Situación
Monrepós I	1484	1236	N-330
Monrepós II	601	1264	N-330
Somport	8608	1183	N-330/RN-124
Cotefablo	683	1473	N-260
Petralba	2625	1221	N-260
Viella	5230	1494	N-230
Guadarrama	3340	1298	AP-6
Piqueras	2444	1499	N-111
Negrón	4210	1240	AP-66
Bielsa	3070	1743	A-138
Cadí	5026	1236	C-16
Padornelo	875	1343	A-52
La Canda	660	1215	A-52
Somosierra	620	1450	A-1
Piedrafita	813	1080	A-6



Túnel Avenida Cesáreo Alierta (ZARAGOZA)



Túnel Ronda Este (Santa Isabel, ZARAGOZA)



Túnel glorieta de la MAZ (ZARAGOZA)



Túnel Ortega de Prados (MÁLAGA)

Figura 1. Ejemplos de falsos túneles

1. Mantenimiento e inspección de túneles

Los objetivos del mantenimiento e inspección de los túneles son los siguientes:

- garantizar la seguridad de los usuarios;
- garantizar el buen funcionamiento y la fiabilidad de las instalaciones, (para minimizar el nº de intervenciones no planificadas);
- garantizar la seguridad del personal de mantenimiento.

Para ello, desde los primeros esbozos de la iniciativa de que se va a construir el túnel es necesario prever los sistemas para el mantenimiento, siendo necesario disponer desde el inicio de un *Plan de Mantenimiento* ya que una parte importante de sus costes queda fijado por las decisiones que se adopten en la concepción y la ejecución del túnel.

En la Figura 3 se puede observar que cuando en la fase de planificación se invierte poco para proyectos pensando en el mantenimiento y se ahorran costes en construcción para adaptar las obras para que el mantenimiento se lleve a



Túnel de Campo (HUESCA)



Túnel de Cantalobos (MÁLAGA)

Figura 2. Ejemplos de túneles excavados en mina

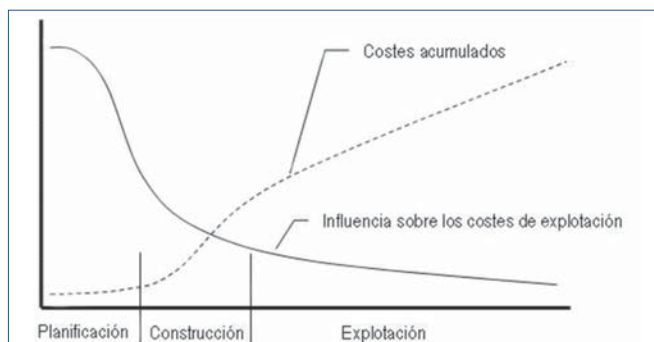


Figura 3

cabo de la forma más holgada y funcional posible, los costes acumulados de explotación se elevan considerablemente en el tiempo. Sin embargo, si se hace una previsión inicial ya en la fase de planificación, aunque suponga un incremento económico de la obra, si ello favorece las operaciones de mantenimiento, el coste de explotación futuro será menor.

El Comité de túneles de la AIPCR publicó en 2005 el documento titulado "Guía de buenas prácticas para la Explotación y el Mantenimiento de túneles de carretera" en el que se puede consultar información sobre este asunto (<http://www.piarc.org>).

Durante el proyecto y la construcción del túnel hay que tener en cuenta los códigos y normas técnicas nacionales y si no se dispone de ellas, en determinadas materias, adoptar las de otros lugares como por ejemplo las Recomendaciones del CETU, de la AIPCR, etc., debiendo en todo momento ser llevada la supervisión por expertos o por una empresa especializada.

En cuanto al marco legal, normalmente suele existir una normativa a aplicar, siendo en el caso de los túneles de la red de carreteras del Estado el R.D. 635/2006 y en general para los de la Red Transeuropea de Transporte la Directiva 2004/54 sobre requisitos mínimos de seguridad.

No obstante lo anterior se recomienda antes de tomar una decisión sobre los equipamientos con los que se ha de dotar al túnel hacer una evaluación de los mismos y reali-

zar un análisis coste/beneficio ya que no por muchas cosas que se pongan y por sofisticadas que éstas sean el túnel va a ser más seguro. Hay que elegir la situación óptima e inclinarse por sistemas sencillos pero seguros.

Habrà que buscar el diseño óptimo y realizar una evaluación funcional, (por ejemplo para determinar si es mejor utilizar únicamente los postes SOS o eliminar éstos por el uso de móviles; si se debe de utilizar una frecuencia específica de FM o limitarse únicamente al uso de paneles de Mensaje Variable, ...), una evaluación técnica (determinar cuál es el modelo de equipamiento que mejor se adapta a cada caso, ...), una evaluación operacional (mediante la comprobación de que todo funciona bien y de que es útil) y una evaluación económica (¿hasta qué nivel de instalaciones interesa poner hasta amortizarlas?, por ejemplo en función de la reducción de accidentes, ...).

Tras construir el túnel, antes de su puesta en servicio, es necesario resolver una serie de cuestiones, tales como:

- Ensayos de funcionamiento global del sistema.
- *Manual de Explotación* y reglamento de tráfico (si fuese el caso).
- Contratación de personal y formación.
- Simulacros.
- Estudio de peligros.
- Gestión del túnel durante la explotación.

Los equipamientos de un túnel son técnicamente muy complejos por lo que se deben comprobar los sistemas instalados para verificar si su funcionamiento es el esperado según proyecto. Se han de efectuar ensayos sobre la ventilación, la gestión técnica centralizada, el sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI), el sistema de detección de incendios, las comunicaciones, la iluminación, la red contraincendios, etc.

El *Manual de Explotación* es el documento en el que deben quedar recogidas de forma detallada todas las instalaciones del túnel que permitan la explotación del mismo en adecuadas condiciones de seguridad y eficiencia, incluyendo



Animal en calzada



Media vuelta



Avería camión



Adelantamiento



Peatón en calzada



Incendio



Avería de turbo



Fuerzas del orden

Figura 4. Ejemplo de incidentes que pueden tener lugar en un túnel durante su explotación

las tareas, tanto permanentes como periódicas y ocasionales, de mantenimiento y control de la instalación, estructura organizativa, gestión de incidencias, etc., siendo sus funciones las de regular el control de la circulación ante incidencias y accidentes, las de regular el mantenimiento de las instalaciones y de la obra civil, y las de regular las actuaciones en caso de emergencias. El Manual debe redactarse durante la fase de proyecto, sin perjuicio de su actualización y ampliación en las fases posteriores de construcción y explotación.

El *Manual de Explotación* debe recoger y analizar un conjunto de incidentes susceptibles de producirse en el túnel. Las fichas de incidentes deben de describir las acciones a tomar que afectan tanto a los equipamientos como a los medios humanos y materiales del explotador y, en su caso, a los medios de socorro exteriores, constituyendo la base de las consignas de explotación. La detección de los incidentes puede ser manual y/o automática. La gestión de un incidente debe de ser totalmente automatizada, de forma que el operador no tenga más que confirmar la ficha de actuación dándole para ello un periodo de respuesta (por ejemplo entre 45 y 90 segundos). Conforme se va desarrollando la vida del túnel, estas fichas se irán completando de acuerdo con la característica especial de cada caso.

La gestión de la explotación se puede realizar mediante la contratación de una empresa especializada que deberá cumplir un pliego en el que se defina la dotación de personal, los medios materiales (por ejemplo, si se debe disponer de vehículo de bomberos), la organización, la necesidad de mantener unos repuestos mínimos, etc.

El personal contratado debe ser formado atendiendo a su puesto (operador, personal de intervención, técnico de mantenimiento, etc.) siendo necesaria la definición para cada uno de ellos de sus funciones, competencias, responsabilidades y coordinación con el resto.

La formación debe ajustarse a las necesidades de una intervención, siendo necesaria la realización de ejercicios y simulacros tanto por parte del personal del explotador como por parte de los servicios exteriores, imprescindible para conseguir práctica y coordinación.

La mayoría de los túneles cuentan con un sistema de control (en el caso de túneles significativos, alojado en un centro de control) con tres funciones principales:

- Detectar cualquier cambio en la situación del túnel, "evento", mediante los distintos sensores.
- Calcular la reacción, "escenario", más adecuada a dichos cambios.
- Activar y controlar los correspondientes equipamientos de seguridad, "actuadores", en consecuencia. Se suele solicitar al operador confirmar el evento detectado o la acción que se va a desencadenar.

Así por ejemplo:

- El régimen de funcionamiento de la ventilación se incrementa automáticamente si se detecta contaminación.
- Los niveles de iluminación se adaptan automáticamente a los datos de luminancia exterior.
- Las barreras se cierran en caso de un incidente grave o de un incendio.

Las tres funciones anteriormente indicadas (a, b y c) se llevan a cabo de forma continua y comprenden, dependiendo del escenario concreto, interacciones entre los sistemas automáticos, los operadores y los usuarios. El papel del operador puede ser vital y debe considerarse como un componente importante del sistema de control del túnel y de los procedimientos de evacuación.

Por lo tanto con el túnel en servicio debe disponerse de un plan de formación continua para cada puesto de trabajo y en función de la entidad del túnel debe disponerse un servicio de 24 h sobre 24 h los 7 días de la semana. El personal de explotación suele clasificarse en Gestión (cuadros directivos y administrativos), Explotación (operadores y mantenimiento) e Intervención.

El Comité de túneles de la AIPCR publicó en 2007 el documento titulado "Guía para la organización, contratación y formación del personal de túneles de carretera" en el que se encuentra información sobre este asunto, que ha sido traducido al español y se puede consultar en la página web de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC).



Figura 5. Esquema del sistema de control del túnel

El operador controla el estado de las instalaciones (GTC), supervisa las condiciones de tráfico (CCTV y DAI), adapta las condiciones del túnel a la situación en cada momento (señalización, ventilación...), coordina al resto del personal de explotación y activa las emergencias. El servicio debe ser prestado durante las 24 horas del día y según las características del túnel habrá 1 ó 2 operadores.

El personal de intervención debe tener conocimientos de técnicas de extinción de incendios en túneles, de técnicas básicas sanitarias, de la ubicación de las distintas instalaciones y de la gestión del tráfico.

Como ya se ha indicado anteriormente, todo el personal debe estar sometido a una formación continua y deben organizarse simulacros periódicamente.

Finalmente, para que la explotación sea efectiva todas las actuaciones deben quedar recogidas mediante informes que, además de suponer un histórico de la actividad llevada a cabo, servirán para retroalimentar la experiencia del propio túnel y de otros a los que se les puedan presentar problemas similares.

El contenido de los informes dependerá de su periodicidad. Así en los informes mensuales deberán figurar los consumos de materiales y la descripción y evolución del tráfico; en los trimestrales se realizará un análisis de las incidencias y de los simulacros y en los anuales se incluirá una recopilación de los hechos más importantes acaecidos en el año, un resumen de los informes anteriores, las tasas de disponibilidad del túnel, el cumplimiento del plan de formación y las averías más destacables.

2. Plan de mantenimiento

El *Plan de Mantenimiento* del túnel quedará definido:

- en el Pliego del Contrato de Explotación, si es que se adopta este sistema, que indicará qué elementos se deben mantener;
- en el propio *Plan de Mantenimiento* del Explotador, que deberá recoger la periodicidad de las revisiones (semanal, quincenal, mensual, semestral,...);

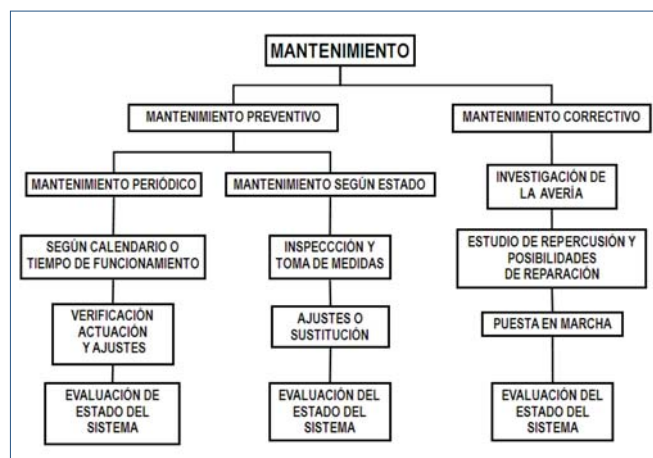


Figura 6. Esquema del mantenimiento de un túnel

Tabla 4. Ejemplo de la frecuencia y nivel de inspecciones de un equipo que debe figurar en el Plan de Mantenimiento de un túnel

CÓDIGO	CONCEPTO	TIPO DE REVISIÓN	
		Inspección	Limpieza
Ventilación			
V. 1	Detectores de CO	T	S
V. 2	Opacímetros	T	S
V. 3	Anemómetros	T	S
V. 4	Ventiladores	S	A
V. 5	Cuadros eléctricos variadores de velocidad	T	A
V. 6	Instalación eléctrica	T	A

T: Trimestral; S: Semestral; A: Anual

- y en el Sistema de Gestión propio del túnel, "Tratamiento de Elementos y Reconocimiento de Estado en Explotación de Carreteras, TEREX".

Si la explotación del túnel no está sometida a un contrato, las funciones las asumirá directamente la propiedad.

El mantenimiento puede ser preventivo o correctivo, obedeciendo al esquema de la Figura 6.

Debe organizarse un calendario que contemple la revisión de todos los equipos, que normalmente se llevará a cabo por el propio personal de explotación según la cualificación requerida para cada actividad, y complementariamente en muchos casos será imprescindible formalizar contratos de mantenimiento específicos para la atención a los sistemas críticos.

Para cada equipo debe establecerse la frecuencia y el nivel de las inspecciones (Tabla 4).

3. Costes de explotación

Analizar el coste que supone a largo plazo la construcción y explotación de un túnel de carretera es una labor cuyo análisis previo no es sencillo. Más complejo resulta analizar el resultado de dicha inversión.

El coste de proyecto y ejecución supone sumar partidas, probablemente conocidas con precisión al finalizar la obra. El coste de explotación, aunque también queda recogido en presupuestos, se encuentra ligado a variables como el consumo energético, el personal que gestiona la obra y, por supuesto, los gastos relacionados con el mantenimiento de la misma: reposiciones por avería, por sustitución debido a la antigüedad, mejoras tras analizar el modelo de explotación que se desea, aspectos no considerados en el proyecto o cambios de legislación. Algunos de estos gastos pueden variar de manera importante en función de las consideraciones del proyecto y su ejecución.

Una vez sumadas estas partidas se puede valorar el coste de explotación por kilómetro de instalación o por vehículo

y así comparar distintas instalaciones. A su vez, cada túnel dispone de diferentes niveles de equipamiento, según si cumple o no el R.D. 635/06 sobre equipamientos mínimos de seguridad. Sin duda, mayor nivel de equipamiento deriva en un mayor gasto de mantenimiento. Por otra parte, mayor equipamiento puede suponer que las consecuencias y, por tanto, los costes ocasionados por accidentes sean menores. La posibilidad de disponer de un centro de control que gestione varios túneles ayuda a reducir el gasto de gestión.

Aunque la obra pública, por definición, no analiza un rendimiento económico por sí misma, si es cierto que logra un beneficio social evidente. En algunos puntos geográficos la existencia de túneles permite una mejor organización territorial, creación y/o distribución de la riqueza tanto a nivel local como internacional por lo que estudiar el resultado de la inversión que supone la construcción de estas infraestructuras trasciende más allá de lo evidente.

Para estudiar el gasto que se genera en los túneles durante su fase de explotación se han considerado varios casos, de diferentes características, con objeto de extrapolar algunos datos y obtener conclusiones.

Análisis eléctrico

La primera visión sobre gasto que se puede revisar está relacionada con el coste del suministro eléctrico.

Ya en el año 2006 se produjeron fuertes aumentos en el coste del suministro eléctrico. Desde entonces, se han buscado fórmulas de ahorro, encajadas en distintas normas buscando la denominada eficiencia energética.

Desde el Ministerio de Fomento se han redactado diversas indicaciones como la Nota de Servicio 3/2010 y las Instrucciones complementarias de 19/5/2011 y 12/6/2012. Uno de los grandes problemas detectados es que las medidas de ahorro en consumo han chocado con los incrementos en el precio del suministro, que en los últimos 10 años se ha doblado. Por otra parte, muchas instalaciones apenas disponen de medios para controlar el consumo o reducirlo, sin realizar nuevas inversiones que, en la situación económica actual, resultan difíciles de asumir.

Por ejemplo, en el túnel de Petralba (bidireccional de 2625 m de longitud), en la carretera N-260, la potencia contratada (1400 kW) se ha ajustado al 60% de la instalada, con objeto de economizar, pero teniendo en cuenta que, si fuese necesario, es posible el uso de todo el equipamiento con una penalización económica. El gasto medio mensual es de 14 241 € y el coste anual por km de túnel es de 61 185 €.

Para tratar de mitigar el consumo se ha ajustado al máximo el nivel de iluminación aprovechando la alta luminosidad de las balizas (hublots), sin reducir la capacidad de detección de los sistemas de seguridad, observándose que el peso de la factura eléctrica por potencia disponible es tan elevado que las reducciones en el consumo, por importantes que sean, tienen una escasa repercusión económica (Figura 9).

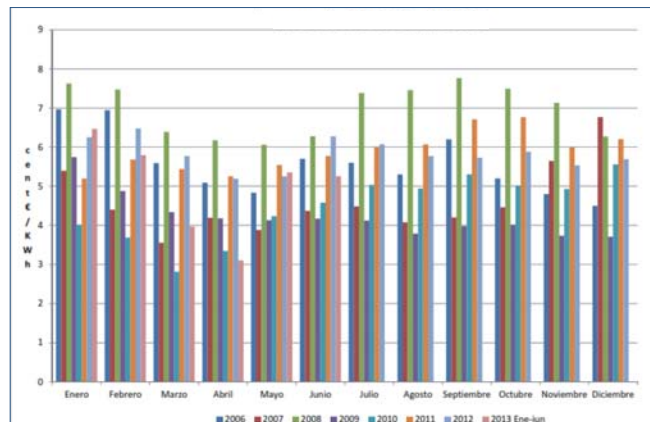


Figura 7. Evolución mensual del precio medio de la electricidad en el periodo 2006 - 2012 [Fuente: Boletín estadístico de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia]

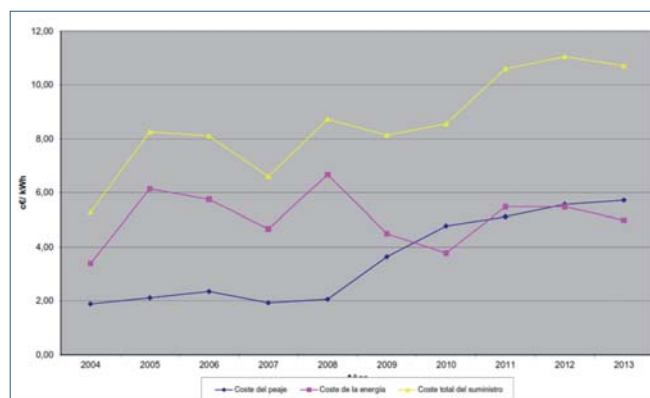


Figura 8. Evolución del precio del suministro eléctrico en el periodo 2004 - 2013 [Fuente: Boletín estadístico de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia]

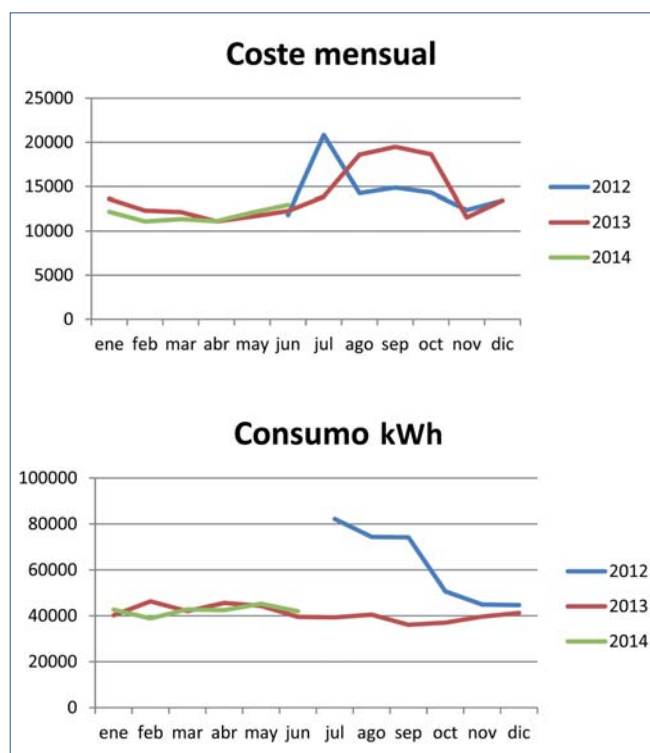


Figura 9. Variación del coste y del consumo mensual de electricidad en el túnel de Petralba en el periodo 2012 - 2014

Costes laborales

La segunda visión se refiere al coste laboral. En España, en los últimos años, el coste salarial se ha reducido en el marco de la crisis económica. De acuerdo con el informe del Banco de España sobre costes laborales [16] entre los años 2005 y 2013 el aumento del coste laboral en España ha supuesto un 7,4% mientras que en la Unión Europea ha supuesto el 15,8%. Entre los años 2010 a 2013 en España los gastos salariales se han reducido en un 7,4%.

En los últimos 6 años el gasto salarial en el túnel transfronterizo de Somport, de 8608 m de longitud, ha evolucionado de casi 3 millones de euros al año en 2008 a algo más 2,8 millones en 2014, tal y como se recoge en la Tabla 5. Estas cifras incluyen los impuestos vigentes en cada año: el 16% de IVA en el año 2008, que se elevó hasta el 21% en 2014, por lo que la diferencia de costes es incluso mayor.

El coste en 2014 por km es de 327 646 € y por vehículo de 7,38 €. Si se eliminan los costes relacionados con la gestión de emergencias del túnel (su retén de agentes de conservación, que es una particularidad del túnel de Somport), el coste específico de la explotación queda en 146 850 €/km y año y 3,31 € por usuario.

Reposición de elementos dañados. El mantenimiento

El tercer punto de vista es el de la reposición de elementos dañados y mantenimiento de sistemas. La adaptación de los túneles a las exigencias del R.D. 635/2006 supone un gran esfuerzo económico para lograr la implantación de todos los equipamientos que se requieren para garantizar la seguridad del tráfico.

Un aspecto muy importante para dimensionar el gasto de las instalaciones es el concepto de vida útil de los elementos. Aunque los fabricantes y suministradores informan sobre este dato o periodo entre fallos, existe escasa documentación sobre este tema. Dos documentos útiles

elaborados por PIARC son las "Recomendaciones para la gestión del mantenimiento y las inspecciones técnicas de túneles de carretera" y las "Consideraciones sobre el ciclo de vida de los equipamientos eléctricos en túneles de carretera".

Anticiparse al fallo total de un equipo puede suponer tanto una garantía en la seguridad del túnel como un ahorro, si a consecuencia de los daños en un equipo, otros pueden también sufrirlos. Un caso destacado es el de los sistemas SAI y de protección de sobretensiones eléctricas, cuyo mal funcionamiento puede afectar a todos los sistemas eléctricos del túnel.

Análisis conjunto de los costes de explotación

Algunos autores relacionan los costes ordinarios de funcionamiento con los costes de construcción mediante un tanto por ciento de éstos al año, de manera que se fijan entre el 0,8% y el 1,0% para los 10/15 primeros años de funcionamiento, entre el 1,0% y el 1,5% entre ese periodo y hasta los 25 años y de entre 1,5% y 2% para los cinco años siguientes. Como referencia hay que tener en cuenta que el coste de construcción viene a ser del orden de 25 000 €/m para túneles de longitud superior a los 1000 m, y del orden de 18 000 €/m para los túneles de entre 500 y 1000 m de longitud. A partir de los 2500/3000 m estos costes aumentan considerablemente.

A los costes ordinarios de funcionamiento se deben de añadir los de las pequeñas reparaciones (pavimento, filtraciones, edificios, drenaje, etc.).

Con el paso del tiempo y el cambio de las diferentes normativas también habría que añadir los costes de gran reparación (rehabilitación y adaptación) que podrían llegar a suponer entre un 5% y un 20% del coste de construcción.

Como resumen se puede considerar que el coste anual de explotación de un túnel puede oscilar entre los 130 000 y 300 000 €/km por tubo, en función de su longitud y de las instalaciones con los que esté dotado. Si además en el túnel se gestiona también el tráfico este coste podría incrementarse entre un 20% y un 30%.

Tabla 5. Evolución del gasto salarial en el túnel de Somport en el periodo 2008-2014

Gasto laboral anual (incluye impuestos)	2008	2014	Evolución
Personal de atención a emergencias	1 646 968,56 €	1 556 289,42 €	-5,51%
Personal de explotación	1 336 219,77 €	1 264 091,47 €	-5,40%
Total	2 983 188,33 €	2 820 380,90 €	-5,46%

Gasto total por km	346 559,98 €	327 646,48 €	-5,46%
IMD	1050	1047	-0,29%
Gasto total según IMD	7,78 €	7,38 €	-5,19%

Gasto sólo explotación por km	155 229,99 €	146 850,78 €	-5,40%
Gasto sólo explotación según IMD	3,49 €	3,31 €	-5,13%



Figura 10. Distribución de los costes de explotación de un túnel

El coste energético anual puede oscilar entre los 60 000 y 80 000 €/km, por tubo. Para conseguir ahorros deben tenerse en cuenta la Nota de Servicio 3/2010 "Actuaciones a realizar por las Demarcaciones de Carreteras para reducir el consumo de energía en las instalaciones de alumbrado" y las Instrucciones complementarias de 19/5/2011 y de 12/6/2012 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, aunque a veces el ahorro quede maquillado por la oscilación del coste de la energía. Es recomendable que la potencia contratada sea del orden del 60% de la instalada.

En cuanto al coste de mantenimiento de los distintos equipamientos, ventilación y abastecimiento eléctrico (trafos, SAIs, Variadores) son los equipos de mayor coste de reparación. Los sistemas de radio son muy robustos, los de CCTV, aunque menos, son de reparación asequible. La iluminación es económica (la reposición de lámparas, pro-

yectores y equipos de encendido) aunque su vida útil es menor y, por lo tanto, requiere más reposiciones.

En el marco de los contratos de conservación integral de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento cabe indicar, después del análisis realizado para diferentes túneles de la RCE, que el coste anual de explotación de un túnel, por tubo, puede distribuirse en unos 70 800 €/km para los trabajos correspondientes al Grupo I, y en unos 24 500 €/km para los correspondientes al Grupo II.

En cuanto a la reposición de elementos hay que tener en cuenta que muchas veces éstos se cambian para reducir costes y otras para adecuarlos a una mejor gestión. La vida útil de algunos equipos puede suponer un coste en un tanto por ciento muy elevado sobre el total de costes de explotación, mucho mayor en túneles más pequeños. La necesidad de reponer material por otro semejante abarata

Tabla 6. Reparto de gastos en túnel en función de su longitud (periodo de servicio de 10 años)

Concepto	Tipo de túnel	
	Gran longitud (%)	Longitud mediana/pequeña (%)
Gasto eléctrico	20	31
Vigilancia 24 h (operadores)	6	28
Personal de atención accidentes exclusivo	24	-
Trabajos de limpieza	3	-
Reparaciones por accidentes	3	-
Asistencia de empresas especializadas	8	10
Renovación de equipos por obsolescencia	22	-
Reparaciones de firmes	1	-
Reparaciones de ventilación	4	11
Reparaciones de abastecimiento eléctrico	4	5
Reparaciones de radiocomunicaciones	1	4
Reparaciones de iluminación	2	6
Reparaciones de CCTV, DAI, fibroláser	2	5

Tabla 7. Ejemplos de vida útil basados en la experiencia

Equipo	Vida útil (años)
Ventiladores de chorro	15-20
Bombas drenaje	15
Hidrantes	25-30
Grupos electrógenos	20
Sistemas de iluminación	20
CCTV	
Cámaras	15
Monitores	10
Equipos de control	20
DAI	20-25
Señalización y control de tráfico	20
Sistemas de comunicación (SOS, teléfonos, antenas, etc.)	20-25
Paneles acero inoxidable (hastiales)	10-15
Instalaciones eléctricas	20-25

mucho esta operación (o a la inversa). Por ejemplo, los postes SOS analógicos tienen costes bajos de reposición pero si no es posible su reparación debe sustituirse el sistema de forma completa por uno digital y si el túnel es largo ello supone la reposición de muchas unidades.

La Figura 10 considera un reparto de costes medio y de una forma más general, sin embargo se podría concretar algo más este reparto, según la longitud del túnel y para un periodo de servicio de 10 años, tal y como se indica en la Tabla 6.

4. Conclusiones

- Para disponer de un túnel seguro y con una explotación al menor coste deben tenerse en cuenta estos parámetros desde la fase de planificación.
- El nivel de servicio y calidad ofrecido a los usuarios de un túnel, no depende solo del nivel de servicio asegurado por sus instalaciones, también depende de la forma de explotación de éstas por parte del personal del túnel.
- Se ha de estar al tanto de las nuevas tecnologías, mejorando los rendimientos y la vida útil de los diferentes equipos.
- Se debe de buscar la eficiencia en la elección del centro de control.
- La formación del personal de explotación resulta una herramienta fundamental de la gestión de un túnel.
- Es fundamental disponer de un buen *Manual de Explotación*.
- Es básico realizar simulacros y ejercicios.
- En una intervención es clave la coordinación con los servicios de emergencia.
- Se ha de hacer un análisis exhaustivo de los costes e intentar constantemente reducirlos.

5. Bibliografía

- [1] 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.
- [2] Comité de túneles de la AIPCR; *Guía de buenas prácticas para la Explotación y el Mantenimiento de túneles de carretera*; 2005.
- [3] Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- [4] Comité de túneles de la AIPCR; *Guía para la organización, contratación y formación del personal de túneles de carretera*; 2007.
- [5] López Guarga, R.; *La explotación de túneles binacionales*; 2º Seminario Internacional de túneles y aplicaciones ITS; Buenos Aires; Marzo 2010.
- [6] Holst, J.; *Optimización de la Operación. Actividades de Mantenimiento y Costos para túneles viales basados en la experiencia*; Seminario Internacional Túneles de Gran Longitud; Santiago de Chile; Octubre 2012.
- [7] López Guarga, R.; *Explotación y Gestión de la Seguridad en túneles largos*; Seminario Internacional Túneles de Gran Longitud; Santiago de Chile; Octubre 2012.
- [8] Comité de túneles de la AIPCR; *Recomendaciones para la Gestión del Mantenimiento y las Inspecciones técnicas de túneles de carretera*; 2012.
- [9] Comité de túneles de la AIPCR; *Consideraciones sobre el Ciclo de Vida de los equipamientos eléctricos de túneles de carretera*; 2012.
- [10] López Guarga, R.; *Los túneles de carretera durante el invierno. Problemática de mantenimiento y explotación*; XIV Congreso Internacional de Vialidad Invernal; Andorra; Febrero 2014.
- [11] López Guarga, R.; *Inspección, mantenimiento y reparación de túneles*; IX Máster en túneles y obras subterráneas. AETOS. 2014.
- [12] Ministerio de Fomento; *Inventario de túneles de la Dirección General de Carreteras*; 2014.
- [13] Comité de túneles de la AIPCR; *Mejora de seguridad en túneles de carretera a través de la comunicación en tiempo real con los usuarios*; 2014; Borrador.
- [14] Informes de seguimiento anuales de explotación del túnel de Somport.
- [15] Boletín estadístico de la Comisión Nacional de Mercados y la Competencia. (<http://www.data.cnmc.es>).
- [16] Informe del Banco de España sobre costes laborales. (<http://www.bde.es/webbde/es/estadis/ccff/0325.pdf>). ❖

Rehabilitación del puente sobre el arroyo Alcañizo (Oropesa - Toledo)

Antonio García Vega

*Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Jefe de Servicio de la provincia de Toledo
Dirección General de Carreteras
Junta de Comunidades de Castilla La Mancha*

La carretera CM-5150, que discurre entre la intersección con la autovía A-5 (Oropesa) y el límite con la provincia de Ávila, presenta a la altura del p.k. 7+800 un puente sobre el arroyo Alcañizo, afluente del Tiétar, que sufrió importantes daños estructurales, como consecuencia de las intensas precipitaciones acaecidas en el mes de abril de 2013.

En la estructura, ejecutada con ladrillo cara vista y reforzada con sillares de granito, aparecieron importantes grietas, colapsándose uno de sus arcos con peligro inminente de derrumbe de la misma. Ello originó el corte del tráfico en la carretera y motivó la declaración de obra de emergencia por parte de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, invitándose a la empresa Construcciones Sarrión a presentar un estudio técnico y económico de soluciones para la reparación de la obra de fábrica.



Figura 1. Vista del actual del puente sobre el arroyo Alcañizo (Toledo)

Se iniciaron en Construcciones Sarrión las acciones conducentes a ofrecer la mejor solución técnica que garantizara la restauración del puente. Ello supuso un estudio meticuloso, no sólo del estado de la obra sino también del entorno, del terreno de sustentación, así como las técnicas de cimentación existentes en un puro ejercicio de ingeniería que permitiera la confrontación de los objetivos de consolidación y puesta en servicio de la estructura junto con el respeto al entorno y carácter histórico de la misma. Por ello se definió un nuevo diseño que se integrara totalmente en la obra existente rehabilitándola estructuralmente desde el interior y consiguiendo el objetivo marcado de respeto al exterior.

1. Introducción

La obra de fábrica sobre el Arroyo Alcañizo presenta dos secciones claramente diferenciadas:

- La sección central, de 23,95 m de longitud, formada por un tablero de 6,10 m de anchura soportado por cinco arcos rebajados de 3,85 m de anchura y 2,00 m de alto que parten de unas pilas de 0,80 m de ancho por 0,61 m de alto.
- Las secciones de los extremos, cada una de ellas de 15 m de longitud, constituidas por dos estribos cerrados que cuentan con dos arcos de medio punto en las proximidades del cauce de 1,56 m de anchura y 1,56 m de altura, que sirven como aliviaderos del puente. El ancho del tablero es de 7,05 m.

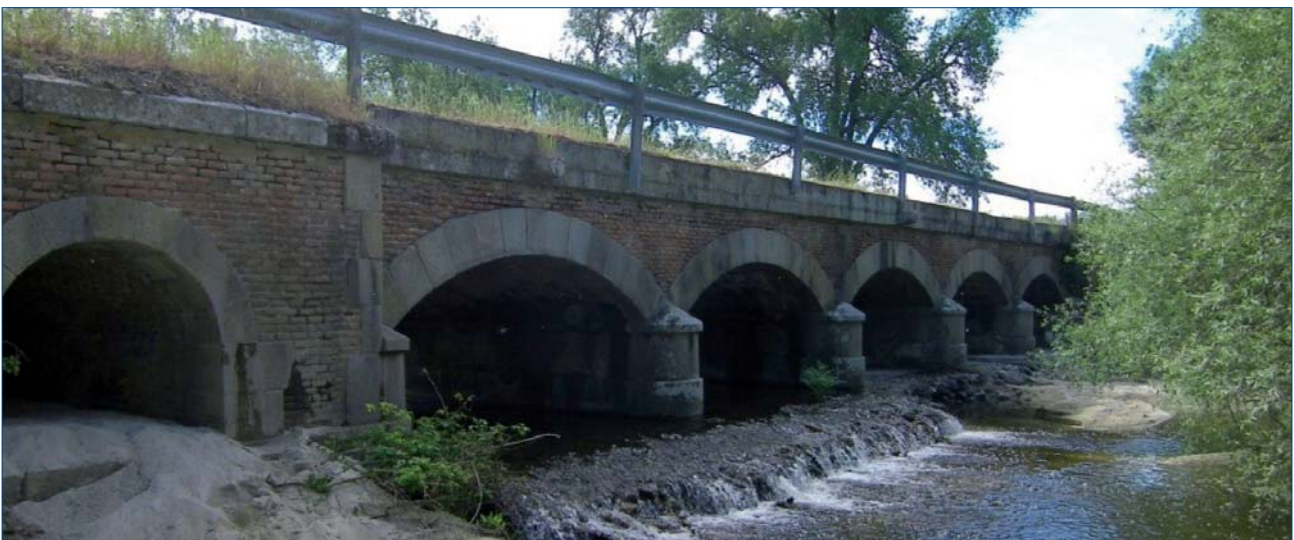
Las pilas y los arcos están forrados con sillares de granito que le dan un aspecto decorativo además de servir de protección superficial. El interior de las bóvedas y



Vista inicial de la estructura aguas arriba



Detalle de arcos dañados



Vista inicial de la estructura aguas abajo

Figura 2. Vista inicial de la estructura aguas arriba/abajo y detalle de los arcos dañados

las pilas de ladrillo están realizadas con materiales de la zona (bolos y gravas del propio arroyo), con una capa de regularización superior, que constituía el camino de rodadura, de arenas mezcladas con finos para dotarlas de cierta cohesión.

La conformación del puente sobre el río Alcañizo —con sillares de granito de medio punto combinado con arco rebajado en la parte central (que permiten mayor paso de volumen de agua), y ladrillo de cara vista— es muy característico en la comarca toledana y de hecho en el propio pueblo de Alcañizo existe un puente de similares características pero de menor tamaño datado en 1763. A este respecto, no se han encontrado reseñas históricas concretas sobre la estructura en restauración salvo referencias a su posible construcción en el siglo XIX.

El paso del tiempo y las sucesivas riadas produjeron por socavación, principalmente por la gran superficie opuesta al

paso de la corriente, un progresivo deterioro del terreno de soporte con arrastre de finos, pérdidas de densidad y cohesión, lo que ayudado sin duda por el incremento de las cargas de tráfico, da lugar a un deterioro lento pero progresivo que afecta inicialmente a la cimentación, luego a la pérdida de finos del relleno interior del puente y con ello, consecuentemente, se afecta a los asientos y desconsolidación estructural que finalizaron en el estado de precaria estabilidad.

2. Solución técnica propuesta

2.1 Trabajos Previos

Se realizaron previamente dos sondeos mecánicos a rotación con recuperación continua de testigo, sobre la rasante del puente actual, uno de ellos en la zona afectada por la patología y el otro en “zona sana” de manera

que se cubriera lo más ampliamente posible la zona de actuación. Los sondeos son un método de reconocimiento que permite tomar contacto con un punto real sobre el que se asentará la obra obteniendo información bastante completa en cuanto al tipo de material presente en la zona, espesor de relleno, profundidad de aparición de suelo firme, presencia o no de agua y, sobre todo, la toma de muestras *in situ* lo suficientemente representativas como para llevar a cabo los ensayos de laboratorio que permiten la caracterización geotécnica de los materiales atravesados, como datos de entrada para el cálculo de la cimentación.

La zona de estudio se caracteriza por estar localizada sobre una serie de depósitos de naturaleza predominantemente detrítica. En ambos casos se pone de manifiesto que existe una capa de arenas muy sueltas saturadas bajo el nivel freático, que pueden ser la manifestación de la zona socavable y/o socavada. Debajo de este Cuaternario comienza el sustrato portante de arenas arcaicas del Terciario donde los valores del ensayo de penetración estándar son superiores a los 40 golpes y donde cualquier tipo de cimentación debe apoyar o empotrar para garantizar la correcta transmisión de tensiones.

Se concluyó en la campaña de sondeos que el espesor de subsuelo afectado por la socavación era variable, ya que el cauce había sufrido modificaciones a lo largo del tiempo pero en cualquier caso se manifestaba menor de 3,00 m. Este espesor, ya socavado, podría asemejarse al de la máxima avenida por el tiempo que lleva construido el puente, y a partir del mismo se puede aceptar que el terreno ya no se verá afectado y contará, sin cambios para el futuro, con las características geotécnicas investigadas. Por tanto, a partir de esta profundidad el subsuelo podrá asimilar, con mayor o menor penetración en las capas inalteradas e inalterables, el peso propio de la estructura e incluso nuevas sobrecargas de uso.

Previamente se realizaron una serie de actuaciones conducentes a una mayor seguridad y protección del entorno en los trabajos posteriores. Entre ellas, la disposición de alternativas al tráfico mediante dos itinerarios con dos variantes diferentes para proceder al corte del tráfico por la citada estructura, así como la construcción de un paso provisional formado por tubos de hormigón de 800 mm de diámetro para facilitar el movimiento de la maquinaria sobre el arroyo Alcañizo con el menor impacto posible sobre el entorno.

2.2 Descripción de la solución

Con los datos recabados *in situ* se planteó no sólo la restauración del puente, mediante la construcción de una nueva estructura embebida en la antigua formando un único elemento, sino también el aumento de su anchura, la mejora de su rodadura y el acondicionamiento de su cauce.

Para ello, se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:

- **Cimbrado de los arcos.** Por motivos fundamentalmente de seguridad evitando el posible colapso por la descompresión que produciría el vaciado del relleno.
- **Nueva cimentación de la estructura.** Jet-grouting y micropilotes persiguiendo la consolidación del cimentado y de su terreno subyacente, y el refuerzo de pilas y estribos. Las pilas pilote receptoras de la carga son los micropilotes que transmiten por su fuste al jet-grouting los esfuerzos del tablero y el jet-grouting como terreno tratado difunde estas tensiones al suelo natural consolidado.
- **Formación del tablero.** Construcción de un nuevo tablero de 9,20 m de anchura dimensionado con las cargas de uso correspondientes a la normativa actual. Como hecho destacable se desvincula el tablero nuevo de la antigua estructura dotándole de su propia cimentación mediante pilas-pilote integradas en la consolidación mediante jet-grouting.
- **Arreglo y limpieza de los arcos.** Actividades de conservación y mantenimiento de la fábrica entre las que se encuentran, el arreglo del arco colapsado, la limpieza general con chorro de arena, el cosido de grietas y llagueado de ladrillos, así como el rasanteado con hormigón bajo los arcos.
- **Adecuación del cauce y obras complementarias.** Actividades en las inmediaciones de la estructura para facilitar el paso de las aguas y minimizar su acción erosiva, mediante la ejecución de una pantalla de hormigón y colocación de una escollera de protección. Todo ello, teniendo en cuenta la actuación en un entorno medioambiental especialmente sensible, tanto por el cauce del arroyo como por el valor histórico del puente a rehabilitar.

Se describen a continuación los trabajos llevados a cabo para la restauración, indicando las unidades más significativas.

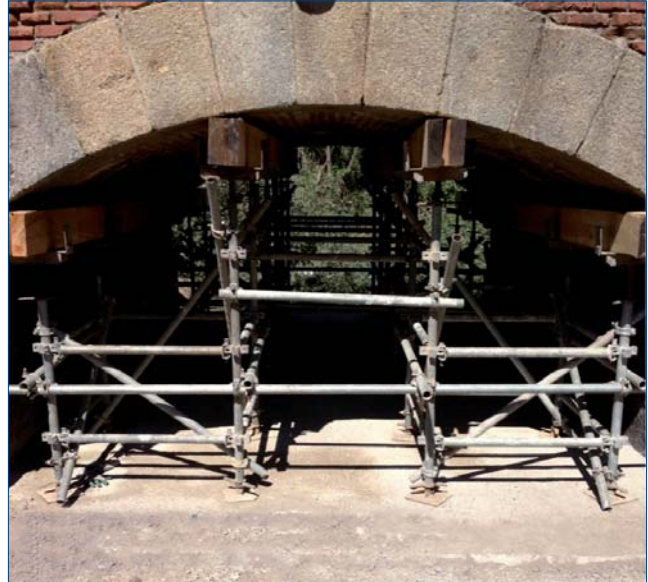
2.3 Cimbrado de los arcos

Respecto a la propia estructura, la primera acción fue el cimbrado de los arcos para evitar su posible colapso por la descompresión que produciría el vaciado del relleno y el tráfico de maquinaria pesada sobre la estructura dañada en el proceso de rehabilitación, y teniendo muy en cuenta, especialmente en los arcos centrales, el mantenimiento de la circulación del agua por el propio arroyo ante posibles nuevas avenidas.

Para ello, en los arcos centrales se construyeron zapatas de hormigón adosadas a las pilas, sobre las que se asentaría la cimbra, proporcionando un espacio adicional para no interceptar el paso del agua por la estructura.



Cimbrado arcos laterales



Cimbrado arcos centrales



Detalle zapata de apoyo cimbra porticada

Figura 3. Cimbrado de los arcos

2.4 Nueva cimentación de la estructura mediante jet-grouting

En su definición más elemental, *jet-grouting* significa "chorro de cemento". Este chorro de cemento a alta presión altera las propiedades mecánicas del suelo donde se aplica *in situ* confiriendo al macizo mayor resistencia, menor compresibilidad y relativa impermeabilidad.

Con el sistema *jet-grouting* el terreno es mezclado *in situ* directamente con la lechada de cemento a través de un *jet* a altísima velocidad, que destruye la estructura del suelo provocando una mezcla íntima suelo-material estabilizante, permitiendo obtener un resultado homogéneo y continuo. Con este sistema se crea, partiendo del terreno,

un verdadero elemento estructural con unas características determinadas en función del terreno de origen.

Para la consolidación y recalce del cimiento de las pilas y estribos de la estructura se realizó un *jet-grouting* tipo II desde la parte superior del tablero atravesando el cuerpo de la estructura para, una vez por debajo de ésta, ejecutar unas columnas de suelo tratado con cemento de 1,50 m de diámetro y unos 7 m de longitud. En los estribos las columnas de *jet grouting* son dobles con una inclinación de unos 15°.

El *jet-grouting* de tipo II conlleva importantes diferencias respecto al tipo I, una técnica más sencilla, rápida y económica, en la que se emplea un varillaje interno de dos fases es empleado que separa la provisión de agua y

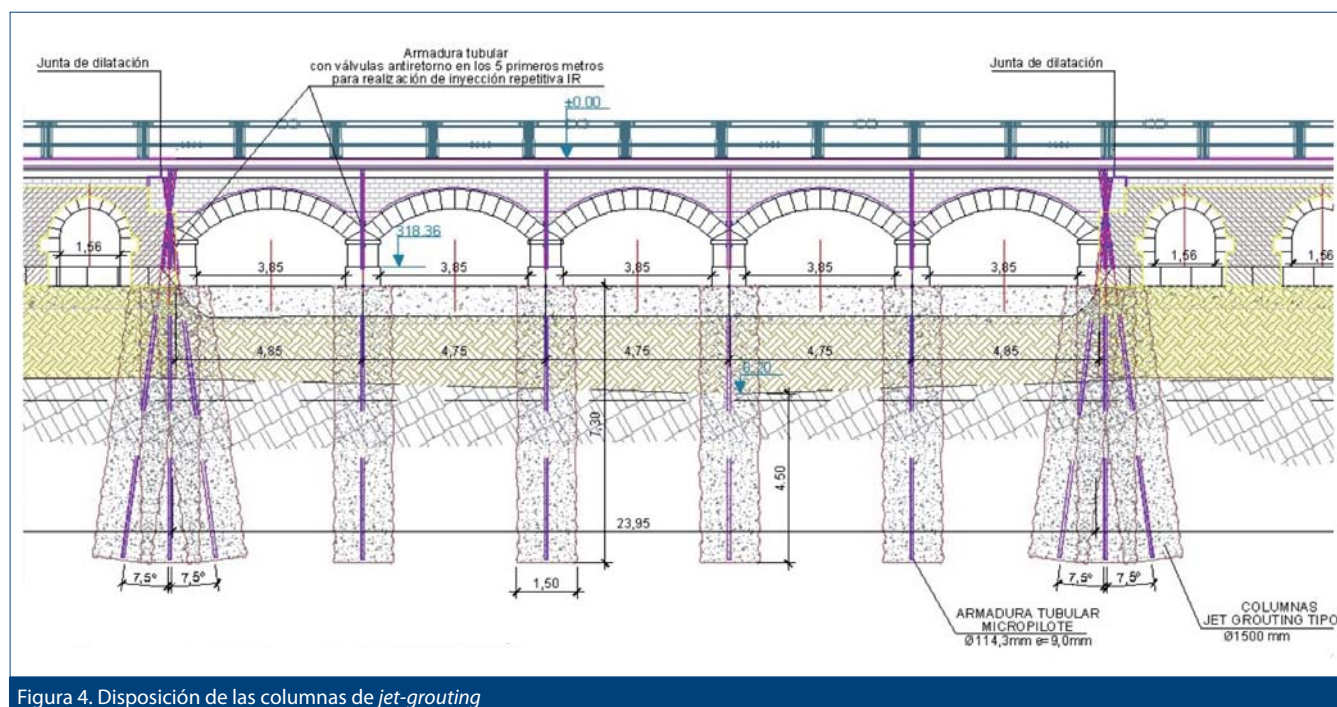


Figura 4. Disposición de las columnas de jet-grouting

lechada de cemento a dos toberas desplazadas verticalmente. La disgregación del terreno se realiza por la tobera superior, por medio del agua a alta presión, mientras que por la tobera inferior se inyecta el relleno de lechada.

El proceso de *jet-grouting* tipo II utilizado comprendía los siguientes pasos:

- a) Estudio previo de los parámetros del *jet* y programación del sistema. Para este estudio se aplica un cálculo, que permite obtener los parámetros de partida típicos de una columna de *jet* (caudal, tiempo y presión de trabajo) en función del diámetro a obtener y el tipo de terreno. Una vez establecidos los parámetros de ejecución de las columnas se programan en el controlador de parámetros en tiempo real. La columna se ejecuta de forma automática permitiendo, en caso necesario, su modificación y corrección en tiempo real y durante el proceso.
- b) Una vez obtenidos los parámetros teóricos, se puede proceder a la ejecución de las columnas de ensayo.
- c) Una vez realizado el replanteo de los puntos donde se ejecutarán las diferentes columnas, se procede al posicionamiento de los equipos, disponiendo para ello de una superficie suficiente para alojar los equipos fijos:
 - bomba de inyección de alta presión,
 - planta de mezclas,
 - silo de cemento para alimentación de la planta,
 - depósito de agua y
 - mangueras de comunicación con el equipo de ejecución del *jet*.

Por otro lado, se dispone de un carro perforador con el equipo necesario para la ejecución del *jet grouting*. La cabeza de rotación se desplaza sobre un mástil-guiadera con capacidad para ejecutar columnas de

hasta 15 m de longitud. De esta forma se optimizan rendimientos y se asegura una mayor calidad en la ejecución de la columna al no tener que detenerla para quitar varillaje, minimizando también las posibles obstrucciones de la tobera y posibles anillos en la chimenea de perforación.

- d) La inyección comienza una vez alcanzada la cota máxima de perforación. Se aseguró una planta de mezclas con control automático y capacidad de fabricación suficiente para mantener constante la inyección.

Se realizaron en total 38 columnas de *jet-grouting* tipo II de 1500 mm diámetro y 7,30 m de longitud con un consumo de cemento tipo CEM I 32,5 R de 900 kg por metro. La relación *a/c* utilizada fue de 1, obteniéndose una densidad media de la mezcla de 1,5 t/m³. Las columnas de suelo tratado con cemento se dispusieron de forma secante para evitar posibles circulaciones de agua entre las mismas que pudiesen socavar las cimentaciones.

El proceso fue previamente ensayado en dos columnas de prueba de las que se descubrieron los 2-3 primeros metros, una vez fraguado el cemento, para comprobar que se cumplían los diámetros y para extraer testigos para su rotura a compresión y flexotracción.

Se verificó la tipología y procedencia del cemento utilizado y se hicieron ensayos de laboratorio de resistencia a compresión y flexotracción para tener una base de comparación de los resultados obtenidos en las columnas de prueba, que superaron estos valores y se alcanzó densidades del material tratado cercanas a la del hormigón.

También es importante mantener una densidad de rechazo más o menos constante a lo largo de todo el tratamiento; para ello se realizaron medidas por columna del rechazo y el equipo de control de parámetros, situado a pie

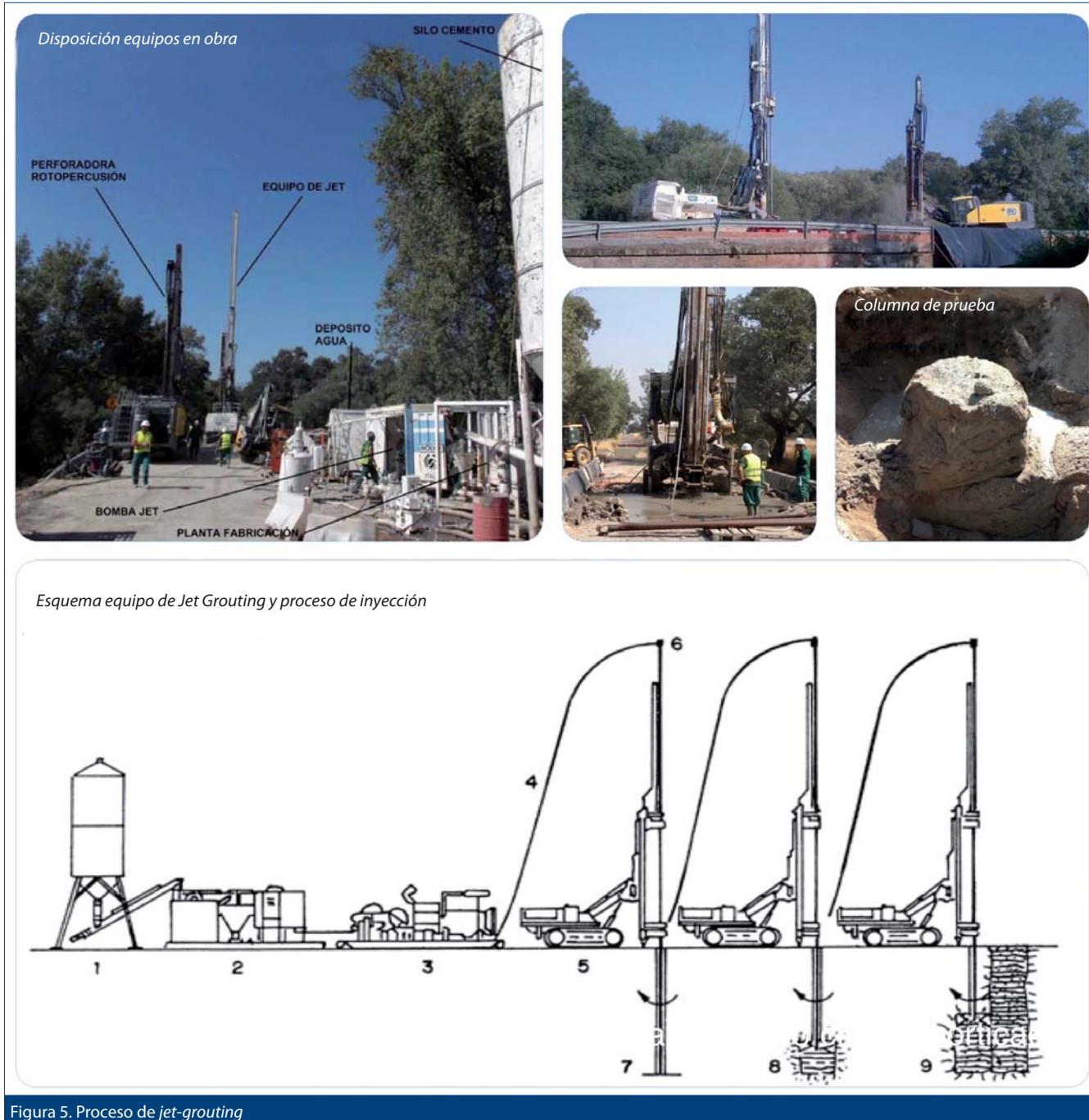


Figura 5. Proceso de *jet-grouting*

de perforadora, reflejó los parámetros principales de la columna (profundidad del taladro, presión de trabajo a pie de máquina, caudal de trabajo, consumo de litros de mezcla por metro de columna y tiempo de ejecución). Estos parámetros almacenados en un software específico permiten el estudio, control y estadística del trabajo realizado.

Otro punto crucial de control es la velocidad de ascenso en la creación del tratamiento de *jet* que se fijó en 4 cm/min tras los resultados satisfactorios obtenidos en las columnas de prueba. La comprobación de los partes de trabajo y de las fechas de ejecución permite estimar que este requisito se ha cumplido con margen de seguridad. Diariamente se controló la densidad de la lechada fabricada para verificar que se mantuvieran las dosificaciones aprobadas.

El rechazo generado en el proceso es alto (entorno al 50 - 60%), por lo que fue precisa la construcción previa de una pared de fábrica de ladrillo, a modo de parapeto, para evitar la afección al cauce del arroyo Alcañizo, y el tapado de la estructura mediante plásticos para evitar ensuciar los alzados de la estructura.

2.5 Nueva cimentación de la estructura mediante micropilotes.

Sobre las columnas de *jet-grouting*, y aprovechando el taladro de las mismas desde la parte superior del tablero, se dispusieron unos micropilotes embebidos dentro de las columnas en estado fresco, con el fin de



Protección de la estructura con plásticos



Muros laterales para la contención del detritus

Figura 6. Protección de estructura por derrames

absorber y transmitir las cargas producidas por la nueva estructura.

Para efectuar la transmisión de cargas de la losa armada a los micropilotes se proyectó la colocación de unos anclajes en cabeza consistentes en barras corrugadas soldadas al micropilote. Las dimensiones de la armadura de los micropilotes (114,3 mm de diámetro y 9 mm de espesor) permitía su introducción a través de la perforación efectuada por la máquina de *jet-grouting*, como se ha comentado anteriormente.

Además de los trabajos de recalce de las cimentaciones, en la zona de estribos se han realizado unas inyecciones de consolidación a baja presión con lechada de cemento tanto en el interior de los estribos como en la cimentación de estos. Estas inyecciones de consolidación se han repartido en 40 taladros de 6,00 m estando las válvulas de inyección repartidas a lo largo de los tubos cada 0,50 m. Una vez perforado el taladro se introduce el tubo manguito dentro de una mezcla de bentonita-cemento con densidad 1,3 kg/l y posteriormente se efectúa la inyección propiamente dicha con lechada de cemento, de 1,5 kg/l de densidad, para lo que se mezclan en batidora de alta turbulencia 750 kg de cemento en 750 litros de agua.

Con los volúmenes y las densidades antes mencionados se puede determinar la mejora realizada con las inyecciones, ya que en las zonas tratadas el aumento de densidad alcanzado es del orden de 50 kg/cm³ al que hay que añadir los efectos de una mayor cohesión por el poder conglomerante de la lechada.

Los ensayos sobre muestras de *jet-grouting* tomadas durante los trabajos han dado resultados satisfactorios. La resistencia a compresión a los 7 días alcanza un valor medio de 4,7 MPa registrándose valores mínimos por encima de 3,8 MPa, lo que hace prever que, con la clase 32,5N de cemento utilizada, la resistencia a 28 días supere los 5 MPa, valor habitual en este tipo

de tratamientos. La resistencia a flexotracción presenta un valor mínimo de 0,2 MPa y un valor medio de 0,245 MPa. Con este valor a los 7 días queda garantizada la transmisión de la carga del micropilote al *jet* calculada en 64 toneladas.

Posteriormente, se procede al vaciado de los tímpanos de los arcos del vano central y de los estribos. En esta fase, además, se realizan las siguientes operaciones:

- Construcción de un muro de ladrillo en el interior de la estructura para la alineación de la imposta.
- Corte de los manguitos de los micropilotes y de los tubos de las inyecciones hasta dejarlos a cota de la losa.
- Alineación, recolocación y rejuntado de la imposta de granito existente.

2.6 Formación de tablero

A continuación se ejecutaron los trabajos de armado de la losa de hormigón interior de canto variable entre 55 y 120 cm siguiendo la configuración interior de los arcos. Sobre esta losa se colocaron las prelasas prefabricadas de hormigón de 9,20 m para conseguir una calzada de 8 m de anchura, además del espacio suficiente para disponer un pretil de protección de alta contención. La sección transversal tipo tiene las siguientes características:

- | | |
|-----------------------------|------------|
| • Calzada | 2 x 3,00 m |
| • Arcenes | 2 x 1,00 m |
| • Bandas laterales (pretil) | 2 x 0,60 m |

Para asegurar un funcionamiento estructural independiente entre la nueva estructura construida y los arcos de ladrillo, se colocó una lámina de porexpan sobre éstos y posteriormente una lámina de plástico. En los estribos la lámina de porexpan se colocó únicamente sobre los arcos, con un ancho de 1,20 m, procediéndose posteriormente al vertido de un hormigón de limpieza.



Detalle micropilotes en estribos



Vaciado timpanos de arcos



Vaciado timpanos de estribos



Colocación anclajes en cabeza de micropilotes

Figura 7. Proceso de ejecución de micropilotes

La armadura correspondiente se dispone apoyada sobre la lámina de porexpan, en el vano central, y sobre el hormigón de limpieza en los estribos. Tras esta operación, se efectúa el hormigonado de la losa, primero en el vano central y después en los estribos. La cota superior de la losa se deja 8 cm por encima de la imposta de la estructura del puente, de tal manera que las prelas no transmitan cargas al tímpano de la estructura, colocando para ello un encofrado en tabica y cierres de losas.

Una vez hormigonada la losa, tanto en el vano central como en los estribos, se procede a la colocación de las prelas prefabricadas de 8 cm de espesor y 9,20 m de anchura que formarán el nuevo tablero de la estructura. La unión y anclaje de estas prelas con la losa hormigonada *in situ* se hace por medio de cercos.

Posteriormente se procede al armado y hormigonado de la losa de compresión del tablero. Una vez endurecida la losa de compresión, se realiza la formación de la tabica para la colocación del pretil.

2.7 Arreglo y limpieza de los arcos

Además de las labores de recalce de la estructura y construcción del nuevo tablero, se han llevado a cabo actividades de conservación y mantenimiento de la fábrica que constituye la estructura original. Entre estas operaciones se encuentran las siguientes:

- Arreglo del arco colapsado: el arco más próximo al cauce, perteneciente al estribo del lado Oropesa, presentaba un importante deterioro, caracterizado por el desplazamiento vertical de uno de sus hastiales, siendo máximo en la cara aguas arriba de la estructura. Al mismo tiempo, la cimentación del mismo, presentaba una gran oquedad longitudinal.

Para la reparación del mismo se procedió, en primer lugar, a la limpieza y posterior relleno de la oquedad existente con un hormigón en masa de consistencia fluida. En cuanto al arco, se demolió parcialmente la parte dañada y se reconstruyó con la ayuda de

- gatos hidráulicos para el encaje de piezas de sillería y ladrillo.
- Limpieza con chorro de arena: con el fin de mejorar la estética de los alzados de la estructura.
- Cosido de grietas y llagueado de ladrillos.

- Rasanteado con hormigón bajo los arcos: se ha realizado un rasanteado con hormigón HM-20 en la solera debajo de los arcos para conseguir una adecuada laminación del agua del cauce e impedir las filtraciones en las cimentaciones de las pilas.



Colocación porexpan en arcos



Colocación lámina de plástico



Colocación de armadura en vano central



Hormigonado de estribo



Colocación de prelosas



Armado y hormigonado de losas de compresión

Figura 8. Proceso de formación de tablero

2.8 Adecuación del cauce y obras complementarias

Con el fin de proteger la cimentación de la estructura frente a posibles socavaciones, se ha ejecutado una pantalla de hormigón de 3,00 m de profundidad, (hasta alcanzar el nivel Terciario) y 0,80 m de anchura aguas arriba de la estructura. En la cara aguas abajo se ha ejecutado una solera de hormigón armado en una anchura de 4,00 m que, como medida ambiental y estética, se terminó con un talud protegido con escollera hormigonada.

Para adaptar el ancho de la carretera actual y de la nueva estructura se ejecutaron cuatro cuñas de transición, formadas por muro de escollera rejuntada con hormigón.

Se finalizó con el firme dispuesto sobre la nueva estructura formado por los siguientes materiales:

- Tratamiento de impermeabilización.

- Riego de adherencia ECR-1.

- 10 cm de AC16 surf S (anteriormente MBC tipo S-12).

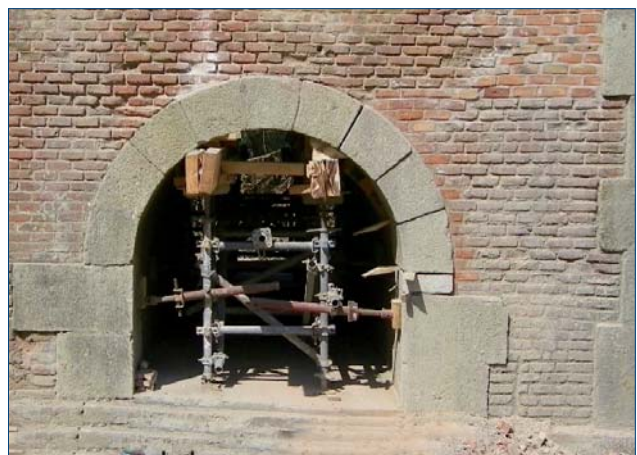
Otras obras complementarias comprenden la señalización horizontal, marcas viales, así como las defensas para la zona de actuación. De esta forma los laterales del tablero del puente sobre el arroyo Alcañizo se terminaron con un pretil metálico tipo APE 13, con nivel de contención H2 y por otro lado, en las cuñas de transición entre la calzada actual y la estructura ampliada, se coloca una barrera metálica simple de alta contención, modelo AS BL1.B, con nivel de contención H1/L1.

3. Conclusiones

La rehabilitación de la estructura sobre el arroyo Alcañizo en Oropesa, requería de una especial sensibilidad a la hora de afrontar la misma, propia de este tipo de actuación.



Llagueado de la fábrica de ladrillo



Arreglo del arco colapsado



Limpieza con chorro de arena

Figura 9. Arreglo y limpieza de los arcos

nes en las que se ve comprometido el mantenimiento de su personalidad, al tratarse de un puente con valor artístico-histórico. En coincidencia con los objetivos marcados, el respeto e integración en el entorno del arroyo Alcañizo debía también formar parte fundamental de la actuación.

Esta premisa debía ser prioritaria en la solución técnica que se diera a la actuación, sumándole a ella todas las medidas necesarias para dotar al cauce de una mejor continuidad, minimizando para el futuro las causas que originaron el colapso de la estructura. De hecho, ya se ha podido verificar la efectividad de las labores dado que en septiembre de 2014 se produjeron crecidas de caudal similares a las que ocasionaron los daños, no produciéndose afecciones ni a la nueva estructura ni a la propia cimentación.

La selección del establecimiento de una nueva cimentación mediante las técnicas de *jet-grouting* y micropilotes, permite diseñar una nueva estructura embebida en la existente de forma que se integra totalmente en ella rehabilitándola estructuralmente desde el interior y consiguiendo el objetivo marcado de respeto al exterior. Las inyecciones a baja presión con tubo manguito constatan una mejora de la densidad del relleno del tablero actual, además del posterior beneficio que el efecto conglomerante de la lechada introducida ejercerá en el cuerpo del citado relleno.

La solución proyectada permitió, a su vez, establecer mejoras respecto a la anterior estructura como el aumento de la anchura del tablero de 6,10 m a 9,20 m, a lo que se suman las actuaciones específicas en el cauce, la mejora del firme, la nueva señalización y defensa característica de las estructuras que ejecuta la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha.

Un hito de vital importancia es el plazo récord en la ejecución de los trabajos (3 meses), minimizando las molestias a los vecinos de la zona y finalizando antes de que las primeras lluvias de otoño hubieran imposibilitado la entrega de la obra.

En definitiva, en el empleo de la ingeniería en la ejecución se desarrolla una técnica moderna que actúa de forma solidaria con la antigua técnica de construcción de la estructura fusionándose en una sola, manteniendo a su vez toda la esencia de la misma que la hace especial.

Agradecimientos

A José Luis Ramírez Vindel y Carlos J. Gálvez García, Jefe de Obra y Encargado, respectivamente, de la empresa contratista Construcciones Sarrión. ♦



Escollera rejuntada con hormigón



Extendido de aglomerado asfáltico



Solera de hormigón sobre escollera



Figura 10. Adecuación del cauce y obras complementarias



Descubre la APP que cambiará tu forma de conducir por la autopista

Autopistas en ruta es una aplicación de movilidad que ofrece información en tiempo real del estado del tráfico. Toda la información que necesitas antes, durante y después de tu viaje, en tu mano. Todo lo que necesitas para una conducción cómoda y segura, con la ayuda del sistema Voice Push (alertas de voz), geolocalización, llamadas de emergencia, suscripción a alertas de tráfico y acceso a ofertas y servicios en ruta.

Entre sus funcionalidades encontramos:

Avisos en ruta

Actúa como copiloto durante el trayecto. Proporciona información viaria de la autopista y la velocidad estimada del vehículo con avisos sonoros y de voz. Informa sobre posibles incidencias en ruta y ofrece la posibilidad de reportar incidencias.

Mis alertas

Permite generar avisos de incidencias y alertas en las autopistas para días y horas concretos. La suscripción de mis alertas permite conocer el estado del tráfico y si hay alguna incidencia en las rutas habituales antes de salir.

Mapa

Un mapa con **información del tráfico de primera mano**: incidencias, obras y cámaras en tiempo real, así como servicios en ruta (áreas de servicio, gasolineras y talleres mecánicos) y previsión meteorológica. Permite calcular rutas y trayectos, actuando como navegador mediante la geolocalización.

Mis servicios

Consulta el histórico de recorridos realizados, localiza tu coche registrando su posición para poder conocer más tarde su ubicación, y encuentra consejos de seguridad vial y links al canal youtube de **abertis autopistas**.

SOS

Servicio de llamada de **asistencia las 24 horas del día y detección automática de emergencias** en caso que se detecte una desaceleración brusca del vehículo, un protocolo de llamada de emergencia que, mediante la geolocalización, avisa a los servicios de emergencia pertinentes.

Ventajas sin parar

Solicita tu **VíaT Bip&Drive** y consigue descuentos y promociones a tu paso por la autopista.

Descárgatela ya en
www.autopistas.com/app



autopistas en ruta

El camino desde el túnel seguro hasta el túnel excelente. Evolución de la normativa de seguridad en túneles¹

Juan Ramón López Laborda
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
IDOM Ingeniería y Consultoría, SAU

Javier Borja López
Ingeniero Industrial
IDOM Ingeniería y Consultoría, SAU

Una de las principales consecuencias de los trágicos accidentes de finales de los años 90 fue la mayor atención de las políticas públicas en el problema de la seguridad en los túneles, lo que condujo a la puesta en marcha de nuevas acciones tanto a nivel europeo como mundial. Entre estas acciones cabe destacar la creación de grupos de trabajo, el desarrollo de proyectos de investigación y el desarrollo de nuevas normas y recomendaciones.

La interpretación que se hizo en un primer momento de estas nuevas normas y recomendaciones condujo a que los proyectistas, influenciados por las graves tragedias mencionadas, se centrasen sobre todo en el equipamiento de seguridad de los túneles, pasando por alto otros aspectos de notable importancia. Esto dio lugar en algunos casos a grandes inversiones y túneles sobre equipados, lo que no necesariamente implicaba túneles más seguros.

Durante estos últimos quince años la experiencia adquirida ha llevado a todos los agentes relacionados con la seguridad, a reconsiderar algunos de los planteamientos inicialmente realizados, resaltando la importancia de aspectos como los económicos, la explotación del túnel o el comportamiento de los usuarios. Adicionalmente, el desarrollo metodológico y de determinadas aplicaciones informáticas, ha permitido la aplicación de los análisis de riesgos en el ámbito de la seguridad en túneles; los análisis de riesgo son una herramienta de apoyo al proyectista que permiten adaptar las medidas de seguridad a las condiciones particulares de cada túnel.

Por otro lado, el desarrollo tecnológico de estos últimos años permite dotar a los túneles de unas instalaciones de seguridad cada vez más eficientes y fiables (iluminación basada en lámparas LED, detección por infrarrojos, sistemas automáticos de control y vigilancia, etc.).

Este artículo presenta, de forma general, esta evolución en las normas y criterios de diseño ligados a la seguridad en los túneles, describiendo con mayor detalle aquellas nuevas herramientas, medidas y equipos que permiten convertir un túnel seguro en un túnel excelente.

Situación de partida: evolución hacia el túnel seguro

En el año 2005, el IV Simposio de Túneles de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC) se desarrolló bajo el lema general «¿Por qué son seguros los túneles?» Ninguno de los quinientos especialistas que nos reunimos en ese evento puso en duda la afirmación que la pregunta lleva implícita y las más de cincuenta ponencias que sobre la seguridad en los túneles se presentaron sirvieron para apoyar esa aseveración, convertida en dogma desde entonces. Quizá valga la pena, como ejercicio intelectual, preguntarnos si realmente los túneles son seguros y, en caso afirmativo, desde cuando lo son. Por lo tanto, debemos preguntarnos: ¿desde cuándo son seguros los túneles?, ¿son más seguros por tener más equipamientos?, ¿es suficiente el marco normativo?, ¿qué papel juega el

¹ Comunicación presentada al VI Simposio de Túneles de Carreteras, celebrado en Zaragoza del 11 al 13 de marzo de 2015.

usuario? Por último, nuestra obligación es avanzar desde conceptos más “pasivos” o “prescriptivos” ligados a la seguridad hacia la búsqueda de elementos que logren el objetivo de la excelencia de nuestros túneles. Para ello hay que partir de la premisa fundamental que no se puede suponer un comportamiento humano ideal en un túnel bien construido o, expresado de otra manera, cómo lograr que los agentes involucrados en el diseño y gestión, ayudemos a que los usuarios conviertan un túnel seguro en un túnel excelente. Este debe ser el reto para los próximos años.

Se ha dividido esta exposición en tres etapas: evolución hacia el túnel seguro (1920-2004); periodo de incertidumbre (2004-2010) y el camino hacia la excelencia (2010-2016?). Las fechas indicadas no se pueden tomar como valores absolutos, sino como intervalos temporales en los que se producen los principales acontecimientos. Se invita al lector a recorrer este camino hacia el túnel excelente desde sus primeros tiempos.

Los primeros túneles para la circulación de automóviles datan de 1920-30 y durante esa época, en EEUU y en algún país europeo como Francia o Reino Unido, se empieza a estudiar los problemas asociados a su explotación.

El *Liberty Tunnel*, (Pittsburgh, EEUU) se abrió al tráfico en enero de 1924 y en su momento se consideró el túnel para vehículos de motor más largo del mundo, distinción que todavía hoy en día se discute con el *New York's Holland Tunnel*, bajo el río Hudson. En cualquier caso ambos túneles están considerados como los primeros de la “Edad del Motor” en los que se planteó la necesidad de colocar un sistema de ventilación, aunque todavía se conocía poco sobre los efectos nocivos de los gases de combustión.

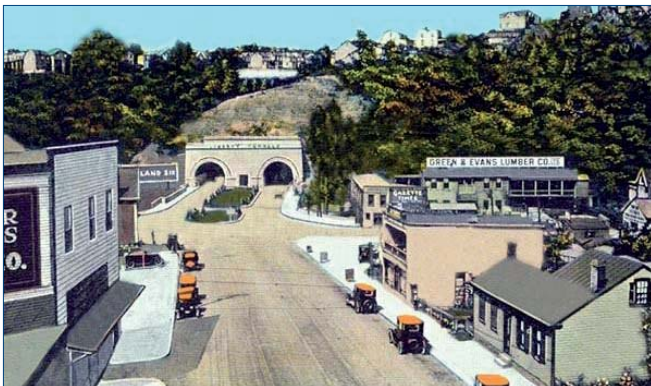


Figura 1. Postal del Liberty Tunnel (1924) [Fuente: brooklineconnection.com]

El túnel está formado por dos tubos de casi 1800 m, separados aproximadamente 20 m entre sí, con dos carriles de circulación para cada sentido. El sistema de ventilación previsto era una variante del método Saccardo pero cálculos posteriores demostraron que el sistema era insuficiente y durante la ejecución de la obra se planteó una modificación: el nuevo diseño incluía una estación de ventilación intermedia con pozos de ventilación para la extracción de humos e impulsión de aire.



Figura 2. Estación de ventilación [Fuente: google 2014]

Sin embargo, retrasos en el diseño y ejecución del nuevo sistema de ventilación y otras presiones para la apertura del túnel llevaron a que se pusiera en servicio sin que la ventilación estuviera en servicio. Vale la pena recordar, las declaraciones del prestigioso ingeniero Clifford Holland recogidas en el *Pittsburgh Press* del 11 de diciembre de 1923 asegurando que no había razones suficientes para mantener el túnel cerrado y que la ventilación natural era suficiente para mantener los adecuados niveles de seguridad; aseveraciones que en este caso al poco tiempo se demostrarían equivocadas.

«There is no reasons of the world why these tunnels of yours in Pittsburgh should not be opened for traffic at once»
«the natural ventilation in tunnels such as is safe and asserts that similar tunnels in England have been used for 25 years without artificial ventilation!»

Finalmente el túnel se abrió a principios de 1924 sin haber puesto en funcionamiento la ventilación.

Aunque el túnel conectaba con una zona por desarrollar y por lo tanto en condiciones normales el tráfico era bajo, el 10 de mayo de ese mismo año una huelga del transporte público aumentó el volumen de tráfico provocando un fuerte atasco en el interior del túnel sin que los conductores apagaran sus motores, lo que convirtió rápidamente el aire en irrespirable causando el pánico, la intoxicación e incluso el desmayo de los conductores atascados en el túnel y también de los policías que acudieron a atender la emergencia [1].



Figura 3. Inauguración del Liberty Tunnel (enero de 1924) [Fuente: Pittsburgh Post-Gazette]



Figura 4. Crisis del monóxido (10 de mayo de 1924)

Los efectos del monóxido de carbono al combinarse con la hemoglobina eran ya entonces bien conocidos, ya que esa combinación desplaza al oxígeno pudiéndose producir la muerte por asfixia. Como consecuencia de ello, en función de la concentración y del tiempo de exposición se producen sus conocidos efectos: dolor de cabeza, náuseas, inconsciencia y hasta la muerte con concentraciones superiores a 6400 ppm y 10-15 minutos de exposición. En el incidente de Pittsburgh se midieron concentraciones de carboxihemoglobina, suficientes para causar náuseas, vómitos, cefaleas y dolores torácicos.

Son varias las lecciones aprendidas de este incidente y no es fácil encontrar a un responsable: ¿el ingeniero que diseñó un sistema de ventilación que fue necesario modificar en obra?, ¿el constructor que no cumplió con los plazos comprometidos?, ¿aquellos que forzaron la apertura de un túnel inacabado?, ¿los técnicos que apoyaron esa idea?, ¿los usuarios que no apagaron sus motores?, ¿la coordinación de los servicios de emergencia?, ¿el escaso conocimiento sobre la contaminación producida por los humos de los vehículos?...

En cualquier caso, la principal lección aprendida es que en el concepto seguridad se incluyen muchas variables, no todas ellas previsibles ni fácilmente cuantificables, y por lo tanto las medidas que se adopten para reforzarla cambiarán de una época a otra y en la misma época de un lugar a otro.



Figura 5. Holland Tunnel en Nueva York (1927)

Al poco tiempo del incidente descrito se puso en funcionamiento el *Holland Tunnel* en Nueva York (1927) con un sistema de ventilación transversal.

Los estudios más detallados sobre la ventilación y los efectos del monóxido de carbono se realizan en EEUU a partir de la primera guerra mundial, muchos de ellos en cooperación con el *Bureau of Mines*; también en Francia y otros países europeos. Sin embargo el conocimiento sobre la contaminación de los humos emitidos por los vehículos era mucho menor; hecho que se complica según se produce la evolución de los motores de gasolina y la producción en serie de los primeros vehículos diésel.

La aparición de organismos como la IRF (1948) o la creación del Comité de Túneles de Carretera (1957) de la PIARC, actualmente presidido por el español Ignacio del Rey, supusieron importantes hitos en el desarrollo de la seguridad. Las inquietudes iniciales de este Comité son fijar los umbrales de CO, estudiar su contenido en los gases de los humos de los vehículos y definir, en consecuencia, el caudal necesario para su dilución. El aumento de la velocidad, la implantación de los vehículos diésel y el desarrollo de la reglamentación medioambiental obligarán a la disminución en la emisión permitida a los vehículos. En su primer informe (Congreso de Río de 1959) el Comité de Túneles se pregunta: ¿a partir de que longitud y tráfico un túnel debe tener ventilación artificial?, ¿es más eficaz a partir de una determinada longitud transportar los vehículos por otros medios? Actualmente podemos responder a la primera pregunta indicando que de acuerdo con la normativa europea en túneles interurbanos la ventilación es obligatoria para aquellos de longitud mayor de 1000 m y en la española para los de 500 m. Quizá las denominadas autopistas ferroviarias o ferroustage sean la respuesta que esperaban los especialistas hace más de medio siglo cuando se planteaban transportar los vehículos por otros medios.

Mientras tanto en España, aunque no se participe en el Comité de Túneles hasta 1975, representados por F. Pérez Loza, el Túnel de Guadarrama (1963) demuestra que se conoce en profundidad el estado del arte de la seguridad. Guadarrama fue el primero túnel español en el que se estudiaron con profundidad los problemas de ventilación e iluminación. El sistema de ventilación diseñado fue el semitransversal aunque con posibilidad de cambio a transversal sin interrupción del tráfico. Así mismo, se dotó al túnel de un sistema de iluminación a base de fluorescentes con refuerzo en bocas, ajustándose a las normas IES (*Illumination Engineering Society*), siendo la primera vez en Europa que un gran túnel se ajustaba a ellas [2]. Se instalaron además un pulsador de alarma cada 60 m y cada 120 m un extintor y un teléfono conectados con un Centro de Control. En 1972 se puso en servicio el segundo túnel. El 14 de agosto de 1975 se incendió en este segundo tubo un camión que transportaba resina de pino. Los daños

que sufrió el túnel obligaron a su cierre durante casi un mes. Se dañaron medio millar de luminarias, cámaras de televisión y postes SOS junto con unos ciento cincuenta metros de falso techo. La existencia del túnel I permitió que se desviara el tráfico durante el periodo de cierre del tubo dañado; no hubo ningún daño a las personas. En 2007 se puso en servicio un tercer tubo.

Se considera que el primer incendio grave en un túnel fue en el ya citado *Holland Tunnel* en el año 1949; las importantes consecuencias en pérdidas económicas de los primeros accidentes con fuego llevan a que en las décadas siguientes se realicen los primeros ensayos con fuego. Se quiere además conocer las prestaciones reales de los diferentes sistemas de ventilación artificial: transversal, semitransversal y longitudinal, todos ellos con sus diferentes variantes.

En 1965, se realizan una serie de ensayos [3] en el túnel ferroviario fuera de uso de Ofenegg (Suiza), en los que además de su mérito de pioneros, se muestran los problemas de la pérdida de estratificación al utilizar la ventilación longitudinal; además se realizaron pruebas de extinción con *sprinklers* que muestran que bajo determinadas circunstancias el uso de los mismos podía ser contraproducente. Ambos debates siguen abiertos cincuenta años después.

Una década después (1975), se desarrollan en Austria otras pruebas de cuyas conclusiones hay que resaltar las recomendaciones sobre la importancia crítica de la detección precoz del incendio.

A principios de los años ochenta se realizan en Japón nuevos ensayos y en los noventa nueve países europeos asociados en el marco del proyecto EUREKA finalizan el proyecto FIRETUN. Se realizaron 21 ensayos, utilizando vehículos de metro, tren, coches y otros vehículos pesados con diferentes tipos de combustible para conseguir diferentes potencias de incendio. Se obtuvieron significativas conclusiones sobre la influencia del material de los vehículos, temperaturas alcanzadas en el incendio o desarrollo del incendio, lo que abrió un debate sobre la curva que mejor representaba ese comportamiento.

En la misma época, se realizan los ensayos del *Memorial Tunnel* que junto con los mencionados de FIRETUN significan un punto de inflexión en el conocimiento del comportamiento de un incendio en el interior de un túnel.

Alguno de estos debates sobre la potencia de cálculo y la curva de fuego siguen hoy en día sin que exista una solución única, tanto en el ámbito de los túneles carreteros como en los de metro o ferrocarril. Por ejemplo, aunque en España la normativa refleja una potencia calorífica de 30 MW, en los últimos años se extendió el uso de 100 MW y en casos extremos 200 MW, valor que sólo debería considerarse en situaciones muy singulares y estudiando cuidadosamente las repercusiones técnicas y económicas que está elección conlleva. Respecto la evolución en el tiempo de la potencia de incendio o calor liberado, tampoco existe



Figura 6. Túnel de Guadarrama [Fuente: ABERTIS]

una opción única aunque la metodología de análisis de riesgos del Ministerio de Fomento recoge unos escenarios de incendio con diferentes tipos de curva.

Recientemente, en nuestros trabajos en el campo de los metros, hemos “sufrido” esta misma falta de acuerdo, agravado por el diferente comportamiento del material móvil de los fabricantes, no tanto en el pico que se alcanza sino en el tiempo que se tarda en llegar a ese máximo. Las implicaciones económicas y las estrategias de actuación son muy diferentes ya que afecta tanto al volumen de humos generados como al tiempo disponible para la evacuación segura de los usuarios y la actuación del sistema de ventilación y los servicios de emergencia.

Tras más de 70 años se llega al final de esta situación de partida: evolución hacia el túnel seguro y se alcanza el momento en el que se produjeron los terribles accidentes alpinos que cambiarán nuestras concepciones sobre la seguridad de los túneles.

Hemos repasado algunos de los puntos en los que los expertos se detuvieron pero ¿qué pasó durante este tiempo con los usuarios de los túneles? La mayor parte de los túneles, especialmente los interurbanos, estaban escasamente equipados, quizá con una iluminación básica. Los conductores analizaban las condiciones del nuevo entorno



Figura 7. Túnel de Guadarrama

en el que circulaban, más hostil que al aire libre, percibían el mayor riesgo al que se enfrentaban y adaptaban su circulación disminuyendo su velocidad, aumentando la concentración o la distancia entre vehículos.

Según las características y el nivel de conservación de la carretera al aire libre, la adaptación a la circulación en el túnel era más o menos difícil. En un principio, la menor calidad de las carreteras al aire libre implicaba que el conductor fuera menos autómatas en su circulación y por lo tanto su concentración fuera mayor y la adaptación al medio más hostil del túnel fuera más sencillo. Parece contradictorio, pero es evidente que la situación global era más segura que posteriormente en el que las carreteras mejoran sus características geométricas pero se conduce de forma más automática y se hace más complejo el cambio de comportamiento dentro del túnel.

En unos túneles escasamente equipados, inicialmente era el usuario el que de forma casi inconsciente está aportando un plus de seguridad y eso a pesar de que los expertos casi no se ocupaban de ellos. Su comportamiento respondía a lo que en los modelos de comportamiento se denomina comportamiento basado en el conocimiento [3] frente al basado en las competencias o en las reglas establecidas.

Como consecuencia de los trágicos accidentes alpinos, se produce en el periodo 1999-2004 un fuerte impulso a los temas relacionados con la seguridad, como por ejemplo el Informe del Comité de Túneles de PIARC *"Fire and Smoke Control in Road Tunnels"* (1999) o los ensayos desarrollados en los túneles de Benelux (año 2000, Holanda), Somport (año 2002, España) o Runehammar (año 2003, Noruega).

En el año 2001, el Comité de expertos de la UNECE [4] propuso una serie de 43 medidas sobre seguridad en túneles relacionadas con cuatro vértices: infraestructuras, explotación, vehículos y usuarios. En opinión de los autores de este artículo, hasta esa fecha este tetrápodo estaba en un desequilibrio evidente al que se había llegado por la necesaria inversión en equipamientos básicos de

seguridad, relegando a un segundo plano el papel de los usuarios y especialmente la percepción que éstos tienen sobre el túnel por el que circulan.

Periodo de incertidumbre y reflexiones

El citado informe UNECE, junto con determinadas normas nacionales como la Circular Interministerial francesa nº 2000-63, de 25 de agosto de 2000 [5], o la Instrucción española IOS-98, de noviembre de 1998 [6], fueron la antesala para la publicación en abril del año 2004, de la Directiva Europea 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la Red Transeuropea de Carreteras [7].

La preocupación por el aumento de la frecuencia de los accidentes en túneles de carretera, la obsolescencia de determinados túneles europeos, el incremento del nivel de tráfico y el hecho de que los túneles de carretera fueran infraestructuras estratégicas condujo a las instituciones europeas a tomar medidas para mejorar las condiciones de seguridad en estas infraestructuras.

Hasta ese momento, en los distintos estados europeos había túneles que se habían construido siguiendo unos criterios que en muchos casos habían quedado anticuados y, en general, había pocos mecanismos legales para forzar a los gestores de los túneles a mejorar el nivel de seguridad de los mismos una vez que éstos entraban en servicio, por lo que en aquel momento, esta Directiva supuso una auténtica revolución.

Esta Directiva estableció un conjunto de requisitos de tipo organizativo, técnico y operativo, para todos los túneles de longitud superior a 500 metros incluidos dentro de la Red Transeuropea de Carreteras: por un lado, esta norma propuso armonizar la estructura organizativa de cada túnel, definiendo una serie de figuras (Autoridad Administrativa, Organismo de Inspección, Gestor del Túnel, Responsable de Seguridad) y precisando el papel y las responsabilidades de cada una de ellas; de igual manera, esta norma estableció el procedimiento para autorizar la apertura del túnel

al tráfico, destacando la importancia de reunir y actualizar toda la documentación de seguridad (Manual de Explotación) y destacando la importancia de realizar inspecciones y simulacros periódicos, así como de registrar los incidentes más relevantes; por otro lado, esta norma estableció una serie de requisitos mínimos de infraestructura con los que el túnel debería contar, en función de su longitud, nivel de tráfico y carácter unidireccional o bidireccional, relacionados tanto con la obra civil como con los equipamientos de seguridad; de igual manera, la Directiva estableció una serie de medidas relacionadas con el funcionamiento del túnel (necesidad de preparar un plan de emergencia, condiciones para el tránsito de vehículos de mercancías peligrosas, determinadas normas de circulación, etc); por último, esta norma menciona, aunque muy brevemente, la necesidad de organizar periódicamente campañas de información sobre la seguridad en los túneles dirigidas a los usuarios de los mismos.

De cualquier manera, los requerimientos que la Directiva introducía no se podían cumplir de manera inmediata, dado que implicaba una transformación profunda de los criterios adoptados hasta esa fecha. La propia Directiva estableció unos plazos para llevar a cabo de forma progresiva las actuaciones necesarias para dar cumplimiento a la misma.

Así, se fijó un plazo de dos años (abril de 2006) para incorporar al derecho nacional de cada Estado miembro las disposiciones de la Directiva y para definir la Autoridad Administrativa de cada túnel; se estableció un plazo de tres años (abril de 2007) para valorar el grado de cumplimiento de la Directiva en los túneles en servicio, y establecer el correspondiente calendario de actuaciones; se fijó un plazo de cinco años (abril de 2009) para que cada Estado miembro informara de la metodología de análisis de riesgo empleada; se fijó un plazo de diez años (abril de 2014), que se amplió a quince (abril de 2019) en los Estados con más túneles, para completar las actuaciones necesarias para adecuar los túneles de tal modo que cumplieran con las disposiciones de la Directiva.

La publicación de la Directiva abrió un periodo de incertidumbre y reflexiones, en el que estaba claro que había que actuar para mejorar la seguridad de los túneles y que era necesario actuar sin demora; pero los distintos responsables no tenían claro la mejor forma de proceder. Algunas de las prácticas que la Directiva proponía no eran habituales en el ámbito de los túneles de carretera, y había que llevar a cabo un esfuerzo desde las distintas administraciones y especialistas para desarrollar guías y metodologías de diseño, procedimientos de actuación, etc. Se necesitaba tiempo para desarrollar estos trabajos y adquirir experiencia pero, además, había que encajar al usuario en este nuevo marco de seguridad y se necesitaba mucho dinero no sólo para equipar los túneles sino para mantenerlos.

Sin embargo, este trabajo de normalización discurrió en paralelo al de revisión del estado de los túneles en servicio y al de propuesta de medidas para su adecuación, de tal modo que en un primer momento, evaluadores y proyectistas trabajaron sin pautas homogéneas. Además, la interpretación que se hizo en un primer momento de la nueva reglamentación condujo a que éstos se centrasen sobre todo en las medidas de la infraestructura, pasando por alto otros aspectos de notable importancia. Esto dio lugar en algunos casos a grandes inversiones y túneles sobre equipados, lo que no necesariamente implicaba túneles más seguros.

En España la Directiva, se transpuso mediante el RD 635/2006 con unos criterios más exigentes que la Directiva, sin valorar, en nuestra opinión, adecuadamente el coste que de esa decisión se derivaba, ni el escaso beneficio marginal, en términos de seguridad, que se obtenía. Hubiera sido más prudente cumplir estrictamente los requisitos de la Directiva y posteriormente, en función de sus resultados, elevar esos requisitos. Posteriormente se planteó modificar el Real Decreto, pero criterios ajenos a los técnicos impidieron su cambio.



Figura 8. Boca española del túnel internacional franco

En aplicación de la Directiva, el Ministerio de Fomento puso en marcha el plan para la mejora de la seguridad de los túneles; en el año 2008 se preveía que faltaba adecuar 280 túneles con una inversión de 360 millones de euros. Recientemente una noticia describía que Noruega necesitaba casi 1000 millones de euros.

En los años inmediatamente anteriores y posteriores al de la publicación de la Directiva Europea 2004/54/CE proliferaron los proyectos de investigación relacionados con la seguridad en túneles (SIRTAKI, VIRTUAL FIRES, DARTS, UPTUN, FIT, SAFET, SAFE TUNNEL, EUROTAP, etc.) [8, 9], que de alguna manera trataban de profundizar en el estudio de los distintos elementos involucrados en la seguridad del túnel y llenar el vacío metodológico mencionado.

Por el mismo motivo, durante esos años se constituyeron nuevos comités y grupos de trabajo internacionales, como el ITA-COSUF; de igual manera, otros organismos internacionales existentes, como el mencionado Comité de explotación de Túneles de Carretera de la PIARC, tuvieron durante estos años su etapa más productiva (desde 2004, se han publicado más de 20 informes técnicos relacionados con distintas materias: mantenimiento, explotación, análisis de riesgos, diseño del sistema y de las estrategias de ventilación, el factor humano, etc.). En ese sentido, en el año 2005 se inauguró el Centro de Ensayos de Fuegos y Ventilación en Túneles de San Pedro de Ares (España), una instalación permanente para el ensayo de distintos sistemas de seguridad en túneles.

Como se observa, la Directiva y su transposición propició un esfuerzo notable en investigación de nuevas tecnologías, en especial de todas aquellas que tenían que ver con la protección contra incendios y con el sistema de ventilación, además de implicar un trabajo a nivel administrativo para el desarrollo de normas nacionales, llevar a cabo revisiones de túneles existentes y para adaptar las estructuras organizativas. Sin embargo, el estudio de la influencia del factor humano en la seguridad quedó relegado a un segundo plano. En 2008 se publicó el informe de PIARC *"Human factors and road tunnel safety regarding users"* [10] que fue quizás el primer documento que abordaba este aspecto tan relevante de forma detallada.

El camino hacia la excelencia

Aunque la implantación del Real Decreto fue un proceso lento, poco a poco los objetivos que esta norma marcaba se fueron cumpliendo: el cambio de las estructuras organizativas, la revisión del estado de los túneles existentes, el desarrollo de manuales de explotación, el desarrollo de inspecciones periódicas y simulacros, la recopilación de datos sobre incidentes y accidentes, etc.

En 2008, entraba en vigor la Orden Circular del Ministerio de Fomento sobre inspección de túneles y se licitaban los primeros contratos de Responsables de Seguridad a nivel nacional. Un año más tarde se celebró el primer Foro Europeo de Responsables de Seguridad, con objeto de



Figura 9. Túnel Juan Carlos I de Vielha

compartir las experiencias y las dudas que la aplicación de esta nueva figura había generado. En España, transcurridos unos años desde su aplicación, el Comité de Túneles de la ATC puso en marcha un grupo de trabajo para poner en común las experiencias adquiridas. Este Grupo ha entregado recientemente un informe que contribuye eficazmente a aclarar no sólo las dudas que inicialmente planteaba su figura sino sobre todo a facilitar sus labores y por lo tanto a mejorar la seguridad global.

En 2010 comenzó la inspección de túneles de la red de carreteras de Estado, para lo cual se dividió España en tres grandes zonas. A fecha de hoy se han concluido las inspecciones de las zonas 1 y 2, lo que supone casi un 60 % de los túneles. Dentro de las actividades iniciales de estos contratos estuvo el desarrollo de una aplicación informática BIT (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la RCE) en el que además de los datos principales de los túneles se introducen las incidencias que se producen, informes de los responsables de seguridad y de las inspecciones y otras informaciones relevantes.

Por último y para reflejar la ingente actividad que se ha realizado, en el año 2013 se celebró el primer curso impartido por la Asociación Técnica de Carreteras para la formación de operadores de Consola.

También en algunas comunidades autónomas se desarrolló una intensa actividad normativa, en la que la colaboración entre los técnicos de las empresas privadas y los de las administraciones estatales y autonómicas puede considerarse un ejemplo que permitió que el conocimiento se transmitiera sin dificultades.

Todo esto ha permitido acumular una experiencia con la que anteriormente no se contaba y ha llevado a todos los agentes relacionados con la seguridad, a reconsiderar algunos de los planteamientos inicialmente realizados.

Por un lado, la adecuación de los túneles existentes ha supuesto el equipamiento (y en ocasiones un equipamiento excesivo) de los mismos con una instalaciones de seguridad que antes no tenían, haciendo de ellos infraestructuras más complejas, con unos costes de explotación más elevados, y más difíciles de operar y mantener por el personal de explotación que llevaba a cabo dicha actividad. Esta circunstancia ha derivado por un lado en que los proyectistas vayan prestando cada vez más atención a los aspectos económicos, tratando de optimizar los proyectos buscando soluciones más eficientes, y por otro en que se reconozca cada vez más la importancia del manual de explotación y operación. Las administraciones se están implicando igualmente en la formación de los agentes involucrados en la seguridad de los túneles.

El periodo posterior a la implantación de la Directiva se caracterizó por las incertidumbres que su aplicación significaba; pero muchas veces es en la incertidumbre donde se crean oportunidades y tanto en la norma europea



Figura 10. Túneles de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao (España)

como en su transposición española se pueden encontrar algunas: el concepto de Seguridad Equivalente y el análisis de riesgos es en nuestra opinión la mayor de ellas.

En efecto, hasta ese momento las normas relacionadas con la seguridad en los túneles de carretera eran desarrolladas por expertos, que establecían un listado de requisitos que el túnel debía cumplir; se suponía que estos requisitos se habían estudiado cuidadosamente durante el proceso de elaboración de cada norma, de tal modo que las medidas prescritas eran las más ventajosas desde el punto de vista coste-beneficio. El proyectista se limitaba a comprobar que todos estos requisitos se cumplieran para considerar el túnel seguro; generalmente, estas normas no permitían plantear medidas alternativas, por lo que la repercusión económica de la adecuación de un determinado túnel podía ser muy significativa, por ejemplo, cuando fuera necesaria la construcción de nuevas salidas de emergencia.

En el diseño por prestaciones se define un nivel global de seguridad que el túnel debe alcanzar, pero sin prescribir concretamente cómo. Para ello, generalmente se lleva a cabo una evaluación del nivel de seguridad del túnel y se compara con los objetivos de seguridad establecidos (criterio de aceptación del riesgo).

La Directiva adoptó un planteamiento mixto: definió el nivel mínimo de seguridad a alcanzar en los túneles de una manera prescriptiva, pero permitiendo a la Autoridad Administrativa aceptar medidas alternativas en caso de que alguno de los requisitos prescriptivos no pudiera cumplirse o sólo pudiera llevarse a cabo con un coste desproporcionado. Este planteamiento más flexible involucraba en mayor medida al proyectista, y permitía ajustar el proyecto a las condiciones particulares de cada túnel. En este sentido, el camino elegido por la Directiva está en la línea de todas las orientaciones marcadas desde hace tiempo por los expertos en todos los ámbitos de la seguridad contra incendios que abogan por olvidar los viejos códigos prescriptivos por códigos basados en las prestaciones.

La Seguridad Equivalente nos permite fijar nuestro punto de atención en otros aspectos más allá de la infraestructura:

- Comportamiento del usuario;
- gestión de la explotación hacia modelos menos complejos;
- gestión de las operaciones de emergencia;
- eficiencia energética;
- aplicaciones de simulación de mecánicas de fluido;
- optimización de la vida útil del equipamiento.

En los últimos años se ha llevado a cabo el desarrollo metodológico requerido por la Directiva Europea en relación con los análisis de riesgos. Efectivamente, si bien no se dispone de una metodología armonizada para toda Europa, muchos de los Estados miembros de la Comunidad Europea han ido publicando sus respectivas guías metodológicas. El informe PIARC "Análisis de Riesgo en túneles de carretera" [11] resume alguna de estas metodologías. En España, el Ministerio de Fomento publicó en 2012 su "Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red

de Carreteras del Estado" [12] que complementa las metodologías y recomendaciones existentes y que augura la formación en poco tiempo de un canon en la seguridad de túneles.

Estas circunstancias, unida al hecho de que ya se dispone de un volumen relevante de datos sobre incidentes e incendios en túneles, ha proporcionado a los diseñadores una base firme para la aplicación de la herramienta del análisis de riesgo, lo que ha permitido identificar los riesgos inherentes a cada túnel, valorarlos y minimizarlos seleccionando la mejor opción para su equipamiento desde el punto de vista técnico y económico.

Igualmente, el desarrollo en los últimos años de aplicaciones informáticas cada vez más sofisticadas de simulación de mecánica de fluidos ha permitido a los proyectistas la aplicación de las metodologías de análisis de riesgo. Estas aplicaciones permiten reproducir el progreso de los humos en un incendio en un túnel, y deducir así las consecuencias del mismo en términos de usuarios afectados.

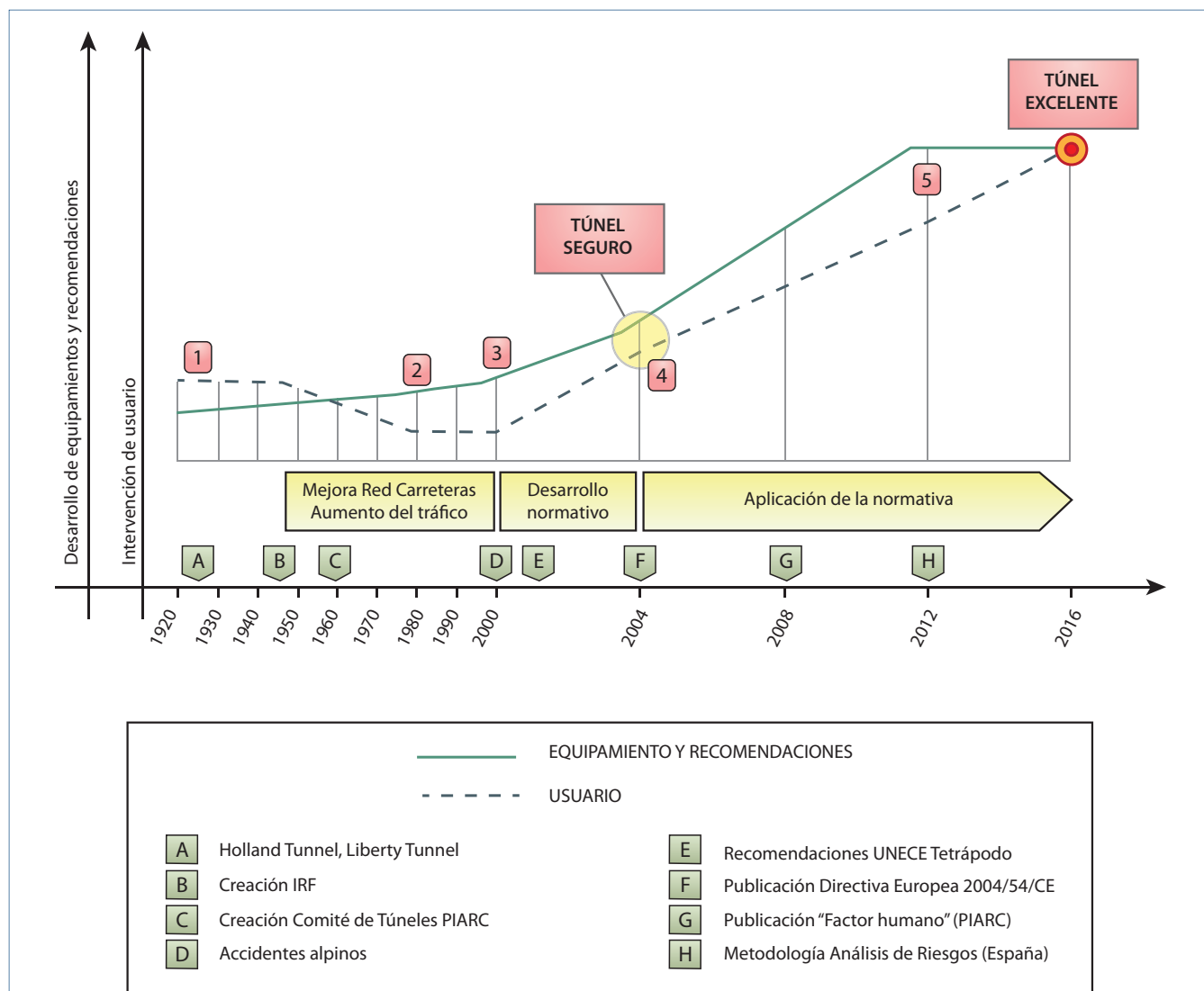


Figura 11. Evolución de la seguridad en los túneles



Figura 12. Túnel de Petralba (Huesca) [Fotografía de Alfonso Calza. Copyright IDOM]

Por otro lado, durante estos últimos años se ha producido un avance tecnológico importante en determinadas instalaciones de seguridad relacionadas con los túneles, de tal modo que éstas son cada vez más eficientes y fiables: es el caso de la aplicación de la tecnología LED para la iluminación de los túneles, que permitirá, en un futuro cercano, un ahorro energético; o el uso de cámaras de vídeo que trabajan en el espectro infrarrojo para la detección de incidentes (especialmente para la detección precoz de incendios). También ha habido un desarrollo importante en el *hardware* y *software* ligados al sistema de control de túneles, lo que ha mejorado su fiabilidad y velocidad de proceso. Igualmente ha habido un desarrollo metodológico notable en los procedimientos de actuación de la ventilación en caso de incendio.

Conclusiones

Las reflexiones realizadas en este artículo pueden representarse en una gráfica (Figura 11), cuya primera versión se realizó en el año 2005 [13].

La gráfica incluye por un lado la intervención del concepto “usuario” en la seguridad y por el otro lado el desarrollo de los equipamientos de seguridad y la normativa. La línea asociada al “usuario” refleja la percepción que éste tiene del túnel y por lo tanto su comportamiento;

los expertos deben hacer que ésta sea comprensible y sólo con esta condición debe convertirse ese conocimiento en reglamentación.

La distancia entre ambas líneas es una medida del grado de seguridad cualitativo alcanzado, de tal manera que a menor distancia entre líneas mayor es la seguridad y en su intersección encontraremos el túnel excelente. La posición relativa entre ambas líneas representa, de forma otra vez muy subjetiva, cuál de los dos conceptos, usuario o equipamientos, aporta más a la seguridad del túnel.

La primera etapa (el camino hacia el túnel seguro) se caracteriza por túneles escasamente equipados y poca o nula reglamentación. Aunque la información hacia el usuario es casi inexistente, el reducido tráfico y el estado de las carreteras obliga a una conducción al aire libre menos automática por lo que el conductor se adapta con cierta facilidad a las nuevas condiciones de circulación en el interior del túnel. Por esta razón, ambas líneas están próximas con un nivel de seguridad adecuado a ese momento y a las características de los túneles existentes (punto 1). La línea del usuario está por encima ya que relativamente es la que más aporta a la seguridad global.

Sin embargo, el importante aumento del tráfico y la mejora de las carreteras cambian las condiciones de circulación al aire libre y dificulta la transición hacia un comportamiento menos automático en el interior de los

túneles. La mejora de equipamientos y el esfuerzo normativo que se realiza lleva, en un primer momento, a que ambas líneas se separan llegando a un nivel de seguridad (puntos 2 y 3) inferior al anterior, coincidiendo con los primeros accidentes mortales graves a partir de los años setenta.

Entre 1999 y 2004 se produce un periodo de “reflexiones” que conduce a un considerable desarrollo reglamentario, incluyendo el papel del usuario como se indicó con el famoso tetrápodo de UNECE. El nuevo nivel de seguridad alcanzado (punto 4) es superior al obtenido anteriormente.

Sin embargo, posteriormente la aplicación de las directivas y las normas nacionales se realiza con criterios excesivamente rigurosos, especialmente en la actualización de túneles existentes, lo que lleva en algunos casos a túneles con exceso de equipamientos y a incorporar tecnologías no contrastadas por efecto de un “modernismo tecnológico”. Todo esto además de suponer un coste económico muy importante, en algunos casos no previsto con anterioridad, lleva a una explotación más compleja del túnel. Aunque se avanza de forma significativa en la consideración del usuario como elemento clave en la seguridad, la balanza se desequilibra hacia los equipamientos. Por lo tanto, ambas líneas se separan y conducen a una situación (punto 5) más desfavorable que las anteriores, dónde no se aprovechan todas las posibilidades que las magníficas infraestructuras aportan, obteniendo un escaso beneficio marginal en términos de seguridad. En algunos casos las condiciones favorables de gálibos, anchos de carriles, iluminación etc., en el interior del túnel llevan a una confianza excesiva del conductor que olvida que está en un medio totalmente diferente al del aire libre.

Finalmente, nuestra propuesta es que se avance en la reflexión ya iniciada en muchos foros, sobre qué equipamientos son realmente necesarios en cada túnel, evitando recetas prescriptivas y estudiando el túnel “caso a caso”. Para ello la reglamentación actual nos facilita una herramienta, el análisis de riesgo, que debe convertirse en el eje sobre el que se basen las decisiones de los proyectistas y otros agentes. Para ello debería disponerse de metodologías comparables y si es posible de una metodología general para toda Europa. Además, el “usuario” en su concepción más global debe adquirir un protagonismo real más allá de ser un mero receptor de información o foco de estudios científicos de difícil aplicación real. Por último, las consideraciones económicas y energéticas es otro de los ejes en los que basar ese camino hacia el túnel excelente.

Los responsables de cada país deben estudiar en que zona de la gráfica se ubican de acuerdo con su estado actual y, por lo tanto, intensificar sus esfuerzos e inversiones

en las infraestructuras o en el “usuario” en su camino hacia el túnel excelente, del cual en España tenemos magníficos ejemplos que siguieron el camino iniciado por el primer túnel de Guadarrama.

Referencias

- [1] Fieldner, A.C.; Yant, W.P; Satler Jr, L.L.; *Natural Ventilation in the Liberty Tunnels*; Engineering News Records; 1924.
- [2] Colegio Profesional de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; *Túnel de Guadarrama*; Revista de Obras Públicas nº 113, tomo I (2998), pp. 87-88; 1965.
- [3] Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Borås, Sweden, 1994. SP Swedish National Testing and Research Institute.
- [4] Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE); *Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels*. Final report; 2001.
- [5] Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement; *Circulaire Interministérielle n° 2000-63, du 25 août 2000, relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national*; 2000.
- [6] Ministerio de Fomento; *Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-98)*; Boletín Oficial del Estado del 1/12/1998, pp. 39242-39354.
- [7] Comisión Europea; *Directiva Europea 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la Red Transeuropea de Carreteras*; Diario Oficial de la Unión Europea L167 30/04/2004.
- [8] Lacroix, D. ; *Vers une véritable gestion de la sécurité des tunnels routiers: l'expérience française et internationale*. IV Simposio de Túneles; Asociación Técnica de Carreteras; pp. 79 a 99; octubre 2005.
- [9] Del Rey, I.; Espinosa, I.; Fernández, S.; Grande, A.; Alarcón, E.;(2005). *Enfoque global del sistema de ventilación*. IV Simposio de Túneles; Asociación Técnica de Carreteras; pp. 939 a 970; octubre 2005.
- [10] Comité Técnico 3.3 Explotación de Túneles de Carretera; *Human factors and road tunnel safety regarding users*; PIARC; París, 2008.
- [11] Comité Técnico 3.3 Explotación de Túneles de Carretera; *Risk analysis for road tunnels*; PIARC; París, 2008.
- [12] Ministerio de Fomento, 2012; *Metodología de análisis de riesgo en túneles de la red de carreteras del Estado*; 2012.
- [13] López, J.R.; *El diseño de túneles y su relación con el comportamiento humano ante una incidencia*; Jornadas Técnicas sobre explotación de túneles de carretera; Asociación Técnica de Carreteras; 2004. ♦



CARRETERAS SIEMPRE COMO EL PRIMER DÍA **CON LOS ASFALTOS DE CEPSA.**

En Cepsa contamos con una amplia gama de productos de última tecnología para cuidar y conservar el buen estado de las carreteras. Desde masillas sellantes hasta la **gama ELASTER**, última generación de betunes modificados con polímeros. Sea cual sea tu necesidad, **elige Asfaltos de Cepsa** y estrena **carretera cada día**.

Más información en www.cepsa.com

CEPSA

La hidrodemolición ya es habitual en España

Laura Llorente Olivares

*Arquitecto
Responsable del departamento técnico
Hidrodemolición, S.A.*

Cuando una estructura de hormigón está dañada, caben dos alternativas: retirar completamente la estructura y construirla de nuevo, o repararla realizando una demolición parcial en donde se retira de forma selectiva el hormigón en mal estado. La primera opción suele ser muy drástica y poco habitual, a menos que el daño sea irreversible o el coste de la reparación sea muy superior al de una nueva construcción.

A la hora de afrontar una rehabilitación ha de tenerse en cuenta un factor de vital importancia, bien conocido por los ingenieros y especialistas en estructuras: es imprescindible obtener un elevado grado de cohesión entre el hormigón nuevo y el antiguo para que la reparación sea duradera. Por tanto, tan importante es el diagnóstico de las causas del deterioro del hormigón como la preparación del soporte.

1. La técnica

La técnica de la hidrodemolición se desarrolló en los años 80 en Suecia impulsada por la Dirección de Carreteras del Gobierno Sueco como consecuencia de la necesidad de encontrar un método eficaz para la eliminación de hormigones deteriorados en la reparación de tableros de puentes. Dadas sus ventajas, en muchos países, como EEUU, Japón, Suiza, Italia y Suecia, es el único método

permitido por las Administraciones Públicas para la extracción de hormigón en estructuras sensibles como puentes y presas, entre otros, debido a la gran calidad que aporta a los trabajos de reparación y refuerzo estructural, consiguiendo intervenciones más duraderas y económicas a largo plazo. Al obtener un mayor monolitismo en la estructura reparada con hidrodemolición, la necesidad de reparar el hormigón se dilata en el tiempo, y se reducen los riesgos de nuevas intervenciones de reparación posterior por deslaminación de capas aportadas sobre los antiguos soportes.

Los primeros sistemas robotizados llegaron a España de la mano de Hidrodem hace 11 años. Gracias a esto, dicha técnica cada vez está siendo más aceptada por los técnicos de carreteras allí cuando los estándares de calidad son muy exigentes.

Mediante el empleo de agua a alta presión se puede conseguir la eliminación del hormigón deteriorado sin causar daño al resto de la estructura, a diferencia de lo que sucede con el empleo de martillos percutores. Además, la hidrodemolición permite discriminar entre hormigones "enfermos" y hormigones "sanos", mucho más resistentes, actuando exclusivamente en aquellas zonas en las que es necesario. Nos permite retirar, por tanto, de forma selectiva, la parte del hormigón que se desee, desde pequeñas porciones en mal estado a rebajes regulares a lo largo de una gran superficie.

1.1 El proceso

La técnica consiste en la utilización del chorro de agua a alta presión como herramienta de demolición o extracción selectiva de hormigón.

El agua a alta presión penetra en el entramado poroso del hormigón, generando tensiones internas suficientes que provocan micro-estallidos superficiales en la zona de incidencia directa del chorro proyectado.

Por tanto, la hidrodemolición no es efectiva por la fuerza y repetición de impactos, como las antiguas e indiscriminadas herramientas percutoras, sino por la generación de innumerables micro-estallidos, provocados por efecto de la presión del agua, en la superficie de determinados materiales porosos, como el hormigón. El resto de elementos internos de la estructura, como pueden ser armaduras, cables, tensores, etc. metálicos y no porosos permanecen intactos. Además, las percutoras no llegan a superficies profundas, por lo que si el daño se encuentra ahí no lo repara, mientras que la hidrodemolición interviene en superficies profundas sin dañar lo que esté en buenas condiciones. Por el contrario, los métodos tradicionales de percusión originan vibración en las armaduras interiores provocando que el hormigón se divida en finas láminas a lo largo de las barras, quedando éstas separadas del hormigón.

1.2 Equipos

El sistema de hidrodemolición está formado por una bomba capaz de generar un chorro de agua a una presión superior necesaria para superar la resistencia a tensión del hormigón (normalmente accionado por un motor diésel) y conectado al robot a través de mangueras y latiguillos. Esta bomba precisa de suministro de agua libre de sólidos en suspensión para impedir el daño de los internos de la bomba y el deterioro de las toberas. Además, incorpora un sistema de control eléctrico que regula el flujo del agua, las revoluciones del motor, el consumo de energía y las paradas de emergencia.

Una lanza obturadora en punta con una tobera dirige el chorro hacia la zona objeto de demolición. Esta tobera puede ser de entre 0,80 mm y 3,50 mm, por lo que tiene un potente retroceso pudiendo ser superior a 2500 N, motivo por el cual la lanza se monta en un equipo robotizado.

No obstante, existen lanzas manuales en las que la presión y el caudal inyectado es inferior para que lo pueda manejar un operario, teniendo un retroceso no superior a 250 N.

Los equipos robotizados se desplazan sobre orugas con cadena de caucho y disponen de un brazo articulado capaz de girar 360°, pudiendo trabajar sobre paramentos tanto verticales como horizontales (suelo y techo), así como de una torre guía sobre la que se

desplaza la lanza, pudiendo alcanzar alturas de trabajo de hasta 15 metros.

En los trabajos de difícil acceso en los que es inviable poder emplear un robot convencional, existen accesorios robotizados compuestos por carriles guía por los cuales se desplaza la lanza de hidrodemolición, permitiendo obtener rendimientos mucho mayores que los manuales y sin riesgos ni daños para los operarios.

En cualquier caso, los sistemas robotizados siempre son controlados a distancia por control remoto por un operador, encargado de vigilar y dirigir el trabajo del robot.

Debe ser proscrito el empleo de cuasi máquinas con acoples o adaptaciones con lanzas de hidrodemolición por la falta de control del chorro y los riesgos de seguridad que conllevan para personas o cosas. Estas cuasi máquinas han sufrido alteraciones y modificaciones de tal manera que ya no son un equipo de trabajo.



Figura 1. Debe evitarse el empleo de equipos que no hayan sido específicamente diseñados para una operación de hidrodemolición

1.3 Parámetros

Mediante el ajuste de los distintos parámetros que intervienen en la hidrodemolición (tipo de lanza, presión, velocidad, tiempo, caudal, etc.) se puede controlar el avance en la extracción del hormigón, consiguiendo así que el tratamiento se pueda llevar a cabo de forma controlada y acotada, desde un tratamiento superficial a un corte profundo o una demolición total.

2. Ventajas

El éxito de la mayor parte de las reparaciones efectuadas sobre elementos estructurales está íntimamente relacionado con la calidad y preparación del soporte. Si esta parte falla, podremos emplear un producto de alta cali-

dad, seguir estrictamente las indicaciones del fabricante para su preparación y aplicación, pero no podremos garantizar la eficacia y duración de la misma.

Muchas veces no se sanear las estructuras hasta la profundidad necesaria por el temor, o la certeza, de causar un daño mayor o, en cambio, se elimina demasiado hormigón estructural en buen estado al quedar al arbitrio del operario la profundización sin control. Esto suele pasar cuando utilizamos procedimientos mecánicos, que introducen golpes y vibraciones que debilitan todo el área circundante, o que efectúan un corte perfecto que deja las paredes de la zona de reparación lisas como la superficie de un cristal, sobre las que es preciso actuar para crear una cierta rugosidad y conseguir unas condiciones mínimas de adherencia, y todo ello suponiendo que se han podido alcanzar niveles admisibles de limpieza.

La hidrodemolición resuelve de forma brillante estas limitaciones, pues permite sanear el hormigón en la profundidad requerida, obtener una superficie limpia con ausencia de adyacentes debilitados o microfisurados, y rugosa, lo cual facilita en gran medida las posteriores operaciones de reparación o refuerzo.

De hecho, el porcentaje de fallos por una mala preparación del soporte es del orden del 38% cuando se emplea chorro de arena, del 31% cuando se deja la superficie obtenida con martillos manuales y de tan sólo el 7% cuando se utilizan técnicas de hidrodemolición [1].

Las armaduras, por otra parte, quedan en su posición y estado originales, sin haber sufrido daño alguno, lo que evita las complicadas operaciones que muchas veces hay que acometer de anclajes químicos, soldaduras, etc. y además:

- No genera vibraciones.
- No produce fisuraciones.
- No deforma la armadura.
- Contacto hormigón-barras garantizado.
- Elimina la corrosión en el armado.
- Totalmente controlable.
- Altos rendimientos.

Estas ventajas convierten a la hidrodemolición en la mejor alternativa frente a los antiguos sistemas de demolición, dañinos para el armado e indiscriminados para el resto del hormigón estructural.

3. Campos de aplicación

La hidrodemolición puede utilizarse en todo tipo de aplicaciones de demolición o rehabilitación estructural. Los puentes y viaductos son el campo de aplicación más habitual para los sistemas de demolición robotizados, donde es imprescindible inalterar el armado y no provocar vibraciones a lo largo de la estructura.

Todos sabemos que en España existe un patrimonio muy importante de infraestructuras que hay que mante-

ner, es por ello que el uso de esta técnica es fundamental y cada vez más es solicitada por los técnicos gracias a las grandes ventajas que presenta.

La hidrodemolición es una manera más rápida, más limpia y mejor para eliminar el hormigón deteriorado de tableros de puentes con el fin de parchear o rehabilitar su superficie.

Además, al usar los equipos adecuados, la reparación se realiza rápidamente, reduciendo los tiempos de entrega del proyecto.

3.1. Barreras de contención

Debido a la adaptación de las barreras de protección al modelo europeo de nivel de contención P3, es precisa la eliminación de la franja del tablero donde irán instalados los nuevos pretiles para recuperar la armadura y poderla usar para una mejor conexión. Además, no es raro encontrarnos con losas bastante deterioradas en las que los posibles anclajes (teóricamente con capacidades en proyecto muy importantes) harían debilitar aún más el propio tablero y por tanto no alcanzan la resistencia supuesta ni garantiza la seguridad de las barreras de contención.

La hidrodemolición permite respetar las armaduras y no introduce vibraciones y efectos de martilleo que comprometerían la adherencia entre el fondo de la prelosa y el hormigón *in situ*, a la vez que permite que pueda mantenerse la estructura abierta al tráfico.

En las Figuras 3 se recogen distintas fases de este proceso.



Figura 2. Detalle de armaduras intactas. Además el tablero no sufre vibraciones ni microfisuración



Estado inicial de la estructura



Hidrodemolición del borde del tablero



Acabados y remates con lanzas manuales en zonas más delicadas



Detalle del nuevo zuncho instalado



Trabajo terminado

Figura 3. Fases de un proceso de hidrodemolición para el cambio de elementos de contención en puentes.



Figura 4. Preparación de una junta para su reparación

3.2. Juntas

En la mayoría de los casos donde se reparan con métodos tradicionales, el problema vuelve a persistir en el transcurso del tiempo, por lo que la reparación que se hizo no sirvió de nada posiblemente por no haberse eliminado la junta por completo.

La preparación del nicho de junta mediante hidrodemolición consiste en una retirada previa de la losa adyacente a la junta dejando ésta limpia. Con la hidrodemolición se asegura la retirada del hormigón en toda su profundidad sin afectar a las armaduras existentes y poder solapar con las nuevas armaduras del zuncho.

3.3. Ampliación de tableros

Uno de los mayores inconvenientes de las estructuras de hormigón frente a las estructuras metálicas es la relativa dificultad que entraña la realización de ampliaciones. En el caso de las estructuras metálicas la soldadura permite simplificar mucho estas actuaciones, mientras que en las estructuras de hormigón hay que disponer anclajes o, en la mayoría de las ocasiones, proceder a demoler una zona para poder efectuar la transición entre la estructura existente y la nueva estructura.

Este último caso es el más habitual en ampliaciones de tableros de puentes, donde la diferencia de resultados y de trabajo entre una demolición tradicional de destroza y una hidrodemolición son evidentes.



Figura 5. Tablero de hormigón (HA-30) de 30 cm de canto en el que se descubrieron las armaduras para su posterior ampliación

Con la hidrodemolición de los voladizos en la longitud necesaria para solapar adecuadamente la armadura de la losa existente con la de la nueva se asegura una conexión perfecta. El proceso de hidrodemolición permite obtener un borde limpio de la losa de hormigón, quedando las armaduras transversales existentes en perfecto estado para su solape.

Además, la ejecución de estos trabajos, al igual que en la sustitución de las barreras de contención, puede llevarse a cabo manteniendo abierto el tráfico en el mismo nivel.

3.4. Refuerzo de tableros

Hay veces en las que es necesario eliminar la capa asfáltica o un recubrimiento deteriorado por el propio tránsito de los vehículos o simplemente un aumento del espesor del tablero como sucedió, por ejemplo, en las vías centroamericanas ejecutadas en los años 70 con estándares norteamericanos, en los que el espesor del tablero era de 17 cm y tenían que adaptarse a las nuevas exigencias de tráfico pesado que requerían espesores superiores a 21 cm. En estos casos, se procede a realizar un rebaje del tablero hasta llegar a las armaduras superiores para, más tarde, volver a hormigonar hasta alcanzar el espesor total de losa necesario.

Con la hidrodemolición se asegura una rugosidad óptima sin riesgos de pérdida de adherencia, a la vez que deja limpias las superficies y saturado el hormigón del soporte.



Figura 6. Refuerzo de tableros en Centroamérica



Figura 7. Sustitución de apoyos POT con lanza de hidrodemolición manual



Figura 8. Rescate de elementos de tesado

3.5. Otras actuaciones

Existen otras actuaciones idóneas para la técnica de hidrodemolición, como es la realización de catas de inspección, reparación o retirada de tuberías embebidas, rescate de elementos de tesado, hidrocorte en lugares donde se precisa un corte en frío por tratarse de zonas ATEX (Atmósferas Explosivas), como pudiera ser el caso de refinerías, tanques, tuberías, etc.

Las técnicas de agua a presión se emplean también en la limpieza de superficies, eliminación de revestimientos, morteros, enfoscados y gunitas, mantenimiento de drenes y abertura de galerías en presas, etc. Sobre todo cada vez están resultando más ventajosas en la preparación de superficies metálicas, donde los puentes metálicos se benefician de estas ventajas.

4. Medidas de seguridad

El desconocimiento y poco respeto hacia esta potente herramienta puede acarrear graves consecuencias en las personas. El principal riesgo es el propio chorro, que tiene una importante cantidad de energía cinética.

Por ello, es preciso contar con un personal especializado y altamente cualificado si queremos que sea una actividad no solo eficiente sino también segura, pues se pueden alcanzar presiones de hasta 3000 bar.

Por tanto, conviene repetir que las cuasi máquinas y/o cualquier otro tipo de invento no certificado debe ser proscrito.

4.1. Equipos de protección individual

Es evidente que, trabajando con agua a alta presión, es obligatorio el uso de EPIS, por lo que el operario necesita ropa de seguridad impermeable y que proporcione cierta protección contra el impacto del hormigón desprendido que rebote a causa del efecto del chorro de agua; mandil, botas, guantes y casco con visor resistente al impacto.

Así mismo, puede ser una actividad molesta si el trabajo requiere que el chorro traspase la estructura, ya que la eyección al aire libre alcanza niveles sonoros superiores a 100 dB.

Este ruido, aun así, es menos nocivo y molesto que el producido por un martillo percutor. El ruido que provoca el chorro de agua al carecer de vibración no se transmite por el resto de la estructura y puede ser absorbido adecuadamente por tapones o cascos de protección auditiva.

En cuanto a la maquinaria, todos los equipos deben estar siempre en excelente estado listos para su utilización, por lo que se debe realizar un mantenimiento preventivo permanente, una inspección visual después de cada utilización para determinar posibles daños, deterioros que pueden haberse generado durante los trabajos de hidrodemolición, y examinarse antes de cada trabajo para comprobar que no presenten signos de golpes o desgarros. Es importante aclarar que la “vida” de la manguera NO está determinada por un determinado tiempo de uso, sino que está determinada por su condición y su estado.

4.2. Protección de la zona de trabajo

La zona de trabajo debe acordonarse para evitar que nadie entre en contacto con el chorro de agua o los residuos desprendidos, por lo que el área debe estar claramente señalizada y provista de la instalación de medidas de protección colectiva necesarias contra posibles proyecciones que pudieran salir rebotadas de la zona de trabajo.

Al usar equipos robotizados la reparación puede realizarse mientras se mantiene el tráfico sin que sea necesario cancelar la circulación, ya que se puede trabajar con tráfico a mismo nivel siendo suficiente la separación que proporciona una barrera provista de una malla de 2 metros de altura. El tráfico inferior debe, sin embargo, impedirse si no se adoptan las medidas de protección necesarias para controlar la salida del chorro cuando éste atraviere el tablero. En ocasiones, es el gálibo el que limita la disposición de estas barreras.

5. Medioambiente

La hidrodemolición es, además, considerada como la técnica de demolición menos agresiva con el medio ambiente, aunque durante el proceso se generan aguas residuales con sólidos en suspensión, principalmente partículas de cemento.



Figura 9. Equipo trabajando en una estructura en servicio

Esta suspensión de desecho contiene finos de cemento con niveles de pH que oscilan entre 9 y 12, no debiendo ser vertida en fuentes de agua como lagos, ríos, o arroyos, por lo que estas aguas residuales deben ser evacuadas al alcantarillado o al suelo para su absorción y/o evaporación bajo permiso de las autoridades de control. El residuo sólido y los lodos, sin embargo, se tratan como inertes de la construcción.

En caso necesario, la recogida de estas aguas se puede realizar *in situ* en el propio tajo con la ayuda de un camión de vacío, de forma que todos los detritos generados pueden ser recogidos de forma permanente mientras se ejecuta la hidrodemolición y verterse, posteriormente, en la zona de tratamiento de aguas residuales.

En entornos naturales, donde las necesidades de vertido son más exigentes o existe escasez de agua y compensa asumir dicho reciclaje, es necesario separar los finos y reducir el pH mediante una unidad de tratamiento de agua residual previa al vertido, a la que se puede añadir una fase secundaria de tratamiento que permite recuperar parte del agua tratada para ser reutilizada de nuevo por el sistema de hidrodemolición.

6. Costes

La hidrodemolición de estructuras de hormigón implica el uso de grandes cantidades de agua a alta presión para demoler el hormigón. Para la hidrodemolición, el agua limpia se suministra habitualmente a través de camiones cisterna o hidrantes, consiguiendo un caudal que va desde 1 m³/hora si se trata de medios manuales, hasta 12 m³/hora si se emplean medios robotizados.

Una forma de rebajar sustancialmente las necesidades puntuales del consumo de agua consiste en la colocación de un depósito intermedio de regulación, consiguiéndose compaginar la hidrodemolición con el resto de las actividades en la obra, o bien ganar tiempo para el reabastecimiento externo, incluso el reciclaje anteriormente mencionado.

No podemos considerar la hidrodemolición como un método indicado puramente de demolición ya que es una herramienta especial y antagónica a los sistemas tradicionales, mucho más económicos. Sólo es en situaciones especiales, como las anteriormente indicadas, donde puede aportarnos ventajas evidentes donde la calidad y duración de la reparación priman o bien donde se deba minimizar todo tipo de daños (microfisuras, vibraciones, etc.), suponiendo la mejor inversión posible.

Para el caso más habitual en puente en los que haya que efectuar una hidrodemolición para ampliar el tablero, reparar juntas o cambiar las barreras de contención, los costes pueden variar entre 800 y 1500 €/m³ y los rendimientos estar comprendidos entre 3 y 5 m³/día.

En la reparación de hormigones estructurales con hidrosaneos selectivos, los costes están comprendidos entre 30 y 150 €/m², alcanzándose rendimientos de 5 a 20 m²/hora.

Por último, el coste de otro tipo de tratamientos como la preparación de soportes, eliminación de pinturas, revestimientos, epoxi, etc. puede variar entre 12 y 40 €/m² con rendimientos que varían entre los 10 y 40 m²/hora.

Referencias

- [1] Silfwerbrand, J.; *Improving Concrete Bond in repaired Bridge Decks*; Concrete International; volume 12, pp 61-66; 1990. ❖

Crecimiento basado en la Innovación

Ferrovial Agroman apuesta por la innovación y el desarrollo, así como por la aplicación de nuevas tecnologías en todos los ámbitos de su actividad de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras.

Con más de 80 años de experiencia y más de 50 años de actividad en 50 países de 5 continentes distintos y más de 650 proyectos realizados con éxito, Ferrovial Agroman es pionera en el proceso de internacionalización de su actividad y referente en la aplicación de las técnicas más avanzadas en la ejecución de sus obras.

La carretera y el cambio climático

Antonio Sánchez Trujillano

*Presidente del Comité Técnico Carretera y Medio Ambiente
Asociación Técnica de Carreteras*

Las medidas de prevención y corrección de los efectos del cambio climático se vienen impulsando y coordinando desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente aunque se ejecutan desde éste u otros ministerios, como son Hacienda, Fomento, Industria, Interior, etc., sin perjuicio de las competencias que sobre estas mismas materias tienen atribuidas las comunidades autónomas, de acuerdo con lo expresado en sus respectivos estatutos, las entidades locales u otras instituciones.

En particular, en la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), participan instituciones de los distintos ámbitos anteriormente enunciados aunque todas ellas responsables de la carretera en su vertiente tecnológica, por lo que le resultan relativamente ajenas las cuestiones relacionadas con las características de los vehículos que transitan por ellas o los instrumentos fiscales que se les podría aplicar para fomentar, como aquí se plantea, medidas orientadas para prevenir o atenuar las consecuencias del cambio climático.

Consecuentemente, aunque en esta nota se enuncian iniciativas adoptadas desde las diversas entidades que ostentan las competencias correspondientes, es conveniente advertir de antemano que no es intención de sus redactores que tal relación sea exhaustiva y completa, sino que lo que se pretende con ella es poner de manifiesto la gran diversidad de iniciativas en marcha para

atender aspectos que guardan relación con el cambio climático y la carretera, y expresar la necesidad de hacer uso de las herramientas instrumentadas para evaluar la eficacia de las medidas adoptadas y confirmar la relación que guardan con su finalidad, así como, en su caso, poder compararlas entre sí para determinar la mayor o menor eficacia de unas respecto a otras.

En resumen, el objeto de esta nota es dar un sucinto repaso de las políticas adoptadas en España, con independencia de los órganos que las hayan adoptado, con las finalidades que se expresan a continuación:

- Medidas fiscales para reducir la demanda de tráfico y aumentar la eficiencia de los vehículos.
- Actuaciones para mejora de la red vial.
- Cambio de modos de transporte hacia otros más eficientes.
- Desarrollo de tecnologías aplicables a los vehículos para hacerlos más eficientes y menos contaminantes.
- Empleo de materiales reciclados en la construcción de las carreteras.
- Medidas orientadas al control de la circulación.

Medidas fiscales para reducir la demanda de tráfico y aumentar la eficiencia de los vehículos

En esta línea se pueden enmarcar las siguientes medidas.

Control de aparcamientos en áreas urbanas para moderar el acceso a éstas del vehículo privado. En áreas ya congestionadas, se han incrementado las tarifas aplicadas, se ha aumentado el número de horas en que es obligatorio el abono del aparcamiento y, en su caso, se han ampliado las zonas reguladas por esta modalidad de aparcamiento controlado.

Se han articulado medidas para fomentar el uso del transporte público, a través de rebajas en las tarifas por el uso habitual de éste, por vía de abonos semanales, mensuales o anuales, que incluyen indistintamente y sin limitación los diferentes modos de transporte (autobús, metro, ferrocarril de cercanías, etc.) dentro del ámbito cubierto por el abono. En esta iniciativa de fomento del uso del transporte público se han instrumentado tarifas especialmente reducidas para grupos de edad, particularmente, ancianos y jóvenes, cuyos viajes se realizan en buen número de casos en las horas valle de la demanda, lo que contribuye a mantener los servicios en unas condiciones más equilibradas entre oferta y demanda.

Se han realizado campañas para aumentar el grado de ocupación de los vehículos, de manera que la eficiencia, entendida como el cociente entre el consumo y el número de ocupantes, también aumente, aunque esta iniciativa se ha traducido en campañas publicitarias tendentes a fomentar el uso compartido del vehículo entre familiares, vecinos o compañeros de trabajo,



sin que se hayan llegado a instrumentar, por la complejidad de su aplicación, medidas fiscales para promover iniciativas de este carácter.

Actuaciones para mejora de la red vial

Los importantes programas que se vienen desarrollando en España para la mejora de las condiciones generales de la red vial, por una parte, y, por otra, para la ampliación de su capacidad, suponen una aportación muy importante a la reducción de emisiones de gases nocivos y del consumo de productos petrolíferos.

Las autopistas y autovías construidas en España en los últimos 30 años (unos 14 000 km) crean unas condiciones para la circulación de los vehículos de todo tipo (mejora de la geometría en planta y alzado y ampliación de las secciones transversales, sobre todo), no sólo más seguras y eficientes, sino que también hacen posible que los vehículos circulen en condiciones más estables y homogéneas y con mucho menos frecuentes episodios de congestión, lo que se traduce en menores efectos ambientales adversos.

Las mejoras introducidas en las normativas de trazado geométrico se orientan también a favorecer las condiciones medioambientales de las carreteras.

Cambio de modos de transporte hacia otros más eficientes

Teniendo en cuenta que cada modo de transporte tiene unas características

propias que le hace idóneo para unas determinadas circunstancias, como la distancia del desplazamiento, la velocidad, el ámbito en el que realiza el desplazamiento, etc., se pueden enunciar diversos tipos de medidas como las que se relacionan a continuación.

En ámbitos urbanos y desplazamientos relativamente cortos ha destacado de manera significativa la

irrupción de la bicicleta, para la que no se han adoptado medidas fiscales relevantes aunque sí se ha favorecido su uso a través de campañas publicitarias, se han construido vías exclusivas para su tránsito y aparcamientos también exclusivos, se han fomentado medidas de protección del ciclista y de aviso de su vulnerabilidad frente al tráfico convencional y se han puesto a disposición de los ciudadanos bicicletas en régimen de alquiler, u otras opciones relativamente ventajosas para propiciar los desplazamientos cortos aprovechando las características de esta modalidad de transporte.

En ámbitos metropolitanos se pueden enunciar las medidas de trasvase de viajeros hacia modos más eficientes, esto es, del vehículo privado hacia el autobús y de éste hacia el metro, todo ello en razón a los flujos de viajeros y a los grados de ocupación de los diferentes





modos, buscando en todo caso unas tasas aceptables de ocupación de los vehículos, tanto en horas punta como en el resto del horario. Como ejemplo se puede citar la modalidad de autobuses nocturnos (Búhos) que entran en funcionamiento con el cierre de las líneas de metro, esto es, cuando el grado de ocupación de éstas es tan bajo que no se justifica su funcionamiento.

También en el ámbito metropolitano, aunque actuando sobre la vía, se pueden enunciar medidas tendentes a reducir el tiempo de desplazamiento de los usuarios del transporte público, mediante la creación de vías específicas de autobuses, como el carril bus y los carriles VAO (para vehículos de alta ocupación, entendiendo como tal, dos o más viajeros por vehículo, según las circunstancias y las condiciones de regulación).

Para el transporte de cargas a largas distancias se impulsa la utilización de las autopistas del mar, así como las soluciones tipo "ferroutage" (camiones sobre plataformas ferroviarias) que evitan costes ambientales significativos.

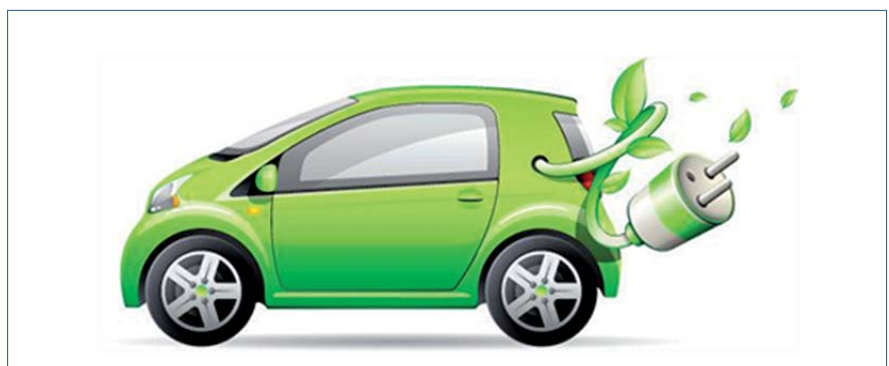
Desarrollo de tecnologías aplicables a los vehículos para hacerlos más eficientes y menos contaminantes

En este apartado procede apuntar varias consideraciones, las mejoras implantadas en los motores convencionales, tanto de gasolina como diésel, cuyo consumo de combustibles convencionales ha experimentado una reducción significativa respecto a los consumos de modelos de mayor antigüedad.

Aparte de estas mejoras debe citarse la entrada en el mercado de vehículos basados en una tecnología innovadora, como son los vehículos eléctricos

y los denominados híbridos, esto es, dotados de un motor eléctrico único, en el caso de los primeros, y un motor eléctrico asociado a otro de gasolina o diésel, en el caso de los híbridos.

Es de reseñar en este sentido que la mera utilización de la electricidad como fuente de energía no comporta necesariamente una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, pues según los medios empleados para la obtención de la energía eléctrica necesaria para alimentarlos varían sustancialmente las emisiones de dichos gases y, consecuentemente, el comportamiento frente al cambio climático.





En esta misma línea de medidas tecnológicas aplicadas a los vehículos se puede enunciar la utilización de biocombustibles como es el caso del bioetanol, biodiesel u otros, cuya implantación podría afirmarse que en los últimos años ha ido perdiendo presencia conforme la han ido adquiriendo los vehículos eléctricos e híbridos.

Empleo de materiales reciclados en la construcción de las carreteras

Siendo la construcción y la conservación de carreteras actividades que comportan un gran consumo de materiales es fácil suponer que la idea de emplear materiales procedentes de reciclado en dichas actuaciones sea una idea profusamente empleada con el fin articular la posibilidad de dar un destino diferente de los vertederos a los materiales procedentes de residuos y, en particular, a los procedentes de la construcción en general o de la propia carretera, o a los subproductos procedentes de una gran diversidad de actividades, como la minería, la siderurgia, etc.

Es evidente que si una carretera se comporta como una estructura que debe soportar la acción de las cargas que transitan por ella, en definitiva, las cargas del tráfico, y la exposición permanente a la intemperie, cualquier material que se pretenda emplear en su construcción, con independen-

cia de su origen o procedencia, debe reunir unas características resistentes acordes con su función, lo que viene a condicionar sensiblemente la relación y tipología de los materiales procedentes de operaciones de reciclado que pueden emplearse en la construcción de carreteras.

Sin embargo, se ha experimentado con diversa fortuna con materiales reciclados o materiales secundarios tanto en capas granulares como en mezclas bituminosas, y se puede afirmar que es éste un campo en el que se han obtenido algunas conclusiones satisfactorias, aunque quedan aún muchos aspectos por experimentar, y que se trata de

un campo al que hay que reconocerle un gran futuro en la medida en que las materias primas estén sometidas a exigencias cada vez mayores y los residuos, por su parte, necesiten espacios cada vez más amplios para su almacenamiento, o expresado de otro modo, cada día precisan de manera más perentoria posibles destinos que permitan perder su condición de residuos y, como complemento, su incorporación como materias primas en otros procesos productivos.

Medidas orientadas al control de la circulación de los vehículos

La Dirección General de Tráfico viene desarrollando importantes acciones para la mejora de la ordenación de la circulación, el control centralizado del tráfico y para la aplicación de medidas educativas y disciplinarias sobre los conductores, lo que se traduce, también, en condiciones de circulación más eficientes y menos contaminantes.

Se han llevado a cabo modificaciones en la legislación e importantes inversiones en equipos diversos, que constituyen el apoyo necesario para las mejoras alcanzadas en la condiciones de uso de las carreteras.





Conclusiones

De la relación de medidas e iniciativas anteriormente expuestas se desprende la variedad y diversidad de acciones emprendidas para evitar el cambio climático, o paliar en la medida de lo posible sus efectos, y la pluralidad de organismos e instituciones que las abordan. A la vista de ello se deduce la necesidad de disponer y utilizar de manera ordenada y sistemática herramientas universalmente aceptadas que permitan comparar, en términos de eficiencia, unas con otras, y obtener el mayor beneficio posible de los esfuerzos que se están realizando de manera relativamente inconexa para prevenir o paliar dichos efectos.

Parece pertinente sugerir que las iniciativas que se han recogido en esta relación vinieran acompañadas de estudios sobre la huella de carbono o sobre el análisis del ciclo de vida, como instrumentos generalmente reconocidos para valorar el impacto global de las actividades y como indicadores de sus efectos sobre el cambio climático, y para ello se definieran los correspon-

dientes métodos y procedimientos de carácter general, que fueran válidos para todas ellas.

Sería igualmente preciso garantizar la objetividad e imparcialidad de estos estudios, tanto en su metodología como en los valores de las variables que intervienen en ellos, con el fin de evitar estudios sectoriales cuya única finalidad fuera la de evidenciar las ventajas de un determinado modo de transporte o una determinada tecnología, obviando, como sucede muchas veces, aspectos esenciales en el proceso de valoración, de los que resultan conclusiones sesgadas que en ningún caso tendrían validez para los planteamientos de esta nota.

Esto supondría que la fiabilidad de dichos estudios debería estar avalada por personas de acreditada capacidad e independencia, ajenas a los diferentes grupos de interés que participan en las diferentes líneas anteriormente referidas.

El método sugerido debería estar acompañado de una base de datos, en permanente proceso de actualización, que recoja los valores de re-

ferencia de las emisiones de gases de efecto invernadero o cualquier otra información que pueda ser relevante para estimar la repercusión de la actuación de que se trate en el cambio climático, de modo tal que esta información figure desagregada por actividades elementales (las mismas unidades de obra en que se desagrega tradicionalmente un proyecto para referir a ellas las mediciones, precios unitarios y presupuesto), de modo que la huella de un proyecto completo fuera la suma de cada una de las huellas de las unidades elementales en que se desagregara.

Sería también necesario disponer de un centro de referencia que, además de facilitar el procedimiento y difundir la formación necesaria para su uso, facilitara, en su caso, la información precisa para evaluar una determinada actuación, confirmara que los estudios que forman parte de los proyectos reúnen la calidad y el rigor necesarios para que se puedan extraer de ellos conclusiones útiles y los supervise para corroborar la validez de su contenido. ❖

Jornada Técnica sobre avances tecnológicos en conservación de carreteras



Mesa redonda de la Jornada en la que intervinieron, de izquierda a derecha: José Manuel Barrena, Jaime López-Cuervo Abad, Pablo Sáez, Alberto Collado Martínez y Jacobo Martos.

La Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX) celebró el pasado 25 de junio en Toledo una Jornada Técnica sobre avances tecnológicos en conservación, con el objetivo principal de dar a conocer las últimas novedades y avances de los equipos, maquinaria, materiales y soluciones tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia y eficacia de las operaciones de conservación de carreteras.

La apertura contó con la presencia de Jaime López-Cuervo Abad, subdirector adjunto de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, María José Luque Maza, jefa de servicio de Conservación de Carreteras de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha y Jacobo Martos Martín, presidente de ACEX, que tras una breve intervención dieron paso al primer bloque de ponencias

coordinado por Javier González Cabezas, jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla La Mancha.

La primera ponencia corrió a cargo de EMSA que presentó una interesante gama de equipos de segadoras y



Figura 1. Segadora por control remoto



Figura 2. La madera como solución sostenible para la construcción de almacenes y naves

desbrozadoras manejadas por control remoto. Las principales ventajas de las mismas es su versatilidad a la hora de acceder a terrenos de difícil acceso o con pendientes pronunciadas.

A continuación Lagon Rubber, empresa comercializadora de cuchillas para vialidad invernal de alta gama, presentó en esta ocasión la madera como material sostenible para la construcción de almacenes y naves,

destacando las ventajas del uso de este material: integración paisajística, capacidad de aislamiento, resistencia a la sal, ausencia de condensación de agua, etc.

Seguidamente la empresa Krinner sorprendió a los asistentes con la presentación de una base atornillable para la colocación de señales. Tras 20 años desarrollando esta solución y, tras haberla ensayado y probado

en diferentes lugares de Europa, la expusieron en esta jornada técnica como alternativa a las cimentaciones de hormigón u otras convencionales. Presume de ser una solución rápida y sencilla, que puede ser colocada con maquinaria pesada o manual.

Myrsa Mulder continuó con el turno de ponencias presentando la forma de optimizar el rendimiento de los equipos de vialidad invernal



Figura 3. Base atornillable para señalización

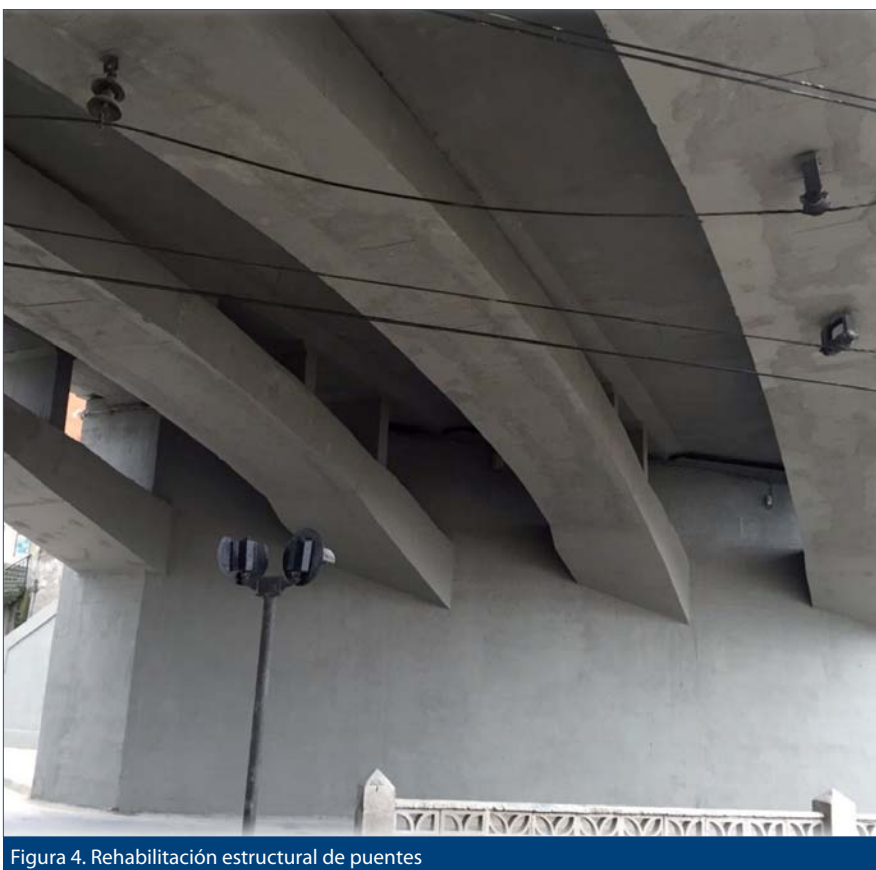


Figura 4. Rehabilitación estructural de puentes

y grúas y cómo favorecer la sostenibilidad al ponerlos en servicio. Mostraron como ahorrar tiempo, combustible y recursos en función de los materiales utilizados y el modo de usar la maquinaria.

Para concluir con el primer panel de presentaciones Aebi Schmidt expuso como novedad su programa TLC (*Total Lifetime Care*), un servicio de atención al cliente basado en un sistema de gestión de maquinaria cuyo objetivo es mantener la maquinaria en servicio en las mejores condiciones posibles.

Una larga pausa para café posibilitó a los asistentes la visita a los pequeños

stands de las empresas expositoras y poder comprobar, de primera mano, las novedades presentadas y las que quedaban por presentar a lo largo del día, favoreciendo y complementando la parte técnica de las ponencias con la función comercial que pretendía abordar esta Jornada.

El inicio de la segunda sesión, coordinada por Francisco García Sánchez, responsable técnico de ACEX, corrió a cargo de Composan Puentes y Obra Civil que describió pormenorizadamente las fases de rehabilitación estructural de un puente de hormigón utilizando sus productos y técnicas más novedosas. En la Figura 4 se pue-

de observar el resultado final de un proyecto de rehabilitación en el que se combina la función estructural como la estética de la solución realizada.

Freyssinet continuó la jornada presentando las reparaciones de estructuras de hormigón, en este caso un tablero carretero sobre la presa de Alarcón. Gracias a esta intervención se consiguió adecuar la estructura a la normativa vigente, dotándola de aptitud en servicio, y evitar la rotura por cargas.

Proin Sistemas de Contención, habló de *Gate-Guard*, un sistema autónomo de apertura de pasos de mediana, que dispone de marcado CE y que ha sido instalado, con gran éxito, en varias carreteras del territorio nacional.

Alauda Ingeniería presentó SIGCAR, un sistema de visualización integral de información georreferenciada de las redes de carreteras españolas, completamente abierto a cualquier usuario que permite explorar una gran cantidad de datos GIS, accesible en estos momentos en la red (<http://beta.sigcar.es/sigc.php>) en una versión en desarrollo que puede contener errores que esperan subsanar con el tiempo.

La penúltima ponencia corrió a cargo de Interlight SP que presentó un novedoso producto para señalización horizontal formado por unas placas luminosas incrustadas en el pavimento que se iluminan al detectar el movimiento de peatones, ciclistas o cualquier otro usuario de la vía pública, previniendo al conductor de su inminente cruce de la calzada.

Para finalizar Visever presentó su laboratorio de pinturas y mostró varias líneas de investigación desarrolladas en los últimos años con diferentes clientes, tanto nacionales como internacionales. Se pudo comprobar la importancia a la hora de elegir los materiales en función de su uso y localización final.

Tras la comida se celebró una mesa redonda moderada por Pablo Sáez, director de ACEX, en la que intervinieron Jaime López-Cuervo Abad, subdirector adjunto de Conservación de la Dirección General de Carreteras

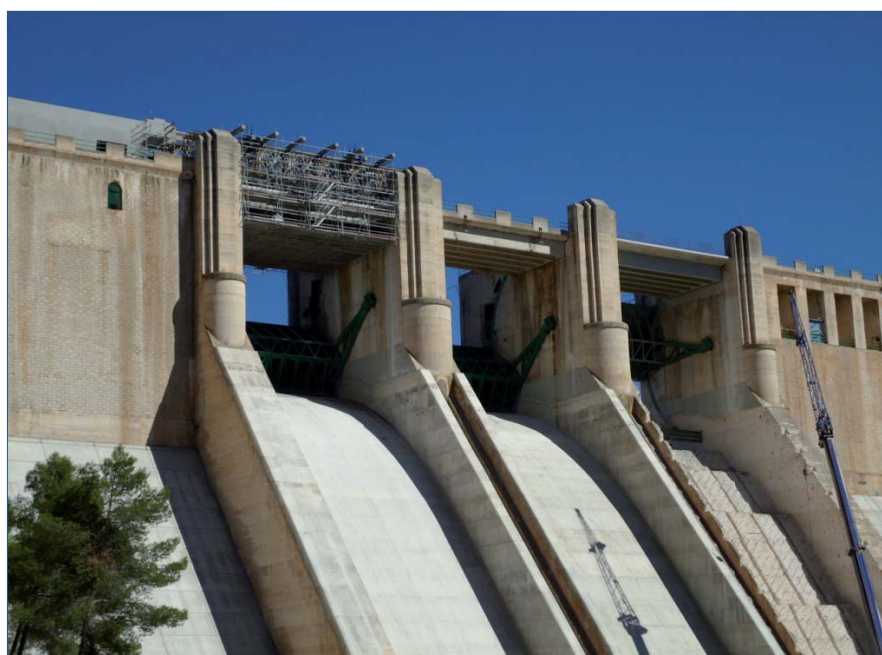


Figura 5. Reparación de tablero en la presa de Alarcón



Figura 6. Sistema autónomo de apertura de pasos de mediana

Actividades del Sector

del Ministerio de Fomento, Alberto Collado Martínez, jefe del Servicio de infraestructura viaria y urbana de la Diputación de Toledo, José Manuel Barrera, jefe del Área de planeamiento, proyectos y obras de la Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla la Mancha, y Jacobo Martos, presidente de ACEX.

En ella se pusieron de manifiesto los logros alcanzados en la conservación de las carreteras, y el papel fundamental que la sistemática en la gestión, tanto temporal como económica, de la conservación integral para obtener un adecuado mantenimiento en la red.

Se abogó por la necesidad de asegurar unos recursos suficientes para mantener unos niveles adecuados de conservación y se expresó que la conservación ordinaria debe servir para mejorar y reducir los costes operacionales, para reducir los costes externos (accidentalidad), para aumentar la funcionalidad de la carretera y su vida útil, y que para alcanzar estos objetivos los avances técnicos y tecnológicos para la realización de las diversas operaciones de conservación son una necesidad.

Todas las ponencias están disponibles en www.acex.ws en la sección de Jornadas Técnicas. ❖

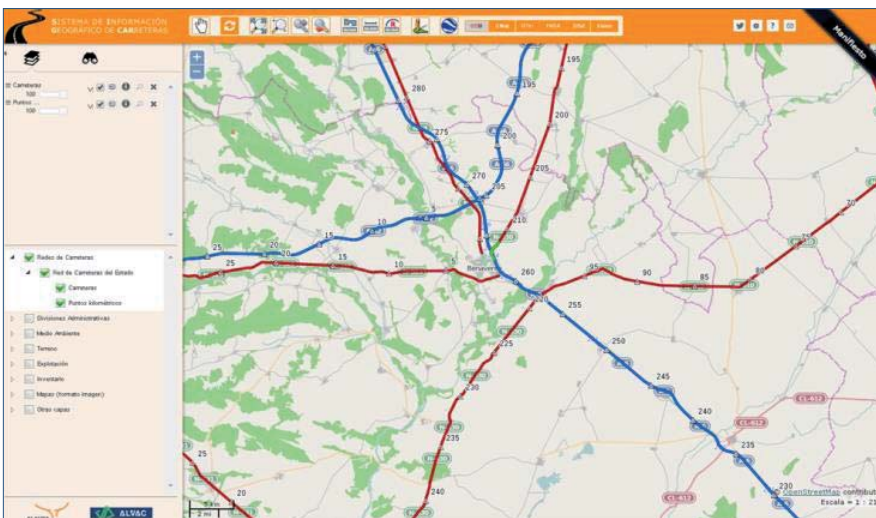


Figura 7. Sistema SIGCAR



Figura 8. Sistema Interlight



XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA)



Bariloche, Argentina
16 a 20 de noviembre de 2015

El próximo mes de noviembre, Bariloche (Argentina) acogerá el XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, más conocido por sus siglas CILA, el mayor foro sobre infraestructuras viarias de toda Iberoamérica.

Este Congreso reunirá a expertos, profesionales y académicos vinculados al sector del asfalto para debatir sobre nuevas tecnologías, equipamientos y especificaciones técnicas en el campo de las mezclas bituminosas.

La última edición, celebrada en noviembre de 2013 en Guatemala, reunió a más de 250 académicos, técnicos y profesionales vinculados a la pavimentación asfáltica. España, país miembro desde 1981, estuvo presente en el XVII CILA 2013 con un total de 23 trabajos técnicos, la coordinación de sesiones técnicas y la exposición de una conferencia magistral.

En esta nueva edición, en la que se han recibido más de 300 comunicaciones, la participación española será de nuevo importante, con 22 artículos

técnicos y la presencia de dos expertos en sendas conferencias magistrales a cargo de Alberto Bardesi, director de Asfaltos en REPSOL y Socio de Mérito de la Asociación Técnica de Carreteras, y Félix E. Pérez, catedrático de Caminos en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y miembro del Comité Editorial de nuestra revista.

El Congreso abordará las siguientes áreas temáticas:

- Materiales asfálticos
- Áridos
- Diseño y proyecto de pavimentos
- Construcción y conservación de pavimentos flexibles
- Técnicas de pavimentación teniendo en cuenta la economía de energía y el impacto ambiental
- Gestión de pavimentos
- Formación de recursos humanos

Entre los objetivos del XVIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto destacan los siguientes:

- Interesarse por los problemas de carácter técnico y científico referi-

dos a los materiales asfálticos, promoviendo estudios e investigaciones que faciliten su uso y desarrollo en los países Latinoamericanos e Ibéricos.

- Intercambiar información sobre experiencias a nivel regional y nacional, acerca de nuevas técnicas de trabajo, tipo de materiales, equipos, especificaciones y otros aspectos relacionados, con el objeto de no repetir errores, aprovechando la experiencia y evitando la duplicación de esfuerzos.
- Publicar y divulgar los trabajos técnicos y científicos presentados en el Congreso, así como los debates que susciten durante sus exposiciones.
- Promover el desarrollo de las relaciones personales a fin de fortalecer los vínculos de amistad entre los técnicos de Ibero Latinoamérica y los procedentes de otros países del mundo.
- Promover la participación activa de todos los países miembros.

Junto con CILA, la Comisión Permanente del Asfalto de Argentina, entidad pionera en la difusión del buen uso de los materiales asfálticos en IberoLatinoamérica, ha sido la responsable de la organización de este Congreso y festejará, en coincidencia con el mismo, sus 70 años de vida. Por su parte, la Asociación Argentina de Carreteras (Comité Argentino de PIARC) ha sido la encargada de convocar esta iniciativa. ❖



www.cila2015.com.ar/

Entra en servicio el puente sobre la Bahía de Cádiz



El pasado 24 de septiembre, el presidente del Gobierno, Mariano Rajoy, y la ministra de Fomento, Ana Pastor, asistieron al acto de puesta en servicio del nuevo puente sobre la Bahía de Cádiz, bautizado como “puente de la Constitución de 1812”.

El nuevo puente, una de las estructuras más complejas que ha acometido el Ministerio de Fomento en los últimos años, se convierte así en el tercer acceso a la ciudad. Con una longitud de 3092 m cuenta con dos carriles por sentido para el tráfico viario y una plataforma dedicada al transporte colectivo que, inicialmente, albergará dos carriles reservados para la circulación de autobuses.

El puente es uno de los de mayor luz de vano principal (540 m) el tercero en Europa, después del Puente de Normandía en Francia y del Puente Rion Antirion en Grecia.

Además, es el segundo puente marítimo de mayor gálibo vertical del

mundo, 69 metros, después del Puente de Verrazano Narrows de Nueva York, y por delante del Puente Golden Gate de San Francisco, lo que permite el paso de grandes embarcaciones.

El puente, sustentado por 34 pilas y dos pilonos de 185 m de altura, se divide estructuralmente en cuatro tramos principales: el viaducto de acceso a Cádiz, un tramo desmontable, el viaducto atirantado y el viaducto de hormigón de acceso a Puerto Real.

El viaducto de acceso a Cádiz es una estructura mixta de 581,3 m de longitud, formada por un vano inicial de 56,3 m y 7 vanos de 75 m, construida por el procedimiento de empuje del tablero metálico desde el estribo de Cádiz, y el posterior hormigonado de la losa.

A continuación se dispone un tramo metálico desmontable, de 150 m de longitud, cuya misión es la permitir el paso de embarcaciones o artefactos flotantes excepcionales que presenten un gálibo superior a los 69 m del tramo atirantado.

El viaducto atirantado es la parte más singular del puente de la Constitución de 1812. Es una estructura atirantada de 1180 metros de longitud, una luz libre entre pilonos de 540 metros, la mayor de España y un gálibo vertical bajo el tablero, también excepcional, de 69 metros. El tablero está constituido por 63 dovelas metálicas prefabricadas en taller, que en el caso del pilono en el mar fueron izadas hasta su emplazamiento con la ayuda de una grúa flotante.

El viaducto de acceso a Puerto Real, de 1182 m de longitud, es de hormigón pretensado ejecutado *in situ*.

Las obras, con un presupuesto cercano a los 455 millones de euros, se completan con una serie de actuaciones adicionales como la glorieta de acceso a Cádiz, el viaducto del Río San Pedro, de 796 metros de longitud, el enlace con la CA-35, y otras vías e intersecciones auxiliares en la Barriada del Río San Pedro en Puerto Real. ❖

Entra en vigor la nueva Ley de Carreteras

El Boletín Oficial del Estado ha publicado, en su edición del día 30 de septiembre, la Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras que ha entrado en vigor al día siguiente de su publicación.

La tramitación de este texto se inició en marzo, con la aprobación del informe preceptivo de su anteproyecto por parte del Consejo de Ministros. El 8 de mayo, este mismo organismo aprobaba el proyecto de ley que

pasaría al Congreso de los Diputados (ver Rutas 163) y que en cuatro meses ha sido tramitado y aprobado con carácter definitivo, y sin modificación alguna, en la sesión plenaria del Senado del pasado 10 de septiembre. ❖

Adaptación al cambio climático

Los próximos 27 y 28 de octubre el CEDR (Conferencia Europea de Directores de Carreteras) presentará en Bruselas las conclusiones de dos trabajos de investigación sobre las consecuencias del cambio climático en las redes de carreteras europeas. Estos proyectos, CliPDar y ROADAPT, han sido liderados por las administraciones de carreteras de Alemania, Dinamarca, Noruega y Holanda.

El sector de la carretera es muy vulnerable a los fenómenos meteorológicos extremos, que pueden producir siniestro con importantes daños materiales y humanos. Por ello, es esencial conocer lo antes posible en qué medida afecta a las redes de carreteras europeas el cambio climático que

se está produciendo a nivel global en el mundo.

Con la ayuda de modelos meteorológicos de predicción se podría hacer una estimación del impacto sobre la carretera y su conservación. Sin embargo, es preciso ajustar la fiabilidad de estos procedimientos mediante un estudio detallado y su ajuste a escala europea.

El proyecto CliPDar ha estudiado las metodologías existentes para identificar un enfoque común que pueda aplicarse a las carreteras europeas en el futuro. En especial, se ha centrado en la revisión, análisis y evaluación de los modelos de predicción existentes a nivel regional y su aplicación a la Red Transeuropea del Transporte (TEN-T),

con el objetivo de proporcionar recomendaciones a las administraciones de carreteras sobre su empleo.

Por su parte, el proyecto ROADAPT trata de estudiar la vía más eficiente de adaptación de la carretera y sus sistemas de transporte a estas nuevas condiciones marcadas por el cambio climático, priorizando las medidas a adoptar, su eficacia y sus costes. Dentro del mismo se han elaborado una serie de recomendaciones sobre el uso de los datos climáticos, evaluación de riesgos, impactos socio-económicos y estrategias de adaptación, que sin duda serán de gran utilidad para los responsables de las distintas redes a nivel nacional. ❖

www.cedr.fr/home/

La carretera sólo aceptará los Megatrucks en la reforma de pesos y dimensiones

El departamento de mercancías del Comité Nacional de Transporte por Carretera (CNTC) se reunió el pasado 15 de septiembre para analizar la propuesta de reformas de pesos y dimensiones que está preparando la Dirección General de Tráfico (DGT). Tras analizar el contenido de la orden ministerial, el Comité Nacional sólo aceptó la propuesta de crear autorizaciones controladas para la circulación de megatrucks, es decir, camiones de 25,25 m y capacidad para 60 toneladas.

Esto significa, tal y como detalla la Confederación Española de Transporte de Mercancías (CETM), que las asociaciones de transportistas rechazan la propuesta de ampliar hasta 4,50 m la altura máxima de los vehículos, «por el riesgo que representa para la seguridad vial al incrementar significativamente la posibilidad de vuelco, debido al aumento de la superficie de resistencia al



viento y al desplazamiento del centro de gravedad de los vehículos». Es más, para retomar la posible puesta en marcha de esta medida, el CNTC requerirá que un organismo público contrastado certifique que este tipo de vehículos no suponen un riesgo para dicha seguridad vial.

Por otra parte, CNTC ha rechazado también el aumento de la longitud de los vehículos articulados hasta un total de 20,55 m por suponer un incremento injustificado de la oferta de transporte y requerir de cuantiosas inversiones en la compra de nuevos equipos.

CETM insiste en que cualquier cambio de la normativa de pesos y dimensiones debe incluir una armonización de las mismas a nivel europeo, al tiempo que se debe abrir un debate sobre otros asuntos de importancia para el sector del transporte, como los plazos máximos de pago o la reducción de las restricciones al tráfico. Para ello, el sector del transporte está dispuesto a abrir una mesa de negociación y debate con las otras partes implicadas (Administración y organizaciones de cargadores) para tratar en profundidad y de manera conjunta estos asuntos. ❖

XXV Congreso Mundial de la Carretera

“Carreteras y movilidad - Creando nuevos valores desde el transporte”

**Seúl, República de Corea,
2 a 6 de noviembre de 2015**



Desde el primer Congreso Mundial de la Carretera, celebrado en 1908 en París, la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), una asociación no gubernamental, ha venido organizando cada 4 años en un país miembro un Congreso Mundial de la Carretera durante más de un siglo. Gracias a la celebración de este Congreso, los técnicos y responsables de las diferentes entidades y asociaciones relacionadas con la administración de carreteras y el transporte vial se reúnen para

presentar los resultados de sus investigaciones, la experiencia adquirida en el uso de las distintas tecnologías y compartir recomendaciones de buena práctica para el avance de la técnica. Al mismo tiempo, este evento ofrece también la posibilidad de compartir informaciones entre los distintos países y regiones con el fin de resolver múltiples problemas viales y de transporte, reforzar lazos de cooperación, determinar las funciones de cada actor y establecer un sistema de cooperación.

Tema del Congreso: “Carreteras y movilidad – Creando nuevos valores desde el transporte”

Durante mucho tiempo las carreteras han jugado un papel fundamental en la actividad humana, en el intercambio cultural y en el desarrollo económico. Especialmente en la era del automóvil, las carreteras han contribuido en gran medida al rápido desarrollo mundial y al avance de la civilización moderna. En la actualidad, los expertos de carreteras y transporte deben explorar nuevas posibilidades que permitan aprovechar el enorme potencial de las carreteras y las tecnologías relacionadas, así como definir su nuevo papel y nuevos valores que permitan perfeccionarlas aún más.

En el XXV Congreso Mundial de la Carretera de Seúl 2015 se establecerá una estrategia para crear nuevos valores en materia de carreteras y transporte, basados en los cuatro temas estratégicos de la Asociación Mundial de la Carretera: Gestión y rendimiento, Acceso y movilidad, Seguridad, e Infraestructura.

Se espera contar con miles de expertos de más de 120 países, que se reunirán para analizar los desafíos y los nuevos retos a los que ha de enfrentarse el sector del transporte viario. Destaca,



en particular, la sesión de ministros en la que, bajo el lema "La evolución de la política de carreteras para la próxima generación", más de 40 ministros y vice-ministros de Estado dialogarán sobre los asuntos globales relativos al sector.

El Congreso Mundial de la Carretera de Seúl será un evento internacional fructífero y constructivo, ya que los participantes de cada país miembro presentarán las nuevas tecnologías del sector y analizarán las prácticas exitosas de diferentes gobiernos.

Programa del Congreso:

El XXV Congreso Mundial de la Carretera de Seúl 2015 se desarrollará en los siguientes bloques:

- Sesión de Inauguración: Bienvenida a los participantes en el Congreso.
- Sesión de Ministros: Las prácticas políticas y la experiencia de cada Estado miembro serán compartidas y discutidas por los ministros participantes en esta sesión.
- Sesiones Principales: Las sesiones principales incluyen 4 Sesiones de Orientación Estratégica, 17 Sesiones de los Comités Técnico, 14 Sesiones Especiales, 3 Sesiones Magistrales, así como las Sesiones de Posters.
- Sesión de Clausura: Resumen y evaluación del Congreso, y presentación de los temas estratégicos seleccionados por PIARC para

el próximo período entre Congresos (2016-2019), así como de la sede prevista para la celebración el XXVI Congreso, Emiratos Árabes Unidos. La Sesión finalizará con el acto oficial de traslado de la bandera ceremonial.

- Visitas técnicas: Con el fin de brindar a los participantes una oportunidad para conocer tecnologías innovadoras y nuevos logros en el sector de la carretera y el transporte viario de Corea, el Comité Organizador ha preparado una amplia selección de lugares de visita, incluyendo centros gubernamentales, de investigación y compañías privadas. ❖

Mas información en: www.piarcseoul2015.org

Pabellón de España



Durante la Exhibición del XXV Congreso Mundial de la Carretera, estará abierta una sala de exhibición relativa a las políticas y nuevas tecnologías del campo de transporte viario. La exhibición contará con la participación de numerosos gobiernos y empresas, sirviendo de espacio de intercambio y reactivación de los negocios de B2B o G2B.

España estará representada con un pabellón que contará con la participación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, la Direc-

ción General de Tráfico del Ministerio del Interior y la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid. La Asociación Técnica de Carreteras, como órgano de representación y gestión de la Asociación Mundial de la Carretera en España, dispondrá también de un espacio, así como las siguientes asociaciones y empresas españolas: Acciona, Acex, Asefma, Fidex, Ineco, Oficemen, Sacyr y Zitron.

SEOUL 2015



El XXV Congreso Mundial de la Carretera

Seúl, República de Corea
2~6 de noviembre de 2015



JORNADA TÉCNICA

Reparaciones Geotécnicas en Infraestructuras en Servicio



Inauguración de la Jornada en la que intervinieron, de izquierda a derecha: Carlos Oteo Mazo, María del Carmen Sánchez Sanz y Jesús Díaz Minguela

El pasado 23 de septiembre de 2015 la Asociación Técnica de Carreteras celebró en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, la Jornada Técnica "Reparaciones Geotécnicas en Infraestructuras en Servicio".

La Inauguración contó con la presencia de María del Carmen Sánchez Sanz, subdirectora general de Conservación del Ministerio de Fomento, quien destacó la singularidad de los elementos geotécnicos en infraestructuras en la gran transformación experimentada por la Red de Carreteras del Estado en los últimos años, con Jesús Díaz Minguela, vicepresidente

de la Asociación Técnica de Carreteras y Carlos Oteo Mazo, director técnico de la Jornada.

Desarrollo de la Jornada

La primera ponencia, *Experiencias recientes en reparaciones geotécnicas de carreteras*, corrió a cargo de Álvaro Navareño (Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento) que, en una primera parte, explicó cómo se distribuye la inversión en reparaciones geotécnicas en la RCE, y cómo se procede en los reconocimientos de estado de los distintos elementos geotécnicos. Posteriormente, expuso

algunos casos de situaciones de emergencia así como la importancia de una adecuada gestión de las infraestructuras, especialmente las carreteras, ya que una parte importante de los problemas geotécnicos pueden evitarse mediante un adecuado y cuidadoso mantenimiento del sistema de drenaje ya que, como él mismo dijo «Cuando se trata de reparaciones geotécnicas las incertidumbres son aún mayores, con frecuencia, por la dimensión de los problemas, por lo que se hace imprescindible un buen estudio de soluciones y un seguimiento de estas. A pesar de todo, en numerosas ocasiones es complicado adelantarse al problema, por lo

que se hace preciso tener un adecuado sistema de vigilancia y reconocimiento, y reparar con urgencia los daños»

Seguidamente, José María García Mezquita (Taboada Construcciones) profundizó en las *Reparaciones geotécnicas en infraestructuras lineales en ferrocarriles*, donde se comentó las singularidades del mantenimiento en la infraestructura ferroviaria ya que «hay que reducir a la mínima expresión los cortes de servicio con la consecuencia de que en muchos tramos de línea los tiempos efectivos de trabajo no son superiores a 3 horas al día. Se disponen de elevadas medidas de seguridad al trabajar en el entorno de la vía existiendo también mayor peligrosidad frente a la carretera si un elemento invade la infraestructura». En su intervención, destacó también las ventajas del mantenimiento preventivo frente al correctivo, ya que asegura una minimización del riesgo, mejora la explotación de la red, produce menores costes y facilita una mayor vida útil de la infraestructura elevando sus estándares de calidad.

Después de un breve descanso Carlos Oteo Mazo dedicó su intervención a las *Reparaciones en Terraplenes*. «Muchos problemas provienen de un inadecuado diseño o de una escasa adopción de medidas respecto al futu-



Carlos Oteo Mazo durante la presentación de su ponencia

ro, por lo que, a veces, ya se presentan en el periodo de construcción. Pero en otras ocasiones hace falta la presencia de agua, la cual no siempre juega papel durante la construcción, la evolución de propiedades de materiales arcillosos y el desarrollo de los fenómenos de deformación de los terrenos», fueron algunas de sus palabras.

La última ponencia *Medidas de reparación en desmontes compatibles con el tráfico*, Javier Castanedo (Equipo de Prospecciones) expuso cómo los desmontes de una infraestructura de transporte pueden necesitar reparación de intensidad mayor a las habi-

tuales de conservación y deben intentar realizarse manteniendo, aunque sea con restricciones, la funcionalidad de la infraestructura.

A continuación tuvo lugar un vivo coloquio entre los ponentes y asistentes a la Jornada, tratándose temas como la problemática de los coeficientes de seguridad en las obras geotécnicas o la falta de un sistema eficaz de gestión de taludes, entre otros.

La Jornada sirvió también para presentar el libro "Quince Lecciones y un Epílogo sobre Geotecnia de Obras Subterráneas", firmado por Carlos Oteo Mazo, presidente del Comité de Geotecnia vial de la ATC. La presentación contó con la presencia de José Luis Elvira Muñoz, director técnico de la Dirección General de Carreteras, quien hizo un repaso de la brillante actividad profesional de Carlos Oteo desde el año 1969. Destacó el interés del libro, siendo éste la segunda publicación del autor editada por la ATC, al que animó a continuar con un tercer libro.

La tarde de la Jornada se dedicó a la presentación de comunicaciones libres, donde un gran número de técnicos expertos en geotecnia presentaron sus propias experiencias.

Para finalizar, Carlos Oteo clausuró la Jornada agradeciendo la asistencia a los participantes y recordando que «no se debe perder la perspectiva a futuro de las obras». ❖



QUINCE LECCIONES Y UN EPÍLOGO SOBRE GEOTECNIA DE OBRAS SUBTERRÁNEAS

Carlos Oteo Mazo
Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC.
Profesor Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático Ingeniería del Terreno



En esta jornada se entregó a los participantes, el libro "Quince Lecciones y un Epílogo sobre Geotecnia de Obras Subterráneas" escrito por D. Carlos Oteo Mazo. El contenido de este libro, de gran interés técnico, abarca una amplia panorámica de la geotecnia de las obras subterráneas.

PRÓXIMA JORNADA TÉCNICA

MADRID, 5 DE NOVIEMBRE DE 2015

Guía Para la Redacción del Plan de Mantenimiento en Puentes

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

A menudo la conservación, la construcción y el proyecto son facetas de la ingeniería civil que se mantienen separadas. Es seguro que el día a día se impone en esta profesión y no deja tiempo para reflexionar todo lo que se quisiera.

Sin embargo, no es preciso recurrir a la lógica aristotélica para demostrar que la conservación, la construcción y el proyecto no pueden entenderse por separado. Los ingenieros de puentes han de crear estructuras sostenibles y durables durante toda la vida prevista por las normas y la propiedad.

El reto no es por tanto proyectar y construir el puente más económico, ni más esbelto, sino realizar el que mejor responda a las necesidades previstas durante todo el ciclo de vida, haciendo óptimo su mantenimiento.

Esta jornada está dirigida a todos los profesionales vinculados a los puentes. Es una magnífica oportunidad para reflexionar y fomentar ese diálogo imprescindible y, hasta hoy, insuficiente entre todos los actores de esta trama, que comprende muchas facetas de la ingeniería.

Las actuales Instrucciones EHE-08 y EAE-10 ya contemplan como necesaria la redacción del Plan de Mantenimiento de las Estructuras desde el mismo momento en que se proyectan. Esto obliga a los proyectistas a reflexionar sobre las tareas de conservación. Por eso se ha elaborado



un documento que pretende ser una modesta referencia a modo de Guía de redacción de estos planes. Incluye algunos ejemplos, y además se hace una reflexión sobre quién debe elaborar los planes, actualizarlos y ser responsable de incorporar en dicho Plan todas las actuaciones que sobre el puente se hagan a lo largo de su vida.

Lo 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 Ingenie-

ría de Mantenimiento, como de Proyecto y Ejecución.

Por la tarde se verán distintos casos de estructuras singulares recientemente construidas donde se plantea ya su conservación mediante un Plan Previsto desde su concepción, y de igual modo casos de estructuras ya existentes en los cuales se ha elaborado, tras una adecuada inspección, un Plan para su conservación.

Antes de la clausura tendrá lugar una mesa redonda, que versará sobre los aspectos a mejorar en el futuro en el mantenimiento de puentes a la hora de proyectar y conservar, así como aspectos novedosos que se incorporarán a la conservación de estructuras en un futuro próximo. ❖

Se proporcionará a los asistentes el libro
"GUÍA PARA LA REDACCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN PUENTES"

Más información en:
www.atc-piarc.com

PRÓXIMA JORNADA TÉCNICA

MADRID, 18 DE NOVIEMBRE DE 2015

El Responsable de Seguridad de Túneles de Carreteras

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

La Directiva 2004/54/CE supuso la base para el establecimiento de una concepción holística de la seguridad en túneles de carretera en la Unión Europea. En ella no solo se determinan los requisitos mínimos de obra civil y equipamiento con que debe dotarse cada túnel en función de sus características, sino que se introducen cuatro figuras con funciones y responsabilidades concretas en relación con la seguridad de los túneles de carretera.

De estas figuras, el organismo de inspección y el responsable de seguridad de túneles supusieron una novedad en nuestro país. El responsable de seguridad, que es nombrado por el gestor del túnel, lleva a cabo una observancia crítica e independiente de la explotación del túnel. Asimismo, participa activamente en la coordinación de las distintas medidas de seguridad y equipos intervinientes, así como en la evaluación de los incidentes graves que ocurran y de los simulacros de emergencia que se lleven a cabo.

Al contrario de lo que ocurre con respecto al organismo de inspección, para el responsable de seguridad no existe normativa técnica, ni a nivel nacional ni europeo, que desarrolle las funciones que para el mismo establecen tanto la directiva como sus respectivas transposiciones, como el Real Decreto 635/2006 para los túneles de la Red de Carreteras del Estado.

Esta carencia, unida a los años de experiencia acumulados en el desa-



rollo de las labores de responsable de seguridad de túneles tanto en la Administración del Estado como en algunas Administraciones Autonómicas e incluso locales, llevó al Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras a abordar el desarrollo de unas directrices o recomendaciones sobre la figura del responsable de seguridad de túneles de carretera. Con este objetivo, al inicio del ciclo 2011-2015 se forma el Grupo de Trabajo "Responsables de seguridad" que en estos cuatro años ha elaborado el informe: "El Responsable de seguridad de túneles de carretera".

El Comité de Túneles de Asociación Técnica de Carreteras organiza esta Jornada Técnica para presentar y dar a conocer el trabajo desarrollado por el grupo de trabajo, que se ha materializado en el citado informe; el cual, tomando como punto de partida las disposiciones de la Directiva 2004/54/CE, desarrolla cuestiones relativas a la independencia del responsable de seguridad, su formación y conocimientos previos, las fases en las que debería estar presente, así como sus funciones. ❖

Se proporcionará a los asistentes el libro
"EL RESPONSABLE DE SEGURIDAD DE TÚNELES DE CARRETERAS"

Más información en:
www.atc-piarc.com

PRÓXIMA JORNADA TÉCNICA

MADRID, 25 DE NOVIEMBRE DE 2015

Aumento de la Capacidad y la Seguridad en Carreteras de Calzada Única

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

El próximo 25 de noviembre de 2015 la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) celebrará la Jornada Técnica "Aumento de la Capacidad y la Seguridad en Carreteras de Calzada Única" dirigida por Sandro Rocci, Presidente del Comité de Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano de la ATC.

En esta Jornada se expondrán y debatirán las características, ventajas e inconvenientes de las soluciones que mejor se ajusten al interés público. El Comité de Carreteras Interurbanas invita a cuantos se interesen por estos temas (y muy especialmente a los planificadores e incluso a los políticos) a que concurran a ella: se ha previsto amplio tiempo para debates y coloquios.

Se proporcionará a los asistentes los artículos técnicos: "Las carreteras a partir de la crisis económica" y "Carreteras de calzada única con carriles adicionales: la ordenación 2 + 1".

Más información en:
www.atc-piarc.com

PROGRAMA

08:45 • 09:30 **ACREDITACIONES**

9:30 • 09:45 **Introducción**

D. Sandro Rocci

*Presidente del Comité de Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano
Asociación Técnica de Carretera*

09:45 • 10:30 **Los diseños previsores. Duplicación de la calzada**

D. Jorge Mijangos

Asesor Técnico

10:30 • 11:00 **Coloquio**

11:00 • 11:30 **PAUSA CAFÉ**

11:30 • 12:00 **Carriles adicionales en rampas y pendientes**

D. Fernando Pedraza

*Jefe del Área de Planeamiento, Proyectos y Obras
Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura Ministerio de Fomento*

12:00 • 12:45 **Carriles alternados de adelantamiento**

D. Alfredo García

*Catedrático de Ingeniería de Carreteras
Universitat Politècnica de Valencia*

12:45 • 13:15 **Coloquio**

13:15 • 13:30 **Clausura**

D. Sandro Rocci



Composición de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras

PRESIDENTE:	- D. Luis Alberto Solís Villa
CO-PRESIDENTES DE HONOR:	- D. Jorge Urrecho Corrales - D.ª María Seguí Gómez
VICEPRESIDENTES:	- D. José Luis Elvira Muñoz - D. Jesús Díaz Minguela
TESORERO:	- D. Pedro Gómez González
SECRETARIO:	- D. Pablo Sáez Villar



**Asociación Técnica
de Carreteras**
Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



VOCAL:

- Presidente Saliente:
 - D. Roberto Alberola García
- Designados por el Ministerio de Fomento:
 - D. José Luis Elvira Muñoz
 - D. Carlos Bartolomé Marín
 - D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
 - D.ª María del Carmen Picón Cabrera
 - D. José Manuel Cendón Albarte
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D. Jaime Moreno García-Cano
 - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
 - D.ª Garbiñe Sáez Molinuevo
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Luis Alberto Solís Villa
 - D. Xavier Flores García
 - D. Carlos Estefanía Angulo
 - D. Juan Carlos Alonso Monge
- En representación de los órganos responsables de la vialidad en los municipios, ayuntamientos o empresas públicas:
 - D. Manuel Arnáiz Ronda
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
 - D. Ángel Castillo Talavera
 - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
- Representante de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
 - D. Carlos Mijangos Gorozarri
- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. José Polimón López
 - D. Casimiro Iglesias Pérez
 - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Aniceto Zaragoza Ramírez
 - D. Alberto Bardesi Orúe - Echevarría
 - D. Jaime Huerta Gómez de Merodio
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. José Enrique Bofill de la Cierva
 - D. Juan José Potti Cuervo
 - D. Alejandro Llorente Muñoz
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
 - D. Juan Mata Arbide
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Jesús Díaz Minguela
 - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
 - D. José María Morera Bosch
 - D. Pedro Gómez González
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D. Sandro Rocci Boccaleri

Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras

Coordinador de los Comités Técnicos: *D. José María Morera Bosch*

COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidenta *D.ª María del Carmen Sánchez Sanz*
- Presidente Adjunto *D. Luis Azcue Rodríguez*
- Secretaria *D.ª Lola García Arévalo*

PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Álvaro Navareño Rojo*
- Secretario *D. Gonzalo Arias Hofman*

COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente *D. Gerardo Gavilanes Ginerés*
- Vicepresidente *D. José María Morera Bosch*
- Secretario *D. José A. Sánchez Brazal*

GEOTECNIA VIAL

- Presidente *D. Carlos Oteo Mazo*
- Secretario *D. Manuel Rodríguez Sánchez*

CARRETERAS INTERURBANAS Y TRANSPORTE INTEGRADO INTERURBANO

- Presidente *D. Sandro Rocci Boccaleri*
- Secretario *D. Javier Sáinz de los Terreros*

SEGURIDAD VIAL

- Presidente *D. Roberto Llamas Rubio*
- Secretaria *D.ª Ana Arranz Cuenca*

TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Rafael López Guarga*
- Vicepresidente *D. Ignacio del Rey Llorente*
- Secretario *D. Juan Manuel Sanz Sacristán*

CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente *D. Antonio Sánchez Trujillano*

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta *D.ª María del Carmen Sánchez Sanz*
- Presidente Adjunto *D. Vicente Vilanova Martínez-Falero*
- Vicepresidente *D. Pablo Sáez Villar*

CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente *D. Andrés Costa Hernández*
- Secretaria *D.ª Paloma Corbí Rico*

FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Julio José Vaquero García*
- Secretario *D. Francisco José Lucas Ochoa*

Socios de la Asociación Técnica de Carreteras

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- Socios de número:
 - Socios de Honor
 - Socios de Mérito
 - Socios Protectores
- Otros Socios:
 - Socios Senior
 - Socios Júnior
- Socios Colectivos
- Socios Individuales

Socios de Honor

D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS
D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ
D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS
D. SANDRO ROCCI BOCCALERI
D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH
D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA
D. JORDI FOLLIA I ALSINA
D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ
D. ROBERTO ALBEROLA GARCÍA

Socios de Mérito

D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA
D. CARLOS OTEO MAZO
D. ADOLFO GÜELL CANCELA
D. ANTONIO MEDINA GIL
D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA
D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA
D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA
D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO
D.^a MERCEDES AVIÑÓ BOLINCHES
D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO
D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN
D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ
D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS
D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA
D. ROBERTO LLAMAS RUBIO
D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ

Socios Protectores y Socios Colectivos

Administración General del Estado

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO
DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIA. MINISTERIO DEL INTERIOR
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MINISTERIO DE FOMENTO

Comunidades Autónomas

COMUNIDAD DE MADRID
GENERALITAT DE CATALUNYA
GOBIERNO DE ARAGÓN, DEPARTAMENTO DE VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, MOVILIDAD Y VIVIENDA
GOBIERNO DE CANARIAS
GOBIERNO DE CANTABRIA
GOBIERNO DE EXTREMADURA. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INFRAESTRUCTURAS
GOBIERNO DE NAVARRA
GOBIERNO VASCO
GOBIERNO VASCO. DIRECCIÓN DE TRÁFICO
JUNTA DE ANDALUCÍA
JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA
PRINCIPADO DE ASTURIAS
XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
 EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
 EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
 EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
 EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
 EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZARAGOZA
 CABILDO INSULAR DE TENERIFE
 CABILDO DE GRAN CANARIA
 CONSELL DE MALLORCA. DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

Ayuntamientos

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
 MADRID CALLE 30

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS E INGENIEROS CIVILES
 INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
 CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE, CEDEX
 ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA. CÁTEDRA DE CAMINOS
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

Asociaciones

AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
 ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
 ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE OBRA PÚBLICA, AERCO
 ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA
 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
 ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI
 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS, TECNIBERIA
 ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS (ATEB)
 FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
 FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

Sociedades Concesionarias

ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.
ACCIONA CONCESIONES, S.L.
CEDINSA CONCESSIONARIA, S.A.
AP - 1 EUROPISTAS, CONCESSIONARIA DEL ESTADO, S.A.U.
AUCALSA, AUTOPISTA CONCESSIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.
AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.
AUTOPISTAS DEL ATLANTICO, CONCESSIONARIA ESPAÑOLA, S.A.
CONCESIONARIA VIAL DE LOS ANDES, S.A. (COVIANDES)
SACYR CONCESIONES, S.L.
TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.
TÚNELS DE BARCELONA I CADÍ, CONCESSIONÀRIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, S.A.

Empresas

3M ESPAÑA, S.A.
ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
ACCIONA INGENIERÍA, S.A.
AECOM INOCSA, S.L.U.
A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
ALVAC, S.A.
API MOVILIDAD, S.A.
ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
AUDECA, S.L.U.
AZUL DE REVESTIMIENTOS ANDALUCES, S.A.
BARNICES VALENTINE, S.A.U.
BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.
BETAZUL, S.A.
CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
CEPSA - PRODUCTOS ASFÁLTICOS, S.A.
CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
COMPOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.
CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
CLOTHOS, S.L.
CYOPSA - SISOCIA, S.A.
DRAGADOS, S.A.
DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
ELSAMEX, S.A.
EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
ESTEYCO, S.A.P.
ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
EUROCONSULT, S.A.
EUROESTUDIOS, S.L.
FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
FREYSSINET, S.A.

GEOCONTROL, S.A.
 GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
 GETINSA - PAYMA, S.L.
 GINPROSA INGENIERÍA, S.L.
 GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
 HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
 IKUSI - ÁNGEL IGLESIAS, S.A.
 IMPLASER 99, S.L.L.
 INCOPE CONSULTORES, S.L.
 INDRA SISTEMAS, S.A.
 INDUSTRIAL DE TRANSFORMADOS METÁLICOS, S.A. (INTRAME)
 INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
 INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL, S.A.
 INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
 INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
 INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
 INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOSA)
 JEROL VIAL, S.L.
 KAO CORPORATION, S.A.
 LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
 MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
 PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
 PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
 PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
 PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
 PROES CONSULTORES, S.A.
 PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
 RAUROSZM.COM, S.L.
 REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
 RETINEO, S.L.
 S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
 S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
 SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
 SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
 SERBITZU ELKARTEA, S.L.
 SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
 SGS TECNOS, S.A.
 TALHER, S.A.
 TALLERES ZITRÓN, S.A.
 TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPESA)
 TECNIVIAL, S.A.
 TECYR CONSTRUCCIONES Y REPARACIONES, S.A. (TECYRSA)
 TELVENT TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.
 TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
 TEVASEÑAL, S.A.
 TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
 ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
 VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
 V.S. INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
 ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales

Personas físicas (63) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



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

C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.

Si quiere anunciarse en la revista **RUTAS** póngase en contacto con:
Ediciones Técnicas PAUTA. Tel.: 915 537 220

publicidad@edicionespauta.com



Para más información:
puede dirigirse a:

Asociación Técnica de Carreteras

Tel.: 913082318 Fax: 913082319

info@atc-piarc.com

www.atc-piarc.com

Desde este link http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php, podrá consultar los artículos de la revista *Rutas*, así como los de otras publicaciones, Congresos y Jornadas que organiza la ATC

Forma de pago:

☐

Domiciliación bancaria CCC nº _____

☐

Transferencia al número de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa NIF

Dirección Teléfono

Ciudad C.P. e-mail

Provincia País

Fecha Firma

REVISTA RUTAS DIGITAL



www.atc-piarc.com

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

Navega por nuestros números y artículos:

- Descarga los tres últimos números de la revista si eres suscriptor en Rutas Online.
 - Accede a los artículos de la revista, desde su primera edición en 1986, de manera sencilla y gratuita (los dos últimos años solo para suscriptores).
- Gracias a nuestro buscador avanzado en Rutas Digital



**Asociación Técnica
de Carreteras**

Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera





Innovar está en nuestros genes

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



REPSOL

Inventemos el futuro

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Más información en [repsol.com](https://www.repsol.com)