

RUTAS

Nº 155
ABRIL
JUNIO
2013



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

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral



EN PORTADA

Entrevista

D. Jorge Urrecho Corrales

Director General de Carreteras
Ministerio de Fomento

RUTAS TÉCNICA

- Diseño de la sección transversal de túneles de carretera bidireccionales
- Inspección de tirantes en puentes

NOTICIAS ATC

Comité Técnico de Seguridad Vial

Comité Técnico de Conservación

Comité Técnico de Vialidad Invernal

Próximos Cursos de la Asociación Técnica de Carreteras

AERCO

ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS
CONSTRUCTORAS DE OBRAS PÚBLICAS

AERCO

Raimundo Fernández Villaverde, 61
28003 Madrid
España

Tel. +34 914560646
www.aerco.es
aerco@aerco.es





04

Tribuna Abierta

03 Los Comités Técnicos de la ATC en el primer número monográfico de la Revista Rutas

Comité de Redacción de la Revista Rutas

En Portada

04 Entrevista a D. Jorge Urrecho Corrales

Director General de Carreteras, Ministerio de Fomento



30

Rutas Técnica

12 Inspección de tirantes en puentes

Inspection of stay cables on bridges

Patrick Ladret

30 Diseño de la sección transversal de túneles de carretera bidireccionales

Cross section geometry in bidirectional road tunnels design

Comité de túneles de carretera

Grupo de trabajo wg4: Sistemas de comunicaciones y geometría



52

Actividades del sector

52 Segunda edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos en Madrid (2013)

AIPCR / PIARC

58 Reactivar la asociación. Historia de AIPCR / PIARC (parte II)



58

Noticias y Cursos ATC

64 Comité Técnico de Seguridad Vial

64 Comité Técnico de Conservación

65 Comité Técnico de Vialidad Invernal

66 Próximos Cursos de la Asociación Técnica de Carreteras



64

Notas de Prensa

68 Una aplicación móvil que vela por la seguridad de los conductores, proyecto ganador de 'Tu Idea Conduce el Éxito'

70 La ATC también es noticia



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



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

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DIALNET · ICYT
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 de Redacción:

Presidente:
Roberto Alberola García

Directora Técnica:
Belén Monercillo Delgado

Vocales:	
José Alba	Tecniberia
Alfredo García	Universitat Politècnica de València
Federico Fernández	Dirección General de Tráfico
José María Izard	AERCO
Carlos Oteo Mazo	Catedrático de Ingeniería del Terreno
Sandro Rocci	Universidad Politécnica de Madrid
Manuel Romana	Universidad Politécnica de Madrid

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

Edición:
Directora de Edición:
Belen Monercillo Delgado
Redacción y Maquetación:
M^a José Sánchez Gómez de Orgaz
Victor Domingo Encinas

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

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

Foto Portada:
M^a José Sánchez Gómez de Orgaz

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

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

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

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

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

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



No 155 ABRIL- JUNIO 2013

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Los Comités Técnicos de la ATC en el primer número monográfico de la Revista Rutas

La Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), celebrada en noviembre de 2012, aprobó la propuesta del Comité de Redacción de la Revista Rutas para elaborar cada año un número monográfico que tratara desde una perspectiva amplia y en profundidad algún tema de interés para el sector de las carreteras.

En este primer número se ha elegido el tema de los Comités Técnicos de la ATC, que es una de las características diferenciales de esta Asociación Técnica. Esta publicación se ha concebido como una aportación técnica de calidad, con el objeto de divulgar la tecnología española en carreteras y mostrar la capacidad del sector empresarial para diseñar, construir y conservar las carreteras en los mercados internacionales, particularmente en los países hispanoparlantes.

El número monográfico se edita y distribuye, duplicando la tirada habitual de nuestra revista, durante la reunión del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica (DIRCAI-BEA), que reúne a las más altas Autoridades de las Administraciones de Carreteras de 22 países y que se celebrará en Madrid del 20 al 24 de mayo. También realizaremos un envío extraordinario en formato digital.

Hemos estructurado la publicación en cuatro apartados. En el primero se realiza la presentación de la Asociación Mundial de la Carretera, de la Asociación Técnica de Carreteras y se comenta la importancia de la transferencia de tecnología como base del conocimiento. También se introducen los Comités Técnicos de la Asociación Mundial de la Carretera y los Comités Técnicos españoles, que es el objeto fundamental de este número monográfico.

El segundo apartado se refiere a la administración y gestión de las carreteras de España, donde se muestra la planificación y gestión de las carreteras del siglo XXI, la innovación en carreteras, la tecnología en la gestión viaria y la transferencia en la ingeniería y construcción.

En el tercer apartado, los coordinadores de los Comités Técnicos españoles de la Asociación Técnica de Carreteras (Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano; Túneles de Carreteras; Vialidad Invernal; Firmes de Carreteras; Financiación; Puentes de Carreteras; Geotecnia vial; Seguridad Vial; Carreteras y Medio Ambiente y Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico), presentan sus objetivos, líneas de trabajo y aportaciones más significativas.

El cuarto y último apartado lo hemos destinado al sector empresarial español y su proyección internacional, con artículos sobre el diseño de carreteras, el sector de la construcción, el sector de las concesiones y la conservación y explotación.

Consideramos que la monografía representa una valiosa aportación para divulgar la excelencia de la tecnología española de carreteras y servirá para fortalecer la transferencia de tecnología y la cooperación de las empresas españolas en la planificación, diseño, construcción, conservación y explotación de las carreteras en los mercados internacionales.

El Comité de Redacción desea expresar su agradecimiento a los autores de los artículos, entre los que se encuentran algunos de los mejores profesionales de España; así como la contribución del Presidente de la Asociación Mundial de la Carretera, Oscar de Buen Richkarday, y del representante de los Comités Nacionales en el periodo 2005-2012, Friedrich Zotter.



Entrevista a

D. Jorge Urrecho Corrales Director General de Carreteras Ministerio de Fomento

La Redacción

D. Jorge Urrecho Corrales es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid, y funcionario de Carrera del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Cuando el Ministerio de Fomento le nombró en enero del 2012

Director General de Carreteras, D. Jorge Urrecho Corrales ocupaba el puesto de Ingeniero Jefe Municipal del Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón.

Además, ha desempeñado diversos cargos en la Administración Pública, como el de Consejero

técnico de la Dirección General de Carreteras en la Subdirección de Conservación y Explotación del Ministerio de Fomento, y el de asesor del Vicepresidente del Gobierno y Ministro de la Presidencia, así como del Ministro de Fomento, en el período de 1996 a 2004.

Desde enero de 2012 es Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento. ¿Qué ha supuesto para usted este nombramiento? Y algo más de un año después ¿qué balance puede hacer?

El balance es positivo, sin lugar a dudas. Estamos llevando a cabo una labor de saneamiento de la actividad de la Dirección General de Carreteras. Por ejemplo, en el año 2012 se han pagado 600 millones de euros de deuda en expropiaciones. En muchos casos se trataba de nuevas autovías o carreteras por las que ya estaban pasando vehículos, pero en las que los propietarios de las fincas ocupadas aún no habían recibido los justiprecios acordados. Esta situación fue fruto de una huida hacia adelante del final de la pasada legislatura, en lugar de acomodar la actividad de la Dirección General de Carreteras al escenario radicalmente diferente que supuso el recorte presupuestario de mayo de 2010, que es la labor que estamos acometiendo en estos momentos.

En este sentido, en 2013 continuamos la política de saneamiento y estabilización, y en los presupuestos generales del Estado se ha consignado una partida de 670 millones de euros destinada exclusivamente a seguir pagando deudas: de expropiaciones, liquidaciones de contratos, revisiones de precios, etc.

Ya fue asesor del Vicepresidente del Gobierno y del Ministro de Fomento entre 1996 y 2004, ¿ha cambiado mucho la gestión de las carreteras desde entonces?

Lo que han cambiado radicalmente son las circunstancias. A

pesar del impacto de la crisis de 1992, en el año 96 España ya crecía y lo haría aún más. Estábamos en una época expansiva, en la que uno de los principales problemas era lograr invertir con rapidez y eficacia el enorme presupuesto que se ponía a disposición del Ministerio de Fomento. En cambio, el marco administrativo y de gestión de las carreteras sigue siendo muy parecido al de aquel entonces.

En primer lugar, seguimos conservando una clara diferenciación

“Mirando hacia el futuro, al disponer de una Red de Carreteras que ha alcanzado un gran desarrollo, nuestra mirada debe ponerse fundamentalmente en conservar y explotar adecuadamente ese patrimonio ”

entre los gestores del “hardware”, la infraestructura, y los gestores del “software”, el tráfico. Éste es gestionado fundamentalmente por el Ministerio del Interior, a través de la Dirección General de Tráfico, o por las administraciones autonómicas de País Vasco, Navarra y Cataluña en estos territorios. En el ámbito de la gestión de la infraestructura, que es mi competencia en el caso de las carreteras estatales, están por un lado las autopistas de peaje, que se administra directamente por las concesionarias y cuyos recursos económicos se generan a través del cobro de

peajes. Por otro lado está el resto de la red estatal, que se gestiona directamente desde la Dirección General de Carreteras, con cargo al presupuesto público. No obstante, ya en 1996 el papel del Estado había pasado en gran medida de ser el hacedor directo, con su propio personal y medios, de todo tipo de labores relacionadas con las carreteras, al de gestor y supervisor de contratos públicos por medio de los cuales empresas privadas realizan la mayor parte de las labores de proyecto, construcción, conservación o mantenimiento de las carreteras estatales.

Quizá la principal novedad haya sido la introducción de los contratos concesionales de primera generación, mediante los que se han efectuado importantes obras de mejora en las autovías más antiguas, necesitadas de una mejora para equipararlas a las más modernas, al mismo tiempo que se encarga a las concesionarias el mantenimiento de estas infraestructuras durante 19 años, el plazo concesional. El pago a estas concesiones se efectúa mediante un peaje en sombra, una modalidad desconocida hasta ahora en las carreteras estatales.

¿Qué retos se plantea en esta nueva etapa?

Sin duda, el saneamiento de las cuentas de la Dirección General de Carreteras, y por otro lado la estabilización de nuestra labor tanto en el ámbito de la construcción de nueva infraestructura como de conservación de la existente, con el objetivo de adaptar nuestra actividad a los recursos que nos asignan los ciudadanos año en año a través de la ley de presupuestos aprobada en Cortes por sus representantes políticos.

En ámbito de creación de nueva infraestructura, estamos llevando

a cabo una labor de racionalización de los objetivos tanto a corto como a largo plazo. A corto y medio plazo, nuestros esfuerzos se centran en el cierre de itinerarios de autovías importantes, en la terminación de obras muy avanzadas o que generan sinergias con otras ya en servicio, o la potenciación de obras muy necesarias por ser alternativas a carreteras de alta siniestralidad. Otras obras, en cambio, deben posponerse porque actualmente no contamos con recursos para sostener el esfuerzo inversor que sería necesario. A largo plazo, nuestro trabajo se encamina, a través del instrumento de planificación adecuado que es el PITVI, hacia la detección de necesidades para definir la red de carreteras que deseamos alcanzar.

En cuanto a la conservación y explotación de la red existente, se está llevando a cabo un ajuste del modelo de conservación integral con el objetivo de racionalizar los recursos, manteniendo la calidad del servicio ofrecido a los usuarios.

“La Dirección General de Carreteras realiza una labor constante de revisión de su normativa a las nuevas exigencias, ya sea para observar la legislación de la Unión Europea, ya para actualizarla al estado del arte ”

Mirando hacia el futuro, al disponer de una Red de Carreteras que ha alcanzado un gran desarrollo, nuestra mirada debe ponerse fundamentalmente en conservar y explotar adecuadamente ese patrimonio y en realizar actuaciones

puntuales allí donde se necesiten: cierre de itinerarios, variantes de población, mejoras de capacidad, actuaciones de seguridad vial,... todo ello con un estricto criterio de eficiencia y con el objetivo de dar el mejor servicio posible a los usuarios de la carretera.

Precisamente, usted despidió el pasado 12 de junio la celebración de la entrega de Premios ACEX a la Seguridad y Conservación, en el que comentó lo siguiente: “Cuando salgamos de la crisis será difícil volver a los anteriores niveles de inversión”, entonces ¿cuál es el futuro de las carreteras en España? ; ¿qué tipo de gestión y qué estrategias habrá que acometer?

Resulta evidente para todos que el ritmo de inversión en obra pública en general, y en carreteras en particular, ha sido enorme durante 25 años, prácticamente sostenido desde 1985 hasta 2010, con el bache de la crisis del 92.



D. Jorge Urrecho Corrales en su despacho del Ministerio de Fomento. FOTOGRAFÍA: M.J. Sánchez.

Estos 25 años han supuesto un enorme salto para las infraestructuras. Si abriéramos un mapa de carreteras de mediados de los 80 y lo comparáramos con el actual apenas si podríamos reconocer España por el perfil de su costa, pues de una red de gran capacidad incipiente se ha pasado a una auténtica malla de autovías y autopistas.

Este crecimiento no puede ser indefinido. Por ello, aun cuando la situación económica fuera positiva, continuar sosteniendo el mismo ritmo inversor carecería de sentido. Lo que estaríamos haciendo exigir a los ciudadanos, a través de los impuestos, un esfuerzo económico que estaríamos detrayendo de otras actividades que podrían ser más necesarias. En definitiva, existen carencias e infraestructuras de carreteras por hacer, pero la tendencia inexorable será concentrar nuestra actividad hacia la mejora y mantenimiento de la infraestructura ya construida.

Como ya he dicho nos encontramos con una red de carreteras suficiente para cubrir las demandas de transporte y comunicación en el territorio y debemos poner mayor énfasis en conservar adecuadamente el patrimonio y mejorarlo en lo posible, de acuerdo a las necesidades de aumento de demanda de tráfico, seguridad vial, servicios al usuario.

También afirmaba en este acto que “una vez que tenemos una red de carreteras madura, tenemos claro que el Ministerio de Fomento debe enfocarse a la conservación”. ¿Cómo se afronta la gestión de la conservación en estos momentos de crisis?

Como sabe, las labores de mantenimiento de la vialidad, incluida la invernal, la vigilancia de

“Como no podemos esperar a que los contratos en vigor vayan venciendo para llevar a cabo los ajustes necesarios, hemos procedido a modificar los contratos de conservación integral vigentes, reorganizando medios y operaciones para ajustar los costes, sin por ello afectar a los objetivos esenciales de conservación ”

la carretera y las tareas de conservación ordinaria, así como otras labores ligadas a la explotación, se llevan a cabo en la Dirección General de Carreteras a través de contratos de servicios denominados de “conservación integral”. En estos momentos estamos ajustando un modelo exitoso, pero que requiere una adaptación a la situación económica actual.

Para ello, en primer lugar aspiramos a reducir de 160 a 139 el número de sectores de conservación en que está dividida nuestra red, lo que se logrará mediante la fusión o la reorganización de una parte de la división actual de sectores. De esta manera habrá sectores que atenderán una mayor longitud de red, por lo que se aprovecharán las economías de escala para reducir costes sin que afecte a la calidad del servicio.

Como no podemos esperar a que los contratos en vigor vayan venciendo para llevar a cabo los

ajustes necesarios, hemos procedido a modificar los contratos de conservación integral vigentes, reorganizando medios y operaciones para ajustar los costes, sin por ello afectar a los objetivos esenciales de conservación

Por último, se han elaborado nuevos pliegos de contratación para adaptar el modelo de conservación integral a la nueva situación, dotándoles de mayor flexibilidad, con el objetivo de que las empresas presenten ofertas más competitivas y más baratas para la Administración.

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

Destacarían especialmente la A-8, autovía del Cantábrico. Estamos muy cerca de que un conductor pueda atravesar toda la cornisa Cantábrica, desde Hendaya hasta A Coruña, por una vía moderna de gran capacidad. En esta legislatura hemos puesto en servicio en Galicia el tramo Lourenzán – Mondoñedo. En Asturias, se han puesto en servicio en 2012 y a lo largo de 2013 los tramos Navia – Tapia de Casariego, San Roque del Acebal – Llanes, y Muros de Nalón – Las Dueñas, donde destaca el formidable viaducto de La Concha de Artedo, el puente más alto y largo del Principado. Trabajamos con el objetivo de finalizar en 2013 todos los tramos que restan tanto en Galicia como en Asturias, con la excepción del tramo entre Unquera y Pendueles, que habrá de esperar a 2014.

Otro de los grandes retos que tenemos entre manos es la conclusión de la autovía del Mediterráneo en Granada, donde estamos afrontando grandes problemas ingenieriles por atravesar una orografía

accidentada combinada con la mala calidad geotécnica del terreno. Como en el caso de la autovía del Cantábrico, pero en este caso con un poco más de espera, estamos muy cerca de que un conductor pueda recorrer la costa Mediterránea desde La Jonquera hasta Algeciras por autopista o autovía.

Por su singularidad, también destacaría el puente atirantado de sobre la bahía de Cádiz, que dotará a esta ciudad con un nuevo acceso, a cuya finalización hemos dado el espaldarazo definitivo. Durante esta legislatura se ha empujado en su práctica totalidad el viaducto de acceso desde el lado de la ciudad de Cádiz, se ha avanzado significativamente en el nudo de San Pedro, se han coronado los dos pilonos con las estructuras que albergarán los cables del tramo atirantado, y en los próximas semanas espero que los ciudadanos de Cádiz puedan comprobar como el tablero del viaducto va tomando forma según se vayan izando y ensamblando las dovelas que lo constituyen colgadas de los tirantes que lo sustentarán.

Otros tramos que hemos puesto en servicio o que pondremos en servicio a lo largo de este año son el tramo de Alcalá de Guadaíra en la Circunvalación SE-40, el Acceso Sur de León, el tramo Tiermas- L.P de Navarra de la A-21, el tramo Tarragona-El Morell de la A-27, el tramo Valladolid – Aeropuerto de Villanubla de la A-60.

Otra de las importantes actividades que realiza esta Dirección es todo lo relacionado con la normativa, su creación, su adaptación a la normativa europea, etc., ¿Qué destacaría de lo que actualmente está realizando?

Destacaría la revisión de la Ley de Carreteras, que ya tiene casi un cuarto de siglo, y que debe adap-

tarse para reflejar los cambios producidos, por ejemplo, el enorme desarrollo de las autonomías, que cuando se promulgó la ley anterior no habían alcanzado el peso actual. Por otra, apostando por una racionalización y simplificación de los procedimientos administrativos.

Por otro lado, la Dirección General de Carreteras realiza una labor constante de revisión de su normativa a las nuevas exigencias, ya sea para observar la legislación de la Unión Europea, ya para actualizarla al estado del arte. Entre la normativa en la que se está actualmente trabajando destacaría por su importancia la

“En España tenemos el ejemplo de concesiones que han funcionado bien, pues han contribuido a crear unas autopistas que hubiera sido complicado afrontar en su día directamente mediante recursos públicos ”

de medios auxiliares de obra, seguridad de túneles, señalización y balizamiento, o varios artículos del pliego de prescripciones técnicas generales de obra.

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

A corto plazo, no creo que la

situación mejore, pero tampoco que empeore porque los grandes ajustes en el sector de las carreteras, al menos a nivel estatal, ya se han realizado. Tanto constructores como consultores están llevando a cabo una labor encomiable de búsqueda de nuevos mercados, que es actualmente lo que nos corresponde hacer: exportar nuestra técnica, experiencia y nuestro buen hacer acreditado en la formidable red de carreteras que hemos construido para ayudar a otros países en el desarrollo de sus redes. Desde la Administración estamos comprometidos en ayudarles en este proceso.

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

Toda colaboración público-privada busca que cada uno de los participantes aporte lo mejor de sí mismo. Se persigue así una mejor gestión, una posibilidad de mayor financiación que permita adelantar la puesta a disposición de los usuarios de un tramo de carretera, pero todo ello con una estricta sujeción a los criterios marcados por la unión Europea en cuanto a contabilidad, para evitar entorpecer la senda de contención del déficit.

En mi opinión es vital un reparto de riesgos equitativo entre administración y empresas mediante contratos equilibrados. Para ello se debe fomentar



otras autopistas de reciente construcción. Creo, por lo tanto, que la concesión de autopistas de peaje es una alternativa a considerar, más en estos tiempos de dificultades presupuestarias, pero para ello es necesario un detallado análisis de las condiciones que las pueden hacer rentables.

En mi opinión, en el caso de carreteras estatales, veo difícil que se desarrollen nuevos proyectos de concesión "pura", en el que la concesionaria construye una autopista que es sostenida íntegramente por los usuarios mediante el cobro de peajes. Esto se debe a que los itinerarios de mayor demanda, y por tanto de mayor rentabilidad, se han desarrollado ya.

Caben en cambio otras situaciones intermedias, de colaboración público - privada, en el que el Estado podría aportar parte de la inversión inicial para financiar parcialmente unas infraestructuras que de otra forma no serían rentables si fueran sostenidas exclusivamente por los usuarios.

¿Cree que se debía de incrementar, y si es así, cómo la colaboración entre las diferentes administraciones de Carreteras?

La colaboración es siempre necesaria y es, también, siempre positivo incrementarla. En términos generales tenemos una buena relación con el resto de administraciones de Carreteras. Todas las administraciones, en definitiva, perseguimos un objetivo común y todas hemos tenido que ir adaptándonos a las nuevas circunstancias económicas.

Evidentemente, a la administración central le corresponde el desarrollo de los itinerarios de interés general, es decir, las arterias que sirven al tráfico de largo recorrido para comunicar las distintas

la competencia entre empresas durante la fase de ofertas para lograr un precio justo para la administración, en definitiva para el ciudadano. Por otro, se debe premiar o castigar la eficacia en el logro de objetivos durante la vigencia del contrato, lo que se puede fomentar vinculando fuertemente la retribución que el contratista perciba de la administración a la consecución de indicadores de calidad o prestación del servicio cuantificables y objetivos.

¿Qué opinión tiene sobre la figura de las concesiones? ¿Es usted partidario de ella? ¿Qué ejemplos nos puede dar que la justifiquen?

En España tenemos el ejemplo de concesiones que han funcionado bien, pues han contribuido a crear unas autopistas que hubiera sido complicado afrontar en su día directamente mediante recursos públicos. Otras no han funcionado tan bien, como estamos comprobando en las radiales de Madrid y



regiones españolas. A otras administraciones, como comunidades autónomas, ayuntamientos o diputaciones le corresponde la titularidad de otras vías que, al extenderse como capilares, dotan de cohesión y accesibilidad a todo el territorio. En definitiva, las redes carreteras están jerarquizadas y para que funcionen correctamente se deben establecer unas conexiones apropiadas entre la red estatal y la de otras administraciones, pues no tiene sentido la una sin las otras, lo que requiere de colaboración.

Incluso a veces la jerarquización de la red no es tal y coexisten varias funciones. Por ejemplo, a pesar de que en nuestras carreteras intentamos servir fundamentalmente al tráfico de largo recorrido, las autovías estatales soportan al acercarse a las grandes ciudades el tráfico de corto recorrido entre ciudades dormitorio y los respectivos centros metropolitanos. La coor-

dinación con comunidades autónomas o ayuntamientos, con competencias directas en materia de transporte público, se hace esencial en estos casos.

Por otro lado, también existen redes autonómicas que captan tráficos de largo recorrido. Ejemplos claros de ello son la autovía A-92 en Andalucía, la autovía A-23 entre Burgos y León, o el eje transversal catalán. Cualquier decisión de estas comunidades en relación, por ejemplo, con la implantación de un peaje en estas infraestructuras, actualmente de uso gratuito, repercutiría inmediatamente en la red estatal. La coordinación entre administraciones es obligada.

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

Creo que la labor que se realiza desde la Asociación Técnica de Carreteras es muy importante, constituye un vehículo para el desarrollo y el intercambio de conocimiento y experiencia entre expertos profesionales en cada materia, no solo a nivel nacional mediante los Comités Técnicos Nacionales, sino también a nivel internacional mediante su apoyo a los Comités Técnicos Internacionales de la Asociación Mundial de la Carretera, a la que pertenece. Ésta por su parte, de la que tengo el honor de ser Primer Delegado de España, constituye un importante foro de cooperación internacional para el desarrollo y la mejora de todo aquello relacionado con las carreteras. Es un privilegio para nuestros técnicos poder conocer de primera mano las técnicas y mejores prácticas del resto de países del mundo, y no lo es menos poder conocer también cuáles son sus retos y necesidades y poder contribuir a su solución difundiendo la experiencia española.❖



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)

Inspección de tirantes en puentes



Inspection of stay cables on bridges

Patrick Ladret
Ingeniero E.N.T.P.E.
Freyssinet S.A. Director técnico

Resumen

El presente artículo trata de la inspección de los tirantes. Tras un breve descripción de los principales elementos que forman un tirante, se indican los objetivos y alcances de la inspección de los tirantes. Estos son función de la agresividad del ambiente, de la vida útil del tirante o de sus componentes. Estos elementos forman parte del plan de inspección que se describe para obras nuevas como obras existentes en base a las frecuencias (inicial, rutinaria, principal) y contenido de la inspección (inspección visual sobre el estado y comportamiento, inspección con extracción y análisis de muestras). Para ayudar a la comprensión del plan de inspección, se describen las principales sollicitaciones (mecánicas, ambientales) que son causas de envejecimiento del tirante, como se manifiestan y cuales son las consecuencias en los componentes de los tirantes. Se describen los métodos de inspección y se describen los medios requeridos para acceder y extraer el muestreo correspondiente, tal como la medición de fuerza, la medición de vibración, la medición de la corrosión. A continuación, se describe el plan de mantenimiento que debe englobar la inspección, el listado de defectos tipo y sus métodos de corrección con la planificación de las actuaciones. A modo ilustrativo se describen las inspecciones y/o mantenimiento en algunos ejemplo concretos.

PALABRAS CLAVES: inspección, mantenimiento, tirante, anclajes, vainas, cordones, medición de fuerza, medición de la corrosión.

Abstract

This paper describes the inspection of stay cables on bridges. After a brief review of the stay cable components, we describe the objective and scope of work of the inspection which are function of the aggressiveness of the environment, the life span of a stay cables or its components. These elements constitute part of the inspection manual which is explained for both new and existing structure in base of the frequency (initial, ordinary, main inspection) and the content of the inspection (visual inspection on the state and the behavior of the components, inspection with the extraction of samples). In order to ease the understanding of the inspection plan, the main sources of sollicitation are described (mechanical, ambient), which are provoking the ageing, how it manifests and what are the consequences on the stay cable components, The inspection techniques are described as well as the access equipments, tools to extract the samples, such as the force measurement, the vibration measurement, the corrosion measurement. Then the maintenance plan is described, it must enclose the inspection, the type list of defects and the correction methods employed to cancel them, with the schedule of the operations. In order to illustrate the article some example of inspection are finally described.

KEY WORDS: inspection, maintenance, stay cable, anchorages, ducts, strands, force measurement, corrosion indicators.

1. Introducción

La durabilidad de un cable, al igual que la de cualquier otro elemento estructural, se entiende como su capacidad para ser mantenido por debajo de un nivel de envejecimiento aceptable durante un tiempo determinado y a un coste razonable.¹

Sin embargo los cables de las estructuras colgantes y atirantadas deben considerarse un elemento particular y especial, tanto desde el punto de vista de la inspección como del mantenimiento. Su durabilidad se ve afectada negativamente por muchos factores difíciles de considerar en su globalidad y temporalidad tales como:

- Son elementos activos de la estructura, sometidos continuamente a cargas variables,
- Generalmente forman parte de estructuras complejas por su importancia en el tráfico, o por los condicionantes ambientales (salvan grandes luces, vías, ríos, estrechos, etc.)
- Son sensibles a los agentes climáticos, rayos UV (envejecimiento), aguas de condensación o lluvia (corrosión), viento (vibraciones y cargas dinámicas),
- El conocimiento del comportamiento de los cables se ha adquirido en los últimos decenios y es un campo de investigación activo,
- La tecnología de los tirantes está evolucionando continuamente, al tratarse de un campo de aplicación reciente.

Este documento se apoya ampliamente en las recomendaciones vigentes, que se recogen en el apartado de bibliografía, especialmente el "Manual de tirantes" editado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y la ACHE y las "recommendations for the acceptance of stay cable systems, using prestressing steels" de la FIB.

El documento se centra principalmente en los puentes atirantados al tratarse de la tipología de cables más frecuente en España. Sin embargo gran parte de los principios son de aplicación en puentes suspendidos u otras estructuras cableadas.

2. Consideraciones generales sobre las estructuras cableadas

2.1. Tecnologías de cable

Existen diversos sistemas, fruto del continuo desarrollo en que se encuentra la tecnología de cables. Hoy en día, el sistema de cordones paralelos autoprotegidos está reconocido por todas las recomendaciones internacionales como el más adecuado para puentes atirantados en términos de prestaciones, durabilidad y facilidad de inspección y mantenimiento. Sin embargo, en otro tipo de estructuras se siguen empleando el resto de tecnologías: cable principal en estructuras suspendidas, péndolas, tirantes en cubiertas, etc.

Las tareas de inspección y man-

tenimiento variarán en función de la tipología de los tirantes. Así, la inspección de los cables inyectados tendrá unas necesidades específicas completamente distintas a las de un cable helicoidal desnudo o unos cordones autoprotegidos enfundados en vaina PEAD.

2.2. Composición típica de un tirante

A efectos del diseño de los cables y de la inspección se pueden distinguir las zonas principales:

- partes de estructura colindantes al cable o que el cable atraviesa (tubo de encofrado, placas de apoyo, conexiones y horquilla)
- anclajes: extremidades y conexión del cable a la estructura (para esfuerzos axiales) / sillas de desvío: fijas o móviles,
- longitud libre del cable,
- tubos guía y zonas de filtro de esfuerzos radiales (desviadores, centradores, amortiguadores),
- tubos antivandalismo y protección de la sección de cable frente a acciones a nivel de calzada.

Las 2 últimas partes citadas se denominan generalmente zonas de transición.

El acceso a las zonas de anclaje que se encuentran en el interior del pilono, que lo atraviesan, así como las zonas de anclaje inferior (por debajo del tablero) requiere generalmente medios especiales.

Gran parte de los elementos estructurales del tirante se encuentran protegidos (mediante capot, vaina o sistemas de protección) o ocultos (anclajes embebidos, sillas de desvío, cámaras de anclaje), por lo que la inspección principal de carácter visual se revelará insuficiente y deberá ser completada por visitas especiales conducidas por un personal especializado.

¹ p177, Recomendaciones y Manuales Técnicos. Estructuras y Edificación, E-12 Manual de tirantes.

Tabla 1

	Elementos de protección	
	Vaina	Inyección
Cordones paralelos autoprotegidos	SÍ / NO	NO
Cordones paralelos	SÍ	SÍ
Hilos paralelos	SÍ	SÍ
Cable cerrado	NO	NO
Cable helicoidal	NO	NO
Barra o grupo de barras	SÍ	SÍ / NO

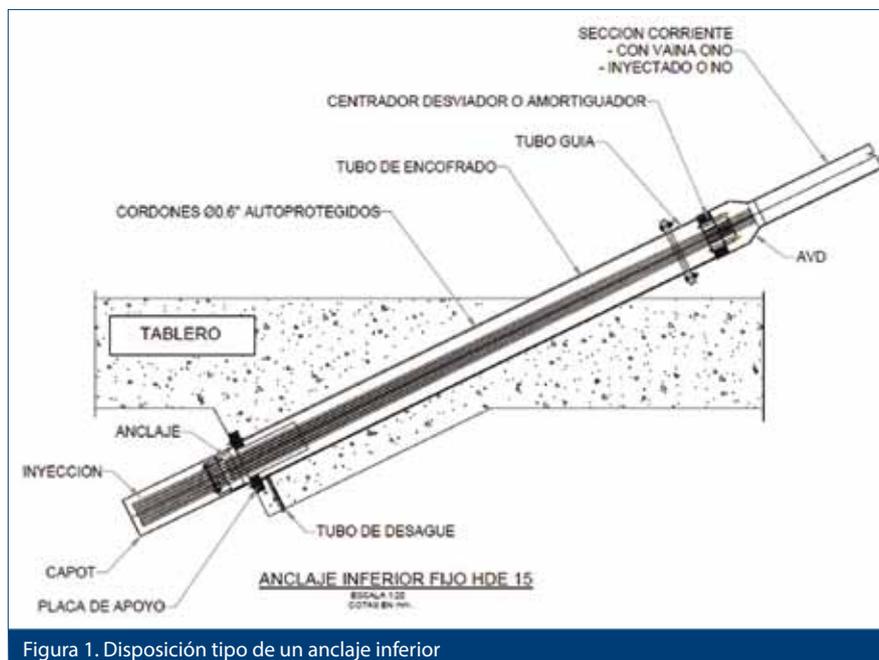


Figura 1. Disposición tipo de un anclaje inferior

2.3. Vida útil de un tirante

La vida útil de un tirante es el tiempo que permanece en servicio con el mantenimiento rutinario previsto. La vida útil de los tirantes se fija normalmente mediante un contrato entre la propiedad y el contratista.

Todos los códigos establecen la vida útil de los puentes en 100 años. Pero el tirante condiciona por su función el comportamiento estructural y por lo tanto la vida útil de la estructura. Por ello un tirante no reemplazable debe tener una vida útil al menos igual a la de la estructura. En el caso de tirantes reemplazables, la vida útil puede ser inferior a la de la estructura, pero por la complejidad de la operación de sustitución se recomienda que en ningún caso la vida útil sea inferior a 25 años.

Hoy en día los tirantes de cordones paralelos autoprotegidos ofrecen una vida útil de diseño de 100 años. La FIB establece también esos 100 años. Para justificar esta vida útil de diseño las recomendaciones establecen un programa de calificación que consta de ensayos a escala real de un conjunto representativo. Además, estructuralmente, se comprueba que la pérdida / rotura de un tirante no provoque el colapso

de la estructura y los elementos de conexión a la estructura no se dañen de forma irreversible con el objeto de limitar el impacto económico de este daño sobre la estructura.

De forma práctica, pero no exhaustiva, considerar la vida útil en el diseño debería resolver los siguientes interrogantes:

- Declaración de la vida útil de servicio de la estructura por parte del dueño,
- Definición de la vida útil de diseño del tirante y de sus componentes, con el objeto de minimizar el coste global de vida de la estructura, puesto que la vida útil de diseño puede ser intencionalmente inferior a la de servicio. En este caso, los medios de inspección, accesibilidad, redundancia en el diseño deben ser contemplados para poder cuantificar todos los impactos técnico y económicos del mantenimiento (inclusive la sustitución parcial o total de los componentes según su declaración de vida útil de diseño) requerido para compatibilizar la tecnología de tirante con la vida útil de servicio de la estructura.
- Calificación de la agresividad del ambiente, bien sea para estructuras de hormigón o de acero (a

modo de ejemplo para estructuras de hormigón la norma EN-206-1 o su aplicación nacional tabla 8.2.2 de la EHE 08),

- Evaluación de los riesgos especiales (heladas, vientos) o exposiciones particulares (polución atmosférica),
- Definición de la vida útil de las protecciones contra la corrosión en las condiciones reales de uso según los 2 puntos anteriores,
- Accesos para realizar la inspección y mantenimiento,
- Simulacro y metodología de sustitución parcial (componentes).
- Empleo de sistemas de tirantes calificados y ensayados según las recomendaciones en vigor.

A modo de ilustración de este último punto, las recomendaciones en vigor, preconizan las siguientes calificaciones que sirven como herramientas para justificar la vida útil de diseño:

- Ensayos de fatiga frente a acciones axiales y radiales simulando la flexión del cable en las zonas de anclaje,
- Evaluación de las medidas de reducción de la flexión en las zonas de anclaje y en las zonas de transición: estáticas en construcción y servicio (filtros de flexión), dinámicas en servicio (incorporación de amortiguadores, cables transversales),
- Ensayo de estanquidad de las zonas de anclaje, concierne principalmente a los tirantes de cordones para los cuales la barrera exterior (funda de PEAD) debe ser retirada y está sustituida por un recinto de anclaje estanco,
- Justificación de la durabilidad de la protección contra la corrosión de los anclajes con ensayos de envejecimiento,
- Justificación de la durabilidad de los vainas de cubrición empleadas en la longitud libre,
- Justificación de la durabilidad de las capas de protección de la armadura en su longitud libre.

3. Plan de inspección

3.1. Objetivos de la inspección

Como queda definido en el Manual de Tirantes², la inspección de los tirantes tiene 2 objetivos principales:

- Saber la fuerza a la que está sometido el tirante,
- Conocer la existencia y alcance de daños en los elementos que componen el tirante.

Esto es, conocer el estado, funcionalidad y seguridad actual de los tirantes, detectando las anomalías, previendo su comportamiento futuro, así como las posibles actuaciones de reparación.

A estos puntos deberíamos añadir: el conocimiento de la evolución del perfil geométrico de la estructura, y la medición de los parámetros ambientales (por lo menos temperatura) puesto que la evolución de fuerza indica una evolución del comportamiento de la estructura.

En el caso de un tirante, al igual que cualquier mecanismo, conviene relacionar y concertar objetivos de inspección y mantenimiento preventivo con el objeto de maximizar, para todos los componentes que forman el tirante, el tiempo que permanecen por debajo del umbral de propagación de un particular daño. Por lo que a nuestro entender, el plan de inspección y el mantenimiento preventivo van generalmente unidos.

En la fase de proyecto se debe establecer un Programa de inspección y manual de mantenimiento en el que se definen:

- los tipos de inspecciones, sus alcances, la periodicidad, los porcentajes de componentes a inspeccionar, así como los rangos esperables de las magnitudes a controlar y los valores de aviso y alerta.
- Las instrucciones de inspección: medios necesarios, accesos y equipos de seguridad, etc.



Figura 2. Extracción y sustitución de un cordón en el puente de Normandía (año 1999),

- Las instrucciones de mantenimiento preventivo que acompañan las inspecciones para contener y reducir el deterioro de los componentes por debajo de un umbral de deterioro "no reversible".

3.2. Plan y tipos de inspección para obras nuevas

Nos vamos a referir, por ser la más completa, con la distinción que la FIB³ realiza de las inspecciones de tirantes.

- Inspección inicial, realizada al finalizar la construcción y antes de entregar la estructura al propietario. Debería incluir un replanteo de la alineación de la superestructura, un registro de las fuerzas reales de cada tirante, y los períodos críticos de vibraciones en tirantes, reflejando las condiciones ambientales en el momento de realizar esta inspección.
- Inspección rutinaria, que forma parte de las inspecciones generales del puente desarrolladas una vez al año, o cada dos años como mínimo. Generalmente se limita a una inspección visual, sin necesidad de elementos auxi-

liares, excepto prismáticos, para permitir la inspección de la parte de cable que no se encuentra sobre el tablero. Se trata de una inspección con controles de carácter cualitativos:

- Posición y estado aparente de los tirantes: longitud libre, soldaduras, desviadores, amortiguadores, tubos antivandálicos, etc.
- Vibraciones anómalas en cables,
- Signos de deformación, fisuras, manchas en los capot de anclaje y placas.

- Inspección detallada. Se aconseja realizarla cada 3-6 años. En ella se deben inspeccionar entre el 25% y el 50% de los componentes a fin de que en 12 años todos los componentes hayan sido inspeccionados. Esta inspección debe ser realizada por personal especializado y serán necesarios una serie de medios auxiliares. Generalmente será

² p184, Recomendaciones y Manuales Técnicos. Estructuras y Edificación, E-12 Manual de Tirantes.

³ Capítulo 8, de la Recommendations for the acceptance of stay cable systems using prestressing steels de la FIB



Figura 3. Corrosión en el exterior del capot



Figura 4. Purgas de tubo de encofrado con presencia de corrosión

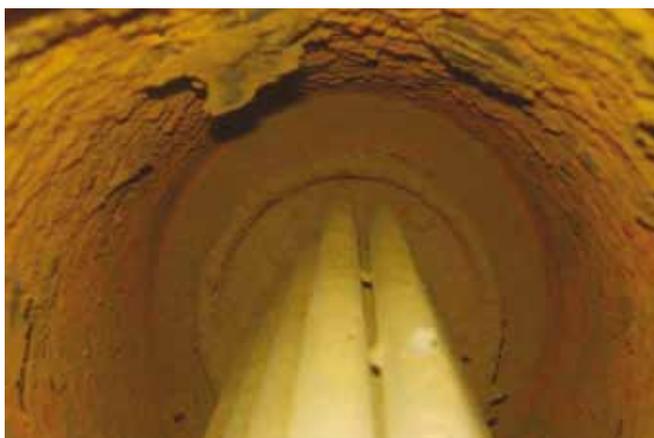


Figura 5. Corrosión de la cara interior de tubo de encofrado no galvanizado



Figura 6. Erosión de pintura en tubos antivandálicos por proyección desde la calzada

necesario retirar ciertos componentes protectores (capots, tubos antivandálicos, vaina, etc) para poder realizar la inspección. Además de los puntos señalados en una inspección rutinaria, una inspección detallada debe incluir los siguientes aspectos:

- Inspección de los capot de anclaje para revisar la presencia de agua, o degradación del material de relleno,
- Detección de corrosión en las partes expuestas de la armadura tesada una vez retirados los capots,
- Estado de las conexiones en las zonas de transición: tubo antivandálico, conexiones de tubo guía, uniones atornilladas, uniones soldadas,
- Estado de los sistemas de drenes en las zonas de anclaje y de transición,
- Daños en la longitud libre: en la capa de protección del cable (pintura, galvanizados), en la vaina de cubrición,
- Estado de desviadores, centradores, amortiguadores (si procede),
- Estado de los cables transversales (si procede),
- Control de los desvíos angulares entre los anclajes, el cable y la zona de conexión a la estructura.

Como complemento a los datos objeto de la examinación, la inspección detallada puede recurrir a:

- métodos de inspección y de medición no destructivos para calificar la corrosión, detectar las fisuras o roturas de armadura activa,
- Medición de la fuerza de los cables que se debería acompañar de un control topográfico de la estructura,

- medición del amortiguamiento intrínseco de los cables (con y sin amortiguador),
- Desmontaje, extracción de muestreo para verificar el envejecimiento de los materiales: en este caso la sustitución parcial de los componentes es recomendada frente a la extracción de las protecciones en zonas restringidas y reparación in situ (en el caso particular del cordón por ejemplo).

- Inspección excepcional. Se realiza tras un accidente, catástrofe natural o acto de vandalismo. De igual manera se realizarían si durante una inspección rutinaria o detallada se detectaran daños importantes. Realizada por personal especializado, el programa de la inspección se adaptará en función del evento específico que haya provocado la inspección.



Figura 7. Daños en faldón de conexión entre vaina y tubo guía



Figura 8. Protección contra la corrosión dañada. Péndolas del puente de las Américas . Panamá



Figura 9. Rotura de vaina de cubrición, falla de lechada y corrosión de los hilos paralelos



Figura 10. Filtración de agua, expansión de lechada, rotura de vaina y corrosión de los cordones

3.3. Plan y tipos de inspección para obras antiguas

Nos vamos a referir, a puentes en servicio para los cuales no se ha aplicado, desde su entrega y puesta en servicio, un plan de inspección.

En este caso todos los conceptos siguen viables, pero la Inspección inicial o punto "cero" va a revestir un carácter de inspección detallada.

A los trabajos de examinación física en obra, se deben sumar unos trabajos previos de compilación de datos como:

- Planos de obra,
- Estadio final de la obra ejecutada (proyecto modificado),
- Histórico de modificaciones y eventos extraordinarios que se produjeron entre la puesta en servicio.

Por otra parte, esta inspección pone de manifiesto generalmente una serie de deterioros que están en fase de gestación o en fase de

propagación. Por esto, el informe de inspección debería además ser acompañado de un plan de inspección y mantenimiento que incorpore las medidas correctivas a llevar a cabo para restablecer un nivel de seguridad aceptable al tirante, permitiendo restablecer o alcanzar, en parte, la vida útil de diseño.

3.4. Catálogo de principales. Criterios de inspección de los tirantes

3.4.1. Envejecimiento técnico de los tirantes

El Manual de tirantes define el envejecimiento técnico como la acumulación de daños de los materiales empleados⁴. Los daños más habituales son:

- Fatiga de los materiales,
- Corrosión de los aceros,
- Desgaste,
- Deterioro de protecciones super-

ficiales,

- Deterioro de los materiales de sellado,
- Deterioro de los materiales de relleno,
- Envejecimiento de los plásticos,
- Deterioro de los materiales compuestos.

Tienen como causa:

- Las sollicitaciones mecánicas:
 - Dinámicas que se deben principalmente a la variación de fuerza axial combinada a una variación angular del tirante en sus extremos,
 - Las flexiones estáticas debidas a errores de implantación del anclaje en la estructura con la consiguiente desviación angular.

⁴ p178, Recomendaciones y Manuales Técnicos. Estructuras y Edificación, E-12 Manual de tirantes.



Figura 11. Exceso de desvío en haz de tirante



Figura 12. Corrosión y reducción de sección por resqueijo y roce

- Las solicitaciones medio ambientales: como el viento, lluvia, radiación solar, variación térmica, ambientes agresivos por la ubicación de la estructura o por su condición de uso,
- Las solicitaciones excepcionales debidas al uso: vandalismo, agresiones, incendios.

Se pueden distinguir los criterios de inspección sobre las distintas funciones del cable: resistencia del cable, durabilidad (protección contra la corrosión, fatiga, envejecimiento de los materiales, etc.) y control de los fenómenos de vibración. A continuación se recogen los principales deterioros y anomalías que se pueden encontrar durante la inspección de los tirantes.

3.4.2. Deterioro de la protección contra la corrosión:

- Degradación de los capots: protección contra la corrosión, sella-

dos, fugas de grasa, cera mineral, presencia de agua en las zonas de capot inyectados),

- acumulación de aguas en zonas de capot, tubos de encofrado (los que guían el tirante a través de la estructura), desagües,
- degradación de la galvanización o pinturas contra la corrosión de las zonas colindantes (placa de apoyo, tubos de encofrado, tubos guía, tubos antivandalismo), acumulación de aguas por fallo de los desagües,
- degradación en las zonas cercanas a la calzada: por proyección de aguas, nieblas salinas, abrasión por proyecciones desde la calzada, desgastes por roces y contactos, daños por impactos,
- degradación de los fuelles sintéticos de sellado entre zona corriente de cable y tubos de encofrado, degradación del tapón de estanqueidad en cabeza

de tubo antivandálico (en haces de cordones paralelos sin vaina exterior) y otros elementos que previenen la entrada de agua en la parte inferior del cable, falta de remaches en tubos antivandálicos,

- aspecto, color de la vaina exterior o de la capa de pintura,
- degradación de la protección por pintura, breas que cubren los cables de acero,
- degradación de las cintas de cubrición de haces de acero o vainas (wrapping),
- degradación de los plásticos (polietileno, polipropileno) que forman la vaina (microfisura o cortes),
- rotura de la vaina y de la lechada por corrosión interna como resultado de la entrada de agua en cables inyectados



Figura 13. Rotura de hilos periféricos con reanclado



Figura 14. Pistones de elastómeros reptados fuera del tubo de encofrado por oscilaciones del tirante.



Figura 15. Pasarela inferior motorizada en el puente de Arade – Portugal



Figura 16. Camión con plataforma de acceso inferior telescópica – Puente Vasco de Gama – Portugal

3.4.3. Deterioros que afectan a la función resistente:

- corrosión y reducción de la sección. En este aspecto se deben distinguir las secciones de tirante compuestas de cordones paralelos protegidos, secciones de cordones inyectadas de lechada de cemento y secciones monolíticas de cable como cables trenzados o cerrados donde la circulación de agua en los intersticios entre hilos al interior del cable es posible. Para estos últimos, como consecuencia del trazado rectilíneo de un tirante la corrosión es poco probable en toda su longitud pero se puede concentrar en las zonas cercanas a los anclajes inferiores.
- rigidez y pérdida de fuerza: aumento de la catenaria, variación del perfil longitudinal (indicando una redistribución de carga entre los tirantes).
- alineación incorrecta de los cables (cambio de inclinación del cable en las zonas de anclaje), que provoca la fatiga en las zonas de transición anclaje-longitud libre.
- Contactos y roces con los elementos de conexión, tubos,... que provocan resquicios, propagación de fisura por fatiga en la sección de cable.
- deterioro de las uniones atornilladas (tornillos sueltos o falta de tornillos) en uniones de tubos

guía y tubos de encofrado, en los desviadores y centradores,

- verificación de las soldaduras y uniones de tubos de encofrado a paramento de tablero o pilono.

3.4.4. Degradación por fenómenos aerodinámicos (vibraciones):

- oscilaciones (que afectan al confort del usuario),
- generan fenómenos de fatiga de la sección corriente del cable, en particular en las zonas de conexión y puntos singulares,
- daños por golpes entre cables y elementos auxiliares como tubos, centradores, ...generan rotura y desprendimiento de elementos de conexiones.

3.5. Informes de inspección

La documentación que deberá producir la inspección de una estructura atirantada deberá incluir como mínimo:

- fecha de la inspección, nombre de los inspectores,
- programa de inspección,
- datos recuperados durante la inspección como resultado de la observación, de la medición, de la lectura de los sistemas de auscultación,
- documentaciones como fotografías y gráficos, muestras,
- condiciones meteorológicas de la inspección.

4. Métodos de inspección de tirantes

El éxito de la inspección radica en obtener unos datos precisos, con un método fiable que se pueda reproducir en las sucesivas inspecciones, lo que pasa por:

- analizar los datos de la obra y de la tecnología de tirantes,
- proporcionar el acceso adecuado al inspector para permitir el examen detallado,
- disponer de zonas de trabajo correctamente delimitadas y señalizadas para garantizar la seguridad de los inspectores y de los usuarios de la estructura,
- proporcionar la técnica de medición adecuada para realizar las inspecciones no directas,



Figura 17. Inspección con alpinista en el puente de Normandía

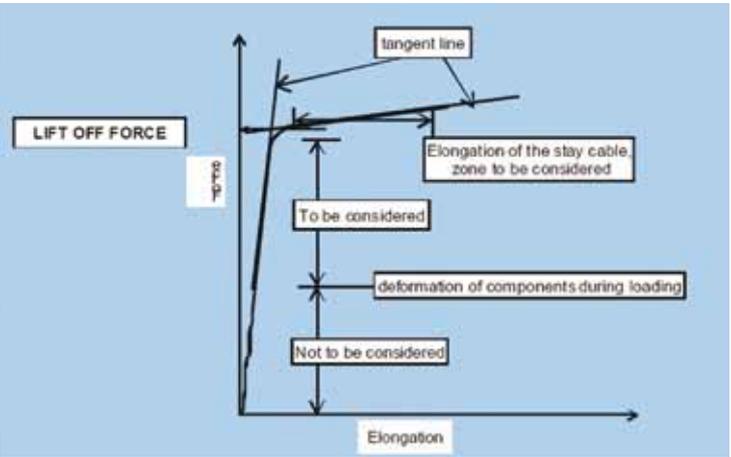


Figura 18. Pesaje por el método de lift-off en el puente de Arade en Portugal

- disponer de unas herramientas de recogida, almacenamiento y procesado de datos acorde al volumen de información proporcionada por el plan de inspección.

4.1. Medios de acceso al lugar de inspección:

Para que el inspector pueda tener una visión detallada de la zona a examinar, resulta importante definir y recurrir a sistemas auxiliares como:

- Medios ópticos que permitan alejarse físicamente de la zona examinada, como teleobjetivos,
- Video vigilancia embarcada en robots que deslizan a lo largo del cable,
- Endoscopia o boróscopos que permitan inspeccionar las zonas ocultas o de transición estructura-anclaje donde la herramienta tradicional o la mano no puede llegar,

- Medios de accesos especiales que van desde las cestas, grúas móviles y camiones con brazos telescópicos para el acceso por debajo del tablero, hasta los accesos particulares que se trasladan sobre la longitud libre del cable (carrito con cesta), por debajo del tablero (pasarela inferior) o por fuera del pilono (ascensor) a fin de acceder a las zonas de transición y anclajes,
- Técnicos especializados en trabajos en altura.

4.2. Técnicas particulares de inspección

Tal como se ha mencionado antes, existe una serie de técnicas no destructivas, complementarias a la examinación que permiten obtener información sobre el estado de los cables. Las características del puente, su tipología, el sistema de cable

empleado y las limitaciones presupuestarias determinarán la elección de las técnicas en cada caso. A continuación describimos los métodos más empleados por haber proporcionado datos fiables y útiles para:

- Medir la fuerza de los tirantes,
- Medir el grado de corrosión en los cables,
- Detectar fisuras y roturas en los aceros.

4.2.1. Pesaje de tirantes. Método lift off

Se trata de un sistema que permite conocer la carga existente en los tirantes mediante la aplicación de una tracción progresiva y controlada al anclaje. Por ello se conecta un gato anular, generalmente roscado al exterior del anclaje. Se aplica una tracción hasta que el anclaje se desprege de su apoyo, siendo entonces la presión de apoyo nula.



Figura 19. Medición de cuerda vibrante del puente las Américas

De aquí se puede deducir que la fuerza de tracción es igual a la fuerza del tirante.

Generalmente se aplica el método de "lift off" que consiste en registrar las curvas presión-deformación y deducir por rectas de regresión la presión de despegue.

Es un método directo y muy preciso, cuyos únicos inconvenientes son las grandes dimensiones y peso de los gatos anulares necesarios.

4.2.2. Cuerda vibrante

El método de la cuerda vibrante consiste en medir la frecuencia natural del tirante, sabiendo que esta misma está en función de la fuerza, de la masa lineal y de la longitud del tirante. Para eso, se dispone un acelerómetro en el tirante y se provoca su vibración en un plano vertical. Sus ventajas radican en la sencillez de ejecución, rapidez (multiplica por 4 a 5 el rendimiento con respecto al pesaje directo).

La frecuencia de vibración de una cuerda se relaciona con la tensión de la misma mediante la siguiente relación:

$$f_n = (n / 2l) \cdot \sqrt{T / \mu}$$

donde:

- f_n : frecuencia del modo de vibración número n .
- n : número del modo de vibración
- l : longitud libre de vibración
- T : fuerza de tensión del cable
- μ : peso por metro lineal del cable

El acelerómetro registra el movimiento de vibración de un punto del tirante. Para ello se fija a unos dos metros de altura sobre el tablero. El eje del acelerómetro se sitúa en la generatriz superior del tirante. Una vez en su posición, el acelerómetro se conectará al analizador.

La puesta en movimiento del tirante se realiza manualmente tiran-

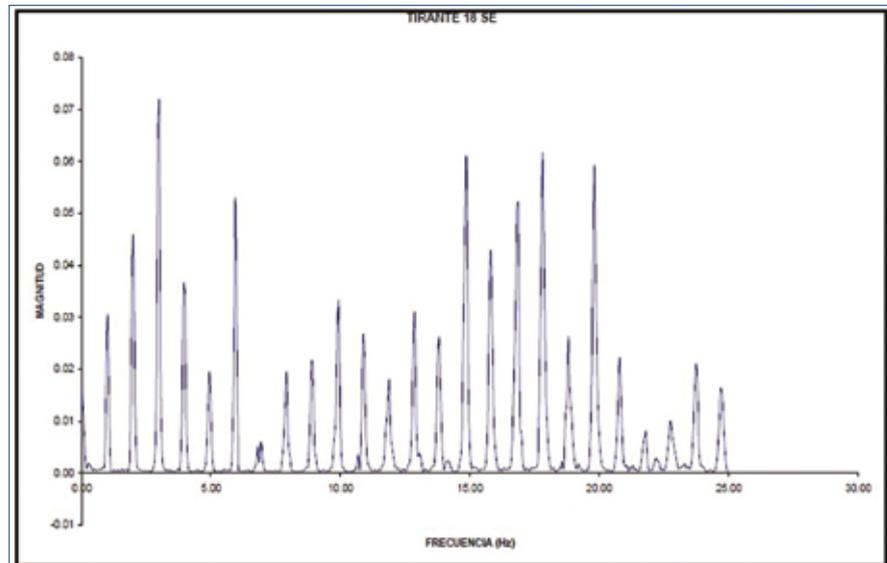


Figura 20. Ejemplo de espectro de frecuencias de un tirante del Puente Barrios de Luna

do de un punto medio del tirante, tratando de acompañar y amplificar la oscilación con un período parecido al primer modo de vibración.

La señal del acelerómetro es recogida por el analizador de frecuencias que realiza un análisis FFT (Fast Fourier Transform) en el que se identifican las frecuencias de los diferentes modos de vibración.

Dependiendo de la tecnología de tirante, es difícil determinar la longitud libre de vibración (distancia entre puntos de vibración nula), puesto que existen elementos desviadores, centradores, ... en la longitud libre del cable. Se puede actualizar la longitud libre a partir de la fuerza de un número representativo de tirantes obtenido, además, por el método directo de pesaje.

4.2.3. Vibración libre-amortiguada

El método de registro de movimiento de vibración mediante acelerómetro, se puede emplear a su vez para la caracterización de eficacia real de los amortiguadores de tirantes. Básicamente consiste en medir el decremento logarítmico del tirante, haciéndolo vibrar con el amortiguador puesto y sin él.

El amortiguamiento natural del tirante se caracteriza mediante el cociente de los logaritmos de 2 amplitudes de vibraciones contiguas.

4.2.4. Medición por ultrasonidos

Este método consiste en inspeccionar cables desde sus extremos. Así, en el caso de los anclajes de cuñas, se envía una pulsación ultrasónica desde el tramo de armadura que sobresale del anclaje (puntas). Se detectan los ecos de energía ultrasónica de respuesta que se producen cuando la pulsación se encuentra obstáculos (rotura) o anomalías (atenuación-dispersión por materiales oxidados).

Esta tecnología requiere la calibración previa de los ecos en función del tipo de cable y tipo de defecto. Su principal limitación reside en la longitud efectiva que se limita a 1,5 metros. Por ello está especialmente recomendado para la inspección de los anclajes.

El sistema automático de control da una gráfica de amplitud-tiempo de recepción de señal de respuesta. Por comparación se categorizan las respuestas con unas anomalías tipo (fisuras, roturas de alambres, contactos, defectos en el anclaje).

4.3. Flujo magnético

Se trata de un método no destructivo de inspección para localizar la presencia de corrosión o roturas en los hilos, cordones o alambres. Consiste en colocar unos sensores

magneto-inductivos alrededor del cable e inducir un campo magnético. La transmisión del campo será completa si la sección del cable se mantiene constante. En el caso contrario, se provocarán perturbaciones y pérdidas en la transmisión del campo magnético.

Requiere una muestra sana de cable con el objeto de calibrar inicialmente el campo y poder a su vez evaluar cualitativamente las pérdidas globales de sección. Si no se dispone de esta muestra el método se limita a indicar las zonas de mayor daño donde se observa una variación importante y repentina del campo.

Esta técnica da buenos resultados en caso de medios homogéneos, como los cables cerrados, pero no permite el estudio de puntos críticos como el interior de los macizos y las zonas de anclajes. Tampoco es posible su aplicación en los tirantes formados por un haz cordones paralelos auto protegidos o en secciones de cables con fuertes variaciones de sección metálica (vainas, collares).

4.4. Medición del potencial de la corrosión

Se trata de un método cualitativo que determina la presencia de corrosión y su actividad, consiste en aplicar pequeñas señales eléctricas a un trozo de cable y medir la rela-

ción voltaje/intensidad, de la que se deduce la velocidad de corrosión I_{corr} .

Exige hacer contacto directo con el cable y situar el electrodo de referencia o los electrodos de medida sobre el hormigón.

En función del potencial de corrosión (E_{cor}), de la intensidad de corrosión (I_{corr}), de la resistividad del medio en caso de cables inyectados o embebidos en hormigón (ρ), se estima el consumo medio de sección de acero anual en función de la velocidad.

Este método indica la actividad de la corrosión pero no la pérdida total o local de sección desde el estado original.

Esta actividad la desarrolla entre otros el CSIC IETS.

4.4.1. Sensores magneto-estrictivos (MsST: Magnetostrictive Sensor Reflectometer):

El MsST es un dispositivo que genera y detecta ondas guiadas electromagnéticamente en materiales ferromagnéticos. Un impulso de ondas guiadas de frecuencia baja es enviado a lo largo del cable, y cuando este impulso encuentra defectos dentro del cable, una porción de la onda vuelve al lugar de emisión y es detectada por el mismo sensor. El tratamiento y la evaluación de la señal reflejada permite indicar los

defectos del cable, para determinar la pérdida de sección por corrosión o rotura.

5. Monitorización

5.1. Alcance

Monitorizar significa inspeccionar de forma continua para detectar y registrar los daños que pueden alterar el servicio y la funcionalidad de la estructura afectando a su seguridad.

A diferencia de una instrumentación, el objeto no es de proporcionar solamente datos que requieran un procesado y análisis, sino que está asociado a un sistema de gestión de alertas que permiten tomar de forma rápida las medidas de restricción de servicio y puesta en seguridad de la estructura.

A pesar de disponer de tecnologías y sistemas de transmisión fiables, monitorizar las estructuras nuevas no es frecuente.

Limitándonos a la monitorización de los tirantes, los aspectos más importantes a instrumentar son:

- Evolución de la fuerza de los tirantes, mediante la disposición de unas células de carga,
- Vibraciones de los tirantes. Como comentado anteriormente, se realiza mediante la incorporación de acelerómetros sobre el tirante,



Figura 21. Medición de flujo magnético en cables de puente colgante - Huesca



Figura 22. Medición de potencial en cabezas de cable de retenida embebido en hormigón - puente colgante



Figura 23. Puentes Las Américas en Panamá (sistema Cable Scan® desarrollado en colaboración entre Pure Technologies y el SRWI (Southern Research Institute))



Figura 24. Puentes sobre el estuario del Forth - Escocia. Acelerómetro de sistema auscultación acústica desarrollado por advitam

- Detección de rotura de alambres, por el método que se describe a continuación.

5.2. La auscultación acústica

La vigilancia acústica trata de detectar la energía liberada por la rotura repentina de un hilo en tensión. La onda se propaga desde la fuente a través de la estructura asemejándose a un sonido. Al colocar un sensor en cada extremo del cable, y midiendo el tiempo de propagación hasta ambos sensores se permite localizar la posición de la fuente de la onda.

Por lo tanto el método permite la auscultación del 100% de la longitud del cable y de las zonas de anclaje.

Esta solución no proporciona una información directa sobre el grado de corrosión de la sección de tirante en un instante dado. Pero sí que permite, en función del número de eventos detectados, definir una velocidad de propagación de las roturas por corrosión.

Como parte de un sistema de monitorización continua, la auscultación está conectada a un sistema informatizado, donde se recogen todos los datos y se envían alertas.

La técnica se desarrolló para estructuras con problemas declarados

con el objeto de monitorizar la evolución de las roturas individuales de la armadura. Proporciona la información necesaria para decidir cuándo se deben emprender medidas con el objeto de limitar los riesgos de daños mayores y colapso.

Este sistema ha sido ampliamente empleado en Estados Unidos, y de forma experimental en Francia para los puentes colgantes de Aquitaine y Tancarville. Actualmente se está empleando de forma preventiva en algunos de los grandes puentes como el puente sobre el Forth en Escocia, e incluso para puentes nuevos como el Viaducto de Millau en Francia o el puente Rion-Antirion en Grecia.

6. Mantenimiento de tirantes

La valoración de las operaciones de mantenimiento debe hacerse teniendo en cuenta: los estudios económicos y técnicos, las interferencias provocadas por la circulación y la perturbación del uso de la estructura. Podemos hablar de cuatro tipos de mantenimientos:

- Mantenimiento rutinario. Trabajos periódicos y programados (limpieza, pintura, reparación del galvanizado, etc.), estos trabajos pueden coincidir con las inspecciones rutinarias.

- Mantenimiento especializado. Trabajos programados pero que exigen una partida de presupuesto especial. Estos trabajos se pueden hacer coincidir con las inspecciones principales. Incluyen, esencialmente, el mantenimiento de los componentes auxiliares con una vida útil limitada y refección de las protecciones contra la corrosión. Estas operaciones deben tener una incidencia mínima sobre los usuarios ya que deben estar programadas desde el proyecto.
- Mantenimiento Preventivo. Trabajos que se efectúan antes de la aparición de problemas para evitar posibles daños o degradaciones y bajada de vida útil de la estructura principal. Entre las causas que lo pueden motivar están: ciertos defectos de proyecto y/o ejecución, desconocimiento del comportamiento a largo plazo de los materiales utilizados, desconocimiento a largo plazo del funcionamiento de elementos auxiliares o equipamientos, aparición de problemas en puentes similares, agresividad del ambiente no prevista en proyecto, etc. Se realizan como consecuencia de la valoración del estado del puente a lo largo de las inspecciones rutinarias y principales.

Tabla 2

Formulario de Inspección N° Referencia	Designación del Mantenimiento	Responsable	Periodicidad en meses	Porcentaje a comprobar en cada inspección
A.1.1	Placas de apoyo y tubos de acero inferiores	N.S.*	12	50%
A.1.2	Exterior del anclaje inferior	N.S.	12	50%
A.1.3	Interior del anclaje inferior	FREYSSINET**	24	10%
A.2.1	Exterior del anclaje superior	N.S.	12	50%
A.2.2	Interior del anclaje superior	FREYSSINET	24	10%
A.2.3	Tubos de acero superior: inspección simplificada exterior	N.S.	12	50%
A.2.4	Tubos de acero superior: inspección completa exterior	FREYSSINET	24	10%
A.3	Mantenimiento de la vaina del tirante	N.S.	12	30%
A.4	Amortiguador de tirante	FREYSSINET	24	10%
B.1	Después de gran tormenta	N.S.	N/A	100 %
B.2	Después de accidente	FREYSSINET	N/A	N/A
B.3	Después de rayo	FREYSSINET	N/A	100 %
B.4	Después de terremoto	FREYSSINET	N/A	100 %
B.5	Después de incendio	FREYSSINET	N/A	N/A

*NS (Equipo No Especializado)

**FREYSSINET (Trabajos a cargo de la empresa especializada)

- **Mantenimiento Curativo.** Se tratan de las operaciones de reparación o refuerzos mayores, considerando como refuerzo aquellos trabajos que incrementan la capacidad portante inicial del puente o cualquier otra característica y que mejoran el nivel de servicio previsto en el proyecto original. En este caso incluiríamos la sustitución de un tirante.

6.1. Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento es un documento que el fabricante e instalador de los tirantes debe entregar al contratista principal al finalizar la obra. Las principales funciones del manual son:

- planificar las inspecciones (periodicidad, responsabilidad, medios necesarios, etc),
- indicar los defectos y anomalías que pueden aparecer en los tirantes, cómo deben detectarse y reportarse,

- las acciones de mantenimiento recomendadas para cada evento. Debe incluir una relación de los elementos que constituyen el tirante, codificándolos para facilitar su identificación, el equipo y herramientas necesarias para las inspecciones especiales de los tirantes. Así como una lista de repuestos y métodos básicos de reparación.

A continuación se reproduce una tabla en la se resume la periodicidad y el responsable de la inspección de cada elemento del tirante. Está tomada del Manual de mantenimiento del segundo puente sobre el río Orinoco en Venezuela.

7. Ejemplos de inspección de tirantes en puentes

7.1. Inspecciones "punto cero"

El Puente Internacional de Guadiana que une España y Portugal (1992, Cancio Martins, 324 m de vano central) y el Puente de Arade

(1992, Armado Rito, 256 m de vano central) son dos estructuras atirantadas pioneras en el empleo de los cordones autoprottegidos. Los tirantes no están provistos de una vaina exterior global, quedando el haz de cordones paralelos a la vista con unas bridas entre cordones con el fin de evitar la vibración entre ellos.

Ninguno de los dos puentes había seguido una planificación de inspección y mantenimiento, por lo menos en lo que se refiere a tirantes. Al alcanzar los 15 años de edad, estos puentes fueron sometidos a una inspección detallada de toda la estructura que sirvió de punto cero para conocer el estado real de la estructura y así poder planificar las acciones de inspección y mantenimiento futuras mediante un plan de mantenimiento. Para la toma de datos se utilizaron como accesos pasarelas sobre carriles y elevadores sobre mástiles telescópicos. Toda la información quedó organizada en una base de datos especialmente

creada para estos puentes con el software de gestión de estructuras scanprint®.

En lo que se refiere a los tirantes, se trató de conocer el estado de conservación de los elementos y medir los parámetros físicos (fuerza, geometría) para realizar la verificación estructural. Para ello se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- Recopilación de los datos de proyecto, planos as built e histórico de la construcción,
- Diseño, fabricación, suministro y montaje de accesos por debajo del tablero y en la cara exterior del pilono,
- Inspección visual de cada tirante, realizando un inventario exhaustivo del estado de conservación de cada uno de los tirantes, base para un programa de mantenimiento,
- Endoscopia de las zonas de anclaje inferior,
- Reposición de elementos dañados como capots, desviadores, etc.
- Reinyección de los anclajes,
- Medición de la fuerza de los tirantes mediante el método de la cuerda vibrante, analizando los resultados junto con la nivelación de tablero,
- También mediante el método de la cuerda vibrante se midió el amortiguamiento natural del tirante.

Como conclusión a la inspección se redactó un manual de mantenimiento en el que se estableció un calendario de inspecciones con los alcances de las mismas. Finalmente se redactó un proyecto de reparación/mejora de los tirantes, actualizándolos con la evolución de la tecnología.

Con el objeto de alargar su vida útil las principales mejoras fueron: incorporar una vaina global de cubrición aerodinámica a los tirantes, incorporar unos amortiguadores internos en los tirantes de más de 80m de longitud y renovar los sistemas de protección anticorrosión.



Figura 25. Inspección de los anclajes superiores del Puente de Arade



Figura 26. Acceso al exterior del pilono en el Puente de Rande



Figura 27. Inspección del interior del anclaje superior del Viaducto de Tamaraceite

Fotografias das anomalias



- Corrosão local / ENRA1
Data:05/08/2008



- Alteração do mástque de impermeabilidade / MASC2
Data:05/08/2008

1.2.5. HSC05 - HSC08

1.2.5.1. Elementos

Lista dos elementos

Name	Type	Form	Drawing
HSC08U	Element	TgS18	Yes
HSC08D	Element	TgS18	Yes
HSC07U	Element	TgS18	Yes
HSC07D	Element	TgS18	Yes
HSC08U	Element	TgS18	Yes
HSC08D	Element	TgS18	Yes
HSC05U	Element	TgS18	Yes
HSC05D	Element	TgS18	Yes

Número de anomalias observadas

Defects	Code	Number
Amadurezas visíveis	AAPB	2
Aspecto da bainha/manga	AGAC	1
Pontos de corrosão	COPA	1
Corrosão local	ENRA	1
Fissuras estruturais	FISB	1
Alteração do mástque de impermeabilidade	MASC	10
Estado da protecção	PROA	3

1.2.5.2. Pormenores dos elementos

HSC08U

Formulário

Pontos inspeccionados

Nome	Valor	Observações	Data
Numero de fixações reapertadas (controle manual)	0		13/08/2008
Estado da protecção anticorrosão (galvanização e pintura)	OK		13/08/2008
Estado da selagem na parte superior do tubo antivandalismo	Anomalia		13/08/2008
Ausência de óleo viscoso oriundo dos amortecedores	OK		13/08/2008
Ancoragens superiores : protecção anticorrosão e integridade	OK		13/08/2008

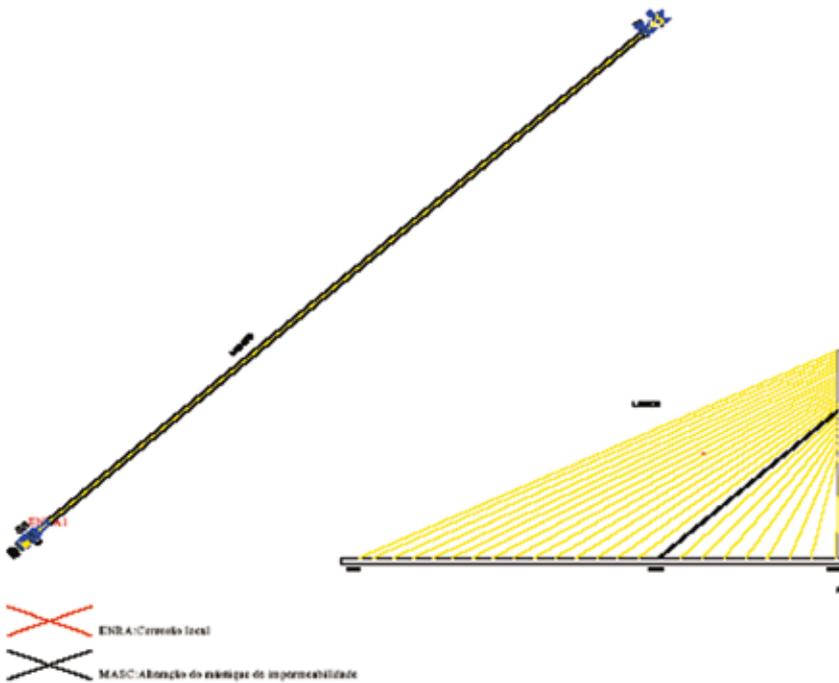


Figura 28. Ejemplo de informe de inspección de un tirante del puente principal

7.2. Establecimiento de un programa de inspección en puente existente

Dos de los puentes atirantados pioneros en España, el Puente de Rande, que cruza la bahía de Vigo, el primer puente atirantado construido en España de 400 metros de luz, y el Puente Ingeniero Carlos Fernández Casado, de 440 metros, construido en 1978 y que cruza el embalse de Barrios de Luna utilizan la tecnología de cordones paralelos en vaina de PEAD inyectada con lechada de cemento. Desde 2000 se vienen realizando inspecciones y mantenimientos del puente con una periodicidad aproximada de unos tres años.

En el puente de Rande, las campañas ha consistido en:

- Una inspección principal inicial que incluyó el diseño y suministro de los sistema de acceso al exterior del pilono, el pesaje de tirantes mediante cuerda vibrante con una calibración de la longitud libre de vibración mediante el pesaje con gato anular, una inspección visual de los tirantes con desmontaje de capots, inspección de cabezas de anclaje, sustitución de los tubos telescópicos superiores,
 - inspecciones posteriores que vienen acompañadas por ciertos trabajos de mantenimiento tanto de los tirantes (reparaciones en tramo de vaina...) como de otros elementos de la estructura (saneamiento y reparación de paramentos de hormigón, sustitución de juntas de dilatación, apoyos y guías transversales).
- Además en el caso de Barrios de Luna realizó una medición del potencial de la corrosión de los cordones.

Estas inspecciones principales también se realizaron en otros puentes de luces medias como el Viaducto Tamaraceite (Las Palmas

de Gran Canaria) o el Puente de Los Olivos (Getafe) donde al igual que en los anteriores ejemplos, se realizó una medición de la fuerza de los tirantes mediante el método de la cuerda vibrante y pesaje con gato anular, así como una inspección de los componentes del tirante, incluyendo:

- Una inspección visual global,
- Una inspección detallada de los tubos guía y desviadores,
- Una inspección del estado del interior del anclaje y su material de relleno.
- La entrega de un manual de inspección y mantenimiento.

7.3. Programa de inspección en puentes recientes

Desde finales de los años 90, Freyssinet viene acompañando la entrega de sus sistemas de tirantes con manuales de inspección y mantenimiento.

Un ejemplo claro de inspecciones programadas es el Puente Vasco de Gama. Explotado en régimen de concesión por el consorcio Gestiponte, con sus 17,2 Km (12.345 m de viaductos y 4.840 m de accesos) se trata del puente más largo de Europa. Consta de un tramo atirantado de 824m con vano central de 420m. Inaugurado en 1998, se han realizado inspecciones principales en 1999, 2004 y 2008, alternadas con inspecciones rutinarias anuales de acuerdo con la agenda descrita en el Manual de Inspección y Mantenimiento.

El manual de mantenimiento, que incluía registros de inspección manual ha sido sustituido por una gestión integral de la inspección y el mantenimiento mediante software Scanprint®.

En la base de datos se dispone de un inventario informatizado del conjunto de informaciones relacionadas con la estructura (descomposición, planos, fotos, desordenes, fichas técnicas y de inspección).



Figura 29. Detalle de la falla del tirante roto en Zárate

El puente se descompone en facetas, a las que le corresponde una hoja de inspección con la lista de los puntos y criterios a inspeccionar. La faceta toma la forma de un dibujos Autocad y con la ayuda de terminales informáticos móviles se realizan las inspecciones in-situ para señalar los defectos directamente sobre plano-faceta y grabación directa a la base de datos de Scanprint®.

7.4. Inspecciones excepcionales

Un ejemplo claro de inspección tras evento no esperado, es la desarrollada en los 2 puentes atirantados gemelos sobre brazos del río Paraná en Zárate, Argentina. Con un vano principal 330 m fueron construidos entre 1972-77, equipados con tirantes tipo HiAm (alambres paralelos enfundados en vaina de PEAD inyectada con lechada de cemento) y anclajes en forma de "mazarotas". Son puentes asimétricos frente a la carga viva, ya que recibe de un lado cargas ferroviarias y del otro lado cargas de carretera.

En 1996, un tirante del puente que cruza el brazo Paraná-Guazú se rompió cerca del cabezal del anclaje inferior. Los análisis posteriores mostraron que la mayoría de los 121 alambres de 7 mm de diámetro fallaron a 2 cm del cabezal con signos de corrosión y roturas frágiles en los alambres.

Para establecer unos umbrales de seguridad de los cables se procedió a una inspección de emergencia que incluyó: la determinación de la fuerza de los tirantes y nivelación del tablero, y la inspección visual complementada con una medición de rotura de hilos por el método de ultrasonidos en las zonas adyacentes al anclaje.

Posteriormente se estableció un protocolo de medición periódica por Ultrasonidos a cargo de la Unidad de Actividad Ensayos No Destructivos y Estructurales de la Comisión Nacional de Energía Atómica (C.N.E.A.) a fin de localizar hilos rotos y determinar la velocidad de degradación. Estas inspecciones mediante ultrasonidos fueron usadas como base para decidir los tirantes a sustituir durante la primera rehabilitación parcial, tomándose como criterio de sustitución que el 10% de los hilos de los cables que conformaban cada tirante estuvieran rotos o gravemente deteriorados. Lo que supuso el reemplazo entre 1998 y 2002 de un total de 18 tirantes

Entre 2005 y 2007 se procedió a la sustitución de todos los tirantes del lado carretero (42) puesto que las inspecciones revelaban una evolución de los fenómenos de corrosión en las zonas cercanas al anclaje de una forma más marcada en los del lado carretero.

7.5. Ejemplo de monitorización continua: el Viaducto de Millau y el puente de Rion Antirion

El viaducto de Millau (Francia) está compuesto de 8 vanos atirantados: dos laterales de 204 metros de longitud y 6 claros intermedios de 342 metros de longitud. La instrumentación continua de los tirantes consta de:

- Control de tensión en tirantes con células de carga
- Vibración y variación de tensión bajo viento,
- Control de corrosión por auscultación acústica,
- Sistema de anemómetros (velocidad, dirección),
- 12 acelerómetros (6 en tablero, 3 en pilono, 3 en tirantes) y además una instrumentación más tradicional como son:
- inclinómetros (2 en pilonos y 2 en pila)
- 274 sondas de temperatura (en tirantes y en la estructura)
- 52 extensómetros.

El puente de Rion Antirion es un puente atirantado multi-vano uniendo la península del Peloponeso con la Grecia occidental. Sus 2252 metros de tablero continuo suspendido lo convierten en el segundo puente atirantado

más largo del mundo. Está formado por una sucesión de luces de 560 metros.

El sistema de monitorización consta de:

- Control de tensión en tirantes con células de carga
- Vibración y variación de tensión bajo viento,
- Control de viento,
- Control de corrosión por auscultación acústica,
- Control de las aceleraciones en estructura y tirante.

Para ambas estructuras, el pliego de condiciones estipulaba la realización de una monitorización, una inspección y mantenimiento a largo plazo (objetivo de durabilidad de 100 años) con el fin de preservar la seguridad de los usuarios, controlar el comportamiento estructural y el envejecimiento de la estructura, y con la obligación de entregar la estructura en las mismas condiciones al final de la concesión.

Esto se materializó en:

- La disposición de los medios de acceso y los medios de ejecución material de la inspección,
- La redacción de un manual de inspección y mantenimiento: IMM,
- La elección de un sistema automatizado por ordenador para inspección y mantenimiento (scanprint®),

- la monitorización continua en tiempo real,

El objeto principal de la monitorización es proporcionar información en tiempo real a los usuarios y los gestores de la estructura, para asegurar el confort de tránsito sobre la estructura. Permite tomar las medidas de restricción del tráfico, velocidad o corte en el caso que los vientos, oscilaciones o eventos excepcionales impidan un uso seguro de la estructura.

Cabe mencionar, que dado la importancia de estas estructuras, el plan de inspección y de mantenimiento se ha realizado siguiendo métodos novedosos de análisis de riesgo de diseño, construcción, envejecimiento, operación, mantenimiento, etc. considerando las distintas etapas desde la gestación hasta el servicio de una estructura. A cada riesgo, según el momento en el cual se produce, se le atribuye una acción de prevención y corrección con factor de importancia. A partir de esto se realiza la planificación de la inspección y mantenimiento.

8. Bibliografía

- [1] Recommendations for Stay cable design, testing and installation. 5th edition PTI. Post-tensioning institute. Cap. 7 Stay cable inspection and monitoring (p. 75-85),
- [2] Recommendations for the Acceptance of Stay Cable Systems, using Prestressing steels. Fib. Federation international du béton. Cap. 8 Inspection and Monitoring (p.70-73)
- [3] Cable stays. Recommendations of French Interministerial commission on prestressing Junio 2002. SETRA Cap. 13 Monitoring and maintenance of cable stays (p. 165-172),
- [4] NCHRP Synthesis 353. Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board, Washington DC 2005,
- [5] Manual de tirantes, E-12, Estructuras y Edificación ACHE, Colegio de ICCP.❖

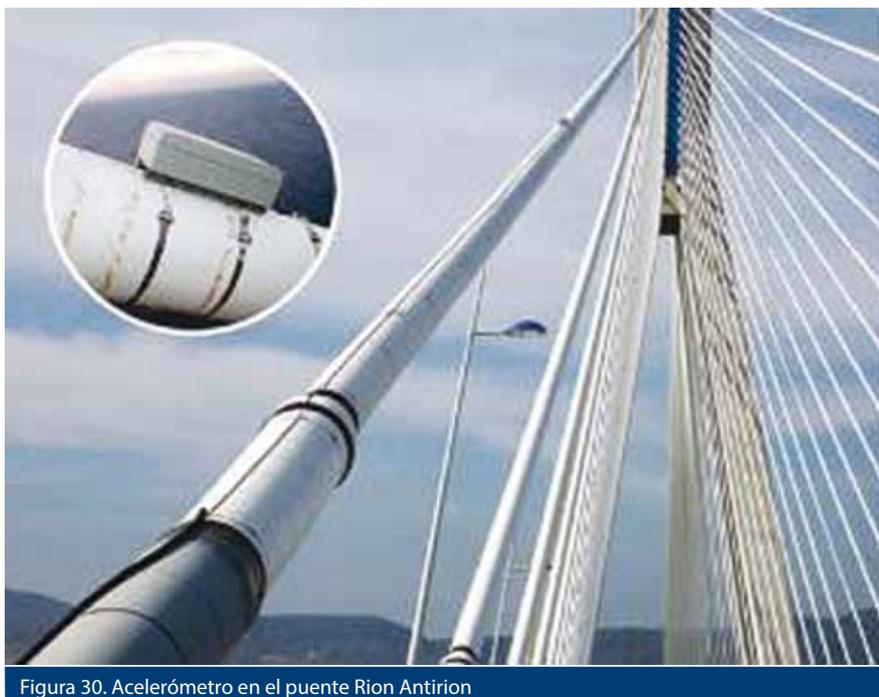
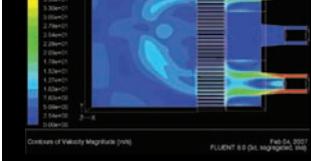
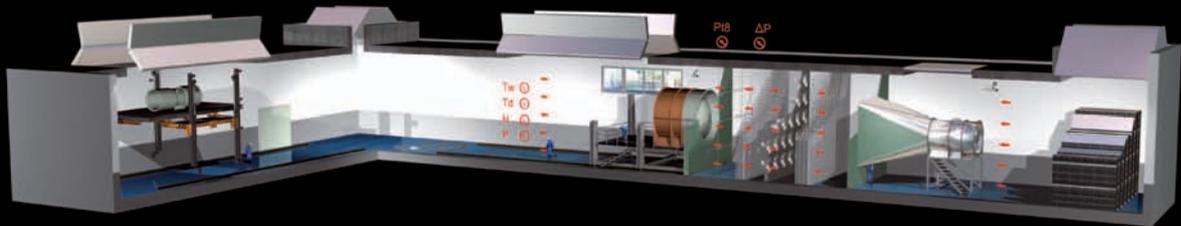
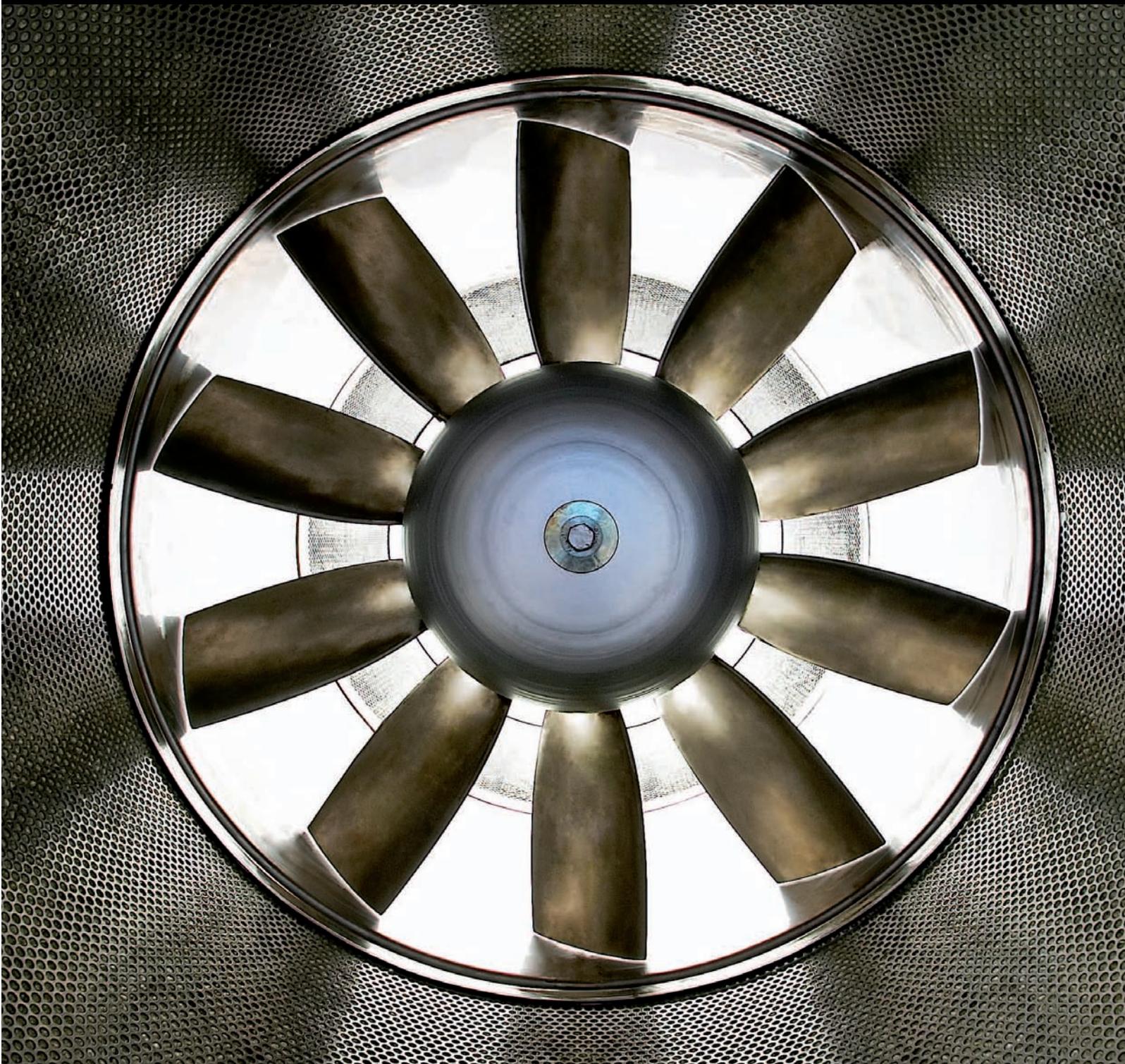


Figura 30. Acelerómetro en el puente Rion Antirion



All you need is  **zitron**



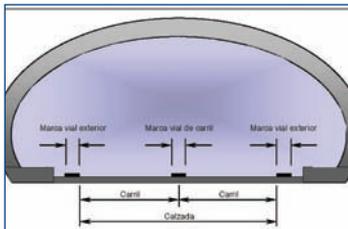
"The biggest certified test tunnel in the world"

The result of our experience

Over 45 years of experience, a high degree of technological competence and highly qualified staff endorse our work which is among the most valued and acknowledged in our sector.

zitron@zitron.com
www.zitron.com

Diseño de la sección transversal de túneles de carretera bidireccionales



Cross section design for bi-directional road tunnels

Comité de túneles de carretera

Grupo de trabajo wg4: Sistemas de comunicaciones y geometría

Resumen

El trabajo en este documento se inició en septiembre de 2001 como continuación del desarrollado por el GT4 entre los años 1998 y 2001, que concluyó con el informe titulado CROSS SECTION GEOMETRY IN UNI-DIRECTIONAL ROAD TUNNELS "GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE TÚNELES DE CARRETERA UNIDIRECCIONALES", publicado por la AIPCR en marzo de 2001 [1]. El presente informe comparte la terminología y los planteamientos generales del documento anterior, si bien los adapta y extiende a los túneles de un solo tubo y doble sentido de circulación. En el desarrollo del informe se han examinado normativas y recomendaciones nacionales sobre la materia, así como los diversos documentos de la AIPCR y otros organismos internacionales que han aparecido recientemente en respuesta a los trágicos accidentes acontecidos en los túneles desde 1999.

En la redacción del documento en inglés intervino Joan Almirall Bellido, junto con Ben Rigter, Harald Buvik y Torsten Bergh entre otros. Tony Rock realizó una detallada labor de corrección de los textos y la traducción al español fue coordinada y supervisada por Rafael López Guarga.

Las conclusiones y recomendaciones del informe están basadas en la práctica común en diversos países, así como en la opinión de los expertos del GT4 del comité de la AIPCR. Sin embargo, pueden existir otras soluciones a los problemas tratados aquí, y las normativas nacionales pueden diferir en ciertos aspectos de los planteamientos realizados.

PALABRAS CLAVES: diseño, sección transversal y túnel.

Abstract

This document has been prepared under the supervision and with the approval of the PIARC Road Tunnels Committee, by Working Group nr. 4 dealing with "Communications Systems and Geometry".

This document was started in September 2001 following the initiated work of GT4 between 1998 and 2001, which resulted in the report entitled CROSS SECTION GEOMETRY IN ROAD TUNNELS UNI-DIRECTIONAL "GEOMETRY OF THE CROSS SECTION OF ROAD TUNNELS SENSORS" published by PIARC in March 2001 [1]. This report shares the terminology and general approach of the previous document, although it is adapted and extended to a single tube tunnels and two-way traffic. In this report national standards and recommendations on this subject have been examined, as well as documents from PIARC and other international organizations recently appeared in response to the tragic accidents occurred in the tunnels since 1999.

Joan Almirall Bellido prepared the document in English, together with Ben Rigter, Harald Buvik and Torsten Bergh, among others. Tony Rock made a detailed correction of the texts and the translation into Spanish has been coordinated and supervised by Rafael López Guarga.

The conclusions and recommendations of the report are based on common practice in several countries as well as in the opinion of GT4 experts from the PIARC Committee. However, there may be different solutions to the problems discussed here, and local regulations may differ in certain respects from these approaches.

KEY WORDS: design, cross section, tunnel.

1. Introducción

1.1. Objeto del documento

Se pretende con el presente informe ofrecer una síntesis de la experiencia, así como de las recomendaciones y normativas internacionales, que ofrezca soluciones viables y proporcione criterios de diseño para la elección de secciones transversales de túneles de carretera bidireccionales.

En el informe se tratan también diferentes aspectos del diseño de túneles bidireccionales, tales como la capacidad y la intensidad de tráfico, la pendiente longitudinal y los radios de curvatura, considerados desde la perspectiva de la seguridad y de la eficiencia en la circulación en condiciones normales y excepcionales, y también desde la perspectiva de la explotación del túnel y de su mantenimiento.

1.2. Consideraciones sobre seguridad

El criterio principal para decidir la construcción de un túnel de un sólo tubo o de dos tubos, debiera ser el volumen de tráfico previsto y la seguridad. Se deben tomar asimismo en cuenta otros aspectos, tales como: el porcentaje de vehículos pesados, la longitud y la pendiente, etc. Cuando una previsión a largo plazo muestre que el tráfico diario (IMD) excederá de 10.000 vehículos por carril, debe proyectarse un doble túnel con tráfico unidireccional, para que entre en servicio al sobrepasarse dicha intensidad. También debe considerarse que un doble túnel unidireccional cuesta menos del doble que un túnel bidireccional, aún sin tener en cuenta los ahorros en salidas de emergencia.

Los criterios básicos de diseño de la sección transversal de túneles bidireccionales no son muy distintos de los que llevan a la determinación de secciones transversales en carreteras a cielo abierto para intensidades de circulación semejantes. Sin embargo,

existen diversos aspectos que diferencian las soluciones a adoptar en el túnel respecto a las de exterior.

Los túneles difieren, entre otros aspectos, de las carreteras a cielo abierto en:

- No existe actividad externa que distraiga la atención, pero hay riesgo de monotonía.
- Las condiciones de viento son moderadas.
- Condiciones de iluminación constantes en el día y en el año, con la excepción de las zonas de entrada.
- Dificultad en percibir las rampas y las pendientes.
- Dificultad en estimar las distancias a los otros vehículos.
- Acceso difícil para los servicios de seguridad y de emergencia.

Estas condiciones hacen que el diseño de ciertos elementos del túnel debe diferir de los usados en carreteras a cielo abierto. Existen dos criterios que son de aplicación en todos los túneles bidireccionales, y que deben usarse para determinar sus secciones transversales:

- Los criterios de **seguridad** frente a accidentes, en particular accidentes o incidentes que resulten en colisiones frontales, o deriven en incendio, por el agravamiento de las condiciones resultantes que representa el confinamiento de un túnel. En general, los túneles deben diseñarse para que los usuarios puedan actuar para preservar su seguridad por sí mismos en el caso de una emergencia.
- Los derivados del **coste** de construcción de la infraestructura, puesto que en el caso de un túnel el coste por metro puede ser varias veces superior a los órdenes de magnitud de la misma vía adyacente en el exterior. Adicionalmente, debe considerarse que el coste de construcción de un túnel aumenta mucho más rápidamente con el incremento de la sección transversal que en el exterior.

Estos dos grupos de criterios conducen a un desafío y pueden causar dificultades en el diseño de túneles de carretera. Normalmente, los criterios de seguridad tienden a aumentar la sección (arcenes amplios, aceras fácilmente transitables, facilidades para los disminuidos físicos, distancias de visibilidad largas, posibilidad de adelantar a un vehículo detenido en todo punto, etc.), mientras que los criterios económicos presionan para hacer secciones transversales más estrictas que las que se usarían a cielo abierto para intensidades de tráfico, o como mucho condiciones geométricas similares.

Existen, sin embargo, algunos principios básicos que se considera necesario mantener en túneles bidireccionales:

- El diseño de los túneles debe incorporar las condiciones geométricas de iluminación, señalización y balizamiento que mejor faciliten e incrementen las condiciones de seguridad en la conducción.
- El adelantamiento de un vehículo pesado detenido debe ser posible para otro vehículo pesado, sin interrumpir por completo el tráfico en el sentido contrario.
- Si existe un solo carril en uno o en los dos sentidos, los adelantamientos deben estar severamente prohibidos.
- Un estrechamiento de la sección transversal debe situarse antes del túnel o en la entrada, para cada sentido de circulación, no debiendo situarse nunca en el interior o a la salida.

No se trata en este documento de las medidas de seguridad a adoptar en la infraestructura del túnel (salidas de emergencia, galerías de evacuación, garajes, zonas de giro para vehículos), ni de las instalaciones necesarias en función del tipo y longitud del túnel, o de la intensidad media diaria de tráfico, ni consecuentemente, de sus sistemas de

ventilación, detección de incidentes, detección y extinción de incendios u otros similares. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el diseño de la sección transversal de un túnel todas estas consideraciones son críticas, puesto que pueden interactuar con sus dimensiones. En los apartados siguientes se enumeran las medidas a adoptar para que la sección transversal permita garantizar una circulación fluida y segura, debiendo considerar el proyectista cualquier variación del proyecto que sea realizada con otros fines, así como las distintas instalaciones necesarias para cada tipo determinado de túnel.

Tampoco se discuten en este documento las disposiciones de la señalización, la iluminación, los colores y las formas de las paredes, calzada, techo y del resto de los elementos del túnel, si bien todos ellos son aspectos importantes, cuyo diseño adecuado puede incrementar la seguridad en la circulación.

Como resumen de nuestro convencimiento, podemos decir que “los túneles son generalmente más seguros que las secciones parecidas a cielo abierto y pueden construirse con un alto nivel de seguridad a un coste razonable”.

1.3. Conceptos y elementos

Para facilitar la comunicación internacional y la comparación, es aconsejable un conjunto mínimo de términos, elegidos de modo que su significado sea intuitivamente obvio. En la Tabla 1 y en las figuras 1, 2 y 3 se proponen y definen dichos términos.

De acuerdo con la estructura de la publicación anterior del Grupo de Trabajo: “Cross Section Geometry in Uni-directional Road Tunnels AIPCR - 2001” [1], existen dos partes principales en la sección transversal:

1. Calzada, que es el área comprendida entre los bordes interiores de las marcas viales de arcén.
2. Exterior a la calzada, que comprende las zonas a ambos

Tabla 1^a: Terminología y Definiciones usadas en este informe en orden alfabético.

Término	Definición
Acera	Área para la circulación a pie del personal de mantenimiento y de los conductores detenidos por una emergencia o incidente .
Arcén	Zona comprendida entre los bordes internos de las marcas viales más exteriores y los bordillos o barreras de seguridad, si existen. Si no los hay, llega hasta el hastial del túnel.
Autopista	Nombre genérico en este documento para las vías de altas prestaciones con doble calzada, donde la circulación de vehículos muy lentos, peatones y ciclistas está prohibida.
Barrera flexible	Sistema de contención de vehículos de acero soportado en postes usado para evitar los choques de vehículos con el hastial del túnel.
Barrera rígida o de tipo New Jersey	Sistema de contención de vehículos de hormigón diseñado para guiar a los vehículos que colisionen con él, retornándolos a la dirección del tráfico.
Bordillo	Elemento constructivo que limita la acera en el lado calzada.
Bordillo montable	Bordillo bajo, que no es cruzado por el tráfico en circulación normal, pero que sí puede serlo en caso de detención por una avería o incidente.
Calzada	Parte de la vía destinada a la circulación de los vehículos, comprendida entre los bordes interiores de las marcas viales de arcén
Capacidad	Intensidad máxima sostenible de vehículos que pueden atravesar una sección o una zona uniforme de una vía.
Carril lento o vía lenta	Carril adicional de circulación situado a la derecha de la calzada, en países de circulación por la derecha, y a la izquierda en los que se circula por la izquierda, que permite a los vehículos que circulan con menor velocidad desviarse de los carriles principales, facilitando el adelantamiento por los vehículos más rápidos.
Carril de circulación	Área de la carretera para la circulación de una fila de vehículos. Comprende desde el borde interior de la marca vial del arcén al centro de la marca vial central entre carriles
Carril de emergencia	Banda de arcén para detener el vehículo en una emergencia.
Carril peatonal	Parte de la acera utilizable por los peatones con seguridad.
Carriles adicionales	Cualquiera de los carriles adicionales al primero, en la misma dirección del túnel, cuando todos ellos son usados por vehículos de todo tipo, proporcionando un incremento de la capacidad.
Despeje lateral	Franja comprendida entre la posición del conductor y la pared u otro obstáculo del túnel necesaria para que sea visible un objeto sobre la calzada con tiempo suficiente para reaccionar y detener el vehículo.
Distancia al objeto	Tamaño mínimo del arcén (puede incluirse la acera) para dar seguridad y confort.
Factor de hora punta C_{HP}	Factor que indica la variación del tráfico en la hora punta. Referido a un período de 15 minutos, se calcula dividiendo el flujo total en la hora por cuatro veces el número de vehículos en el cuarto de hora máximo en la hora.
Gálibo de construcción	Altura entre el pavimento y el techo, considerando el gálibo permanente, las holguras de construcción y repavimentación, y los márgenes para situar los equipamientos
Gálibo de la acera	Gálibo a mantener sobre las aceras.

Tabla 1b: Terminología y Definiciones usadas en este informe en orden alfabético.

Término	Definición
Gálibo geométrico	Contorno en el espacio del túnel dentro del cual no se permite obstáculo, obstrucción ni estructura alguna.
Gálibo mínimo	Altura de proyecto permitida a los vehículos pesados, más un margen necesario para hacer posibles los movimientos dinámicos.
Gálibo permanente (libre disponible) (Gálibo mínimo + Margen de seguridad)	Gálibo que debe mantenerse en todo momento, por ejemplo tras un refuerzo del pavimento, para que se permita el paso a los vehículos autorizados.
IMD	Intensidad Media Diaria. Tráfico total en un año, dividido por 365 días. Se expresa en vehículos por día
Marca vial	Marcaje en el pavimento para señalar y delimitar las zonas de la calzada.
Marca vial de carril	Marca indicadora de la separación entre carriles.
Margen de seguridad para los peatones	Zona en la acera entre el bordillo y el carril peatonal.
Nivel de Servicio	Medida cualitativa, descriptiva de las condiciones de circulación de una corriente de tráfico, considerando la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, el confort, las interrupciones de tráfico y de seguridad.
Plataforma	Zona del túnel destinada al uso de los vehículos con seguridad. Comprende la calzada y los arcenes.
Túnel de carretera *	Estructura de carretera cubierta de longitud superior a cinco veces la anchura de la calzada.
Velocidad en régimen fluido VRF	Velocidad media espacial de los vehículos presentes en el tramo considerado, cuando la intensidad de tráfico es baja y no existen vehículos pesados.
Velocidad de proyecto	Velocidad teórica que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado de una carretera. El límite de velocidad establecido y el proyectado puede ser, en ciertos países, diferente.
Velocidad de referencia	Límite de velocidad establecido.
Velocidad media espacial	Velocidad media de los vehículos presentes en un instante dado a lo largo de una cierta longitud de un carril o carretera.
Velocidad media temporal	Velocidad media de los vehículos que pasan, durante un cierto intervalo de tiempo, por un punto fijo de un carril o una carretera.
Zona de corrección	Parte del arcén, medida desde el borde exterior de la marca vial de arcén, usada para corregir la trayectoria en caso de cruzar accidentalmente la línea del arcén.
Zona exterior a la calzada	Área entre el borde interno de la marca vial más exterior y el hastial del túnel, incluyendo las marcas viales exteriores de los carriles, los arcenes, los carriles de emergencia, las aceras y las barreras de seguridad.
Zona pavimentada (Calzada + arcén + acera)	Zona con pavimento entre las paredes del túnel. Incluye la plataforma (calzada y arcenes), y las aceras, si las hay.

lados de la calzada, incluyendo las marcas viales de arcén, los arcenes, las bermas, las zonas de detención de emergencia, las aceras, los apartaderos y las barreras de seguridad.

Esta distinción se justifica debido a que existe un acuerdo muy amplio en cuanto al uso y las dimensiones de la calzada, mientras que las dimensiones y los requerimientos de los elementos externos a ella difieren en gran medida entre países.

2. Síntesis de las principales recomendaciones y normas internacionales sobre túneles bidireccionales

Tan solo algunos países tienen reglamentaciones sobre túneles bidireccionales de carretera. Este tipo de normas o de recomendaciones debe entenderse en su contexto, por lo que se relacionan país a país, dado que una comparación parámetro a parámetro podría ser inapropiada, e incluso dificultaría la comprensión de la normativa.

FRANCIA – Dossier pilote des tunnels. Geometrie. CETU 1990 [5]

- Capacidad:
 - En túneles bidireccionales urbanos: 2200 vl/h (Vehículos ligeros por hora), aunque se han detectado valores superiores a los 3000 vl/h;
 - En túneles bidireccionales de montaña: 2350 vl/h.
- Velocidad: se recomienda velocidad no superior a los 80 km/h.
- El adelantamiento está prohibido en túneles bidireccionales de 2 carriles.
- En general, no se permiten bifurcaciones ni incorporaciones en el

* En la norma española se define como: "estructura de longitud superior a 200 m que, independientemente de su modo de construcción, permite el paso de vehículos entre dos puntos de la carretera, estando cerrada en todo su perímetro".

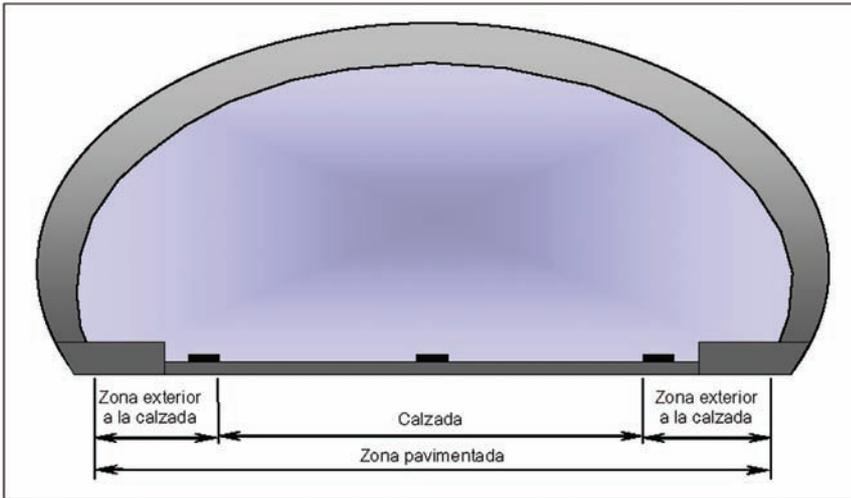


Figura 1: Configuración básica de la zona pavimentada.

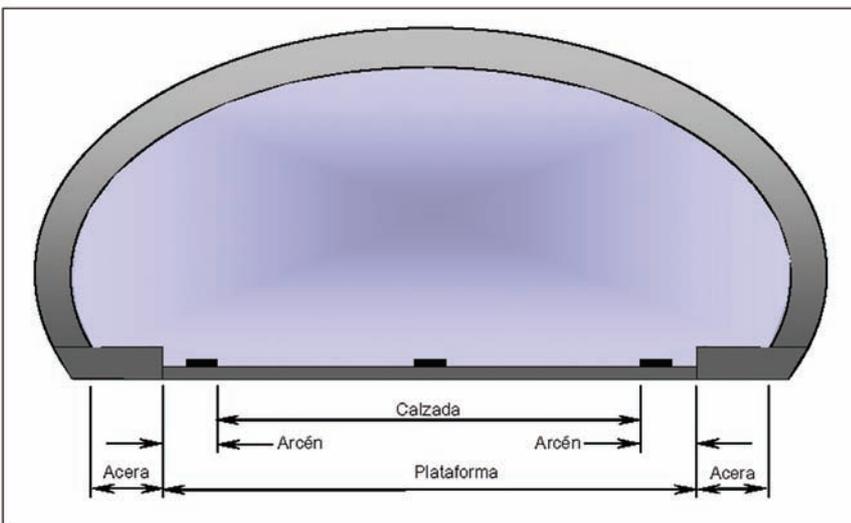


Figura 2: Configuración de la zona pavimentada y de la plataforma.

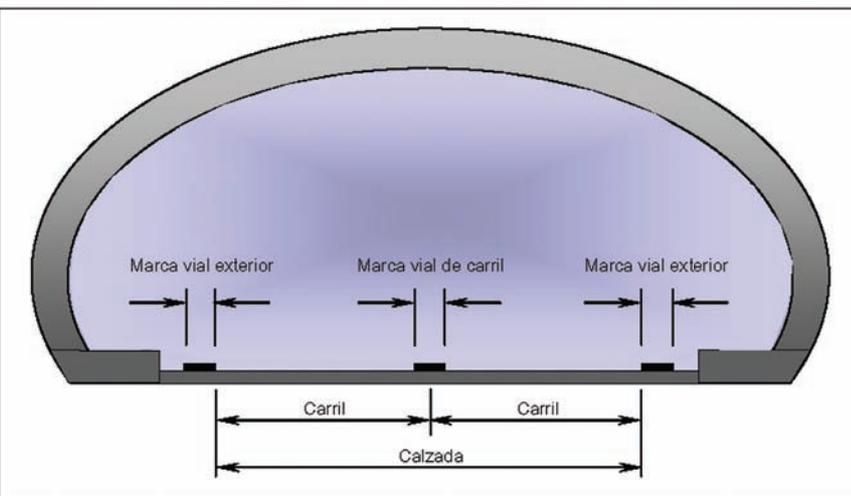


Figura 3: Definición de carriles y marcas viales.

interior de los túneles, excepto en casos imprescindibles en zona urbana, en cuyo caso se requiere un estudio especial.

- Se recomiendan pendientes no superiores al 2% si la longitud supera los 400 m.
- Se sugiere añadir una vía lenta si la velocidad de los vehículos pesados baja de 50 km/h. La anchura de este carril adicional debe de ser de 3,00 m.
- Se recomiendan aceras de ancho mínimo 60 cm.
- Anchuras de carril: mínimo en zona urbana 3,00 m, en general 3,50 m.
- Se prohíben los arcenes de anchos comprendidos entre 1,00 y 2,00 m. (tabla 2)
- Los principios para seleccionar la sección para un túnel bidireccional son:
 - Homogeneidad con las vías de acceso;
 - Satisfacer las necesidades del tráfico (IMD, porcentaje de pesados, crecimiento hasta el año horizonte, etc.);
 - Mantener el nivel de servicio, teniendo en cuenta las necesidades derivadas del tipo de itinerario y los riesgos derivados de una avería o por la congestión;
 - Coste de la infraestructura;
 - Necesidades derivadas de las instalaciones del túnel;
 - El ancho mínimo debe de ser de 8,85 m, con el fin de permitir el cruce de camiones, a velocidad muy reducida, junto a otro vehículo pesado detenido por avería;
 - Las distancias de visibilidad requeridas deberán ser acordes con la tabla de este documento;
 - Se propone adoptar una banda central de seguridad (mediana central);
 - Si se desea instalar barreras de seguridad en mediana, su altura debe ser por lo menos de 45 cm;
 - Altura libre (gálibo): 4,50 m en carreteras principales y 4,30 m como mínimo.

NORUEGA – Norwegian Design Guide for Road Tunnels [2]

- Define diversos tipos de túnel (T5.5 a T9.5), con anchuras totales entre hastiales de entre 5,5 m a 9,5 m, en función de su categoría.
- Las categorías, denominadas A, B, C, D, E y F se definen en función del tráfico (IMD e intensidad horaria máxima IHmax) y de la longitud del túnel. (tabla 3)
- Si la longitud supera los 2,5 Km, la categoría del túnel puede subir un grado. (tabla 4)
- Carriles lentos de anchura 3,50 m (mínimo 3,0 m).
- Carriles: 3,50 m (mínimo 3,0 m).
- Altura libre (gálibo) en carriles y arcenes (mínimo 4,10 m).
- Establece distancias de visibilidad, acordes con la tabla de este documento.
- Inclinación máxima de la rasante en función de la IMD, longitud y existencia de vía lenta. (tabla 5)
- Si existe vía lenta, puede aumentarse un 1% la pendiente.
- Carril lento: si la rampa supera 1 km, o la inclinación supera el 6%, debe habilitarse un carril adicional a partir de la sección en la que la diferencia de velocidad entre vehículos ligeros y pesados supere los 15 km/hora, en cuyo caso debe mantenerse al menos durante 1km.

ESPAÑA – Norma 3.1 – IC Instrucción de Carreteras. Febrero 1996* [4]

- Sección transversal: debe diseñarse para alcanzar la capacidad en un horizonte de 20 años.
- En carreteras principales, al llegar al año horizonte se debe disponer de un cierto margen de capacidad.
- Se dispone banda central de mediana por motivos de seguridad.
- Dimensiones de la sección transversal: (tabla 6)

* Borrador disponible cuando la redacción. El texto definitivo se aprobó el 27 de diciembre de 1999.

Tabla 2. Normativa francesa.

Secciones tipo	Carriles	Arcenes	Acera
T10.2 Sección grande	2*3,50 m	2*1,00 m	2*0,60 m
T9.4 Sección media	2*3,50 m	2*0,60 m	2*0,60 m
T8.8 Sección mínima	2*3,50 m	2*0,30 m	2*0,60 m
Secciones sin marcas viales de arcén (*)			
T8.20	2*3,50 m	-	2*0,60 m
T7.20	2*3,00 m	-	2*0,60 m

(*) Para estas secciones se recomienda pintar las marcas viales junto a los bordillos.

Tabla 3. Normativa noruega.

Categoría de túnel	IMD Veh/día	Sección Tipo
A	<300	T5.5
B	<5000	T8.5
C	<7500	T9.5
D	<10000	T9.5
E	<15000	Doble túnel (2xT8.5)
F	>15000	Doble túnel (2xT9.5)

Tabla 4. Normativa noruega.

Secciones de túneles Bidireccionales	Carriles	Arcenes	Acera
T5.5 Categoría A en vías locales o secundarias	2*2,75 m	-	-
T8.5 Categoría B o C en vías principales	2*3,25 m	2*1,00 m	-
T9.5 Categoría C o D en vías principales	2*3,50 m	2*1,25 m	-
T11.5 Categoría B,C y D cuando son necesarios tres carriles o carril de emergencia	2*3,25 +	2*1,00 m	-
	1*3,00 m		-

Tabla 5. Normativa noruega.

Tabla de pendientes máximas				
Tipo de túnel	Bidireccional		Unidireccional	
IMD (Veh/día)	≤1.500 veh/d	>1.500 veh/d	≤15.000 veh/d	>15.000 veh/d
Pendiente máxima	8 %	7 %	7 %	6 %

Vías lentas:

- Deben evitarse las vías lentas en el interior de los túneles.
- Es necesario disponer una vía lenta cuando se da una de las siguientes características:
 - nivel de servicio peor que la capacidad en el año horizonte;
 - la velocidad de los vehículos pesados es menor de 40 km / h.

Inclinaciones de la rasante:

- Los túneles con longitud < 500 m deben tener una pendiente constante.
- Deben evitarse rampas superiores al 3%.
- Deben evitarse las vías lentas en los túneles, proyectando las rampas para que las velocidades de los vehículos pesados no bajen de 60 km / h.

REINO UNIDO – BD2 (DMRB 1.1) part III, and TD27/96 Cross sections and headrooms [3]

- Deben evitarse las intersecciones en túneles.
- Se acepta reducir la sección transversal en los túneles respecto a la de cielo abierto.
- Capacidad básica de 1800 veh/hora por carril, con un 5% de vehículos pesados, previendo ajustes en función de la variación (gradiente) y la presencia de otros porcentajes de vehículos pesados. (tabla 7)
- Efectúa los cálculos de capacidades según el HCM-1995 [14] *. (* La versión actual es la HCM-2000 [15])
- Propone velocidades de proyecto mínimas para túneles. (tabla 8)
- Propone utilizar coeficientes de rozamiento mayores en túnel que en el exterior.
- Permite el adelantamiento en túneles bidireccionales, en caso de buena visibilidad, pero lo desaconseja si $L < 400$ m.

Tabla 6. Normativa española.

Túneles bidireccionales			
	Longitud ≤ 500 m	Longitud > 500 m	
		Vías principales	Otras vías
Ancho de carril	Como en el exterior	3,50	3,50
Arcenes	Como en el exterior	1,50	1,00
Banda central de separación	No	1,00	1,00
Aceras	0,75	0,75	0,75
Gálibo sobre carriles y arcenes	5,00	5,00	5,00
Gálibo sobre las aceras	2,00	2,00	2,00

Tabla 7. Normativa del Reino Unido.

Tabla de correcciones a la capacidad básica por carril (%)		
% Pesados	Gradiente (%)	
	< 2%	< 4%
5 %	-	-15%
10%	-5%	-20%
15%	-10%	-25%
20%	-15%	-30%

Tabla 8. Normativa del Reino Unido.

Velocidad de proyecto mínima (km/h)	Tipo de túnel	
	Falso túnel	Excavado
deseable	Como en el exterior	85
mínimo absoluto	Como en el exterior	70

- Establece distancias de parada acordes con las de la tabla de este documento.
- Pendientes no mayores del 6%.
- No aconseja carriles lentos.
- Altura libre (gálibo) sobre aceras: 2,30m.
- Altura libre en carriles y aceras (como la del exterior + 0,50 m).
- Aceras para peatones de 1,00 m de los que 0,6 m deben tener altura libre no restringida. A pesar de ello los peatones no se permiten en la práctica.
- Altura de aceras sobre la calzada: 0,075 m. Se sugieren bordillos montables.
- Ancho de carriles: 3,60 m (norma RD27 standard).
- Ancho de arcenes mayor o igual a 1,15 m (norma RD27 standard).

3. Velocidades de circulación e intensidades de tráfico

3.1. Características generales del tráfico

- La circulación en un túnel bidireccional es similar, pero no idéntica, a la de una sección equivalente a cielo abierto. Parecen detectarse capacidades algo superiores en el túnel, que según diversos estudios [16] se derivan del mayor nivel de atención de los conductores y de una menor presencia de maniobras que produzcan discontinuidades en el flujo de vehículos.
- El documento de referencia utilizado en este capítulo para calcular la capacidad es el Highway Capacity Manual del año 2000

- [15], que considera diversas tipologías viarias para la circulación en doble sentido. Estas tipologías son: carreteras de dos carriles bidireccionales, caracterizadas por la total interacción entre los flujos en ambas direcciones, y carreteras multicarril, en las que los sentidos de circulación están separados diferentes medios, desde una barrera física no franqueable hasta simples marcas viales. En dichas carreteras multicarril, ambos flujos circulatorios no se interaccionan o lo hacen en mínimo grado.
- A cielo abierto, en una sección tipo de carretera, con un carril en cada sentido y sin separación física entre ambos, existe con una fuerte interacción entre las dos corrientes de tráfico. Así pues, el comportamiento está notablemente influenciado por la posibilidad de adelantamiento, previa comprobación de disponer suficiente distancia de visibilidad, en ausencia de otras regulaciones.
 - Cuando la interacción entre sentidos es muy pequeña, sea por la existencia de una separación física o por una regulación que no permita el adelantamiento en ningún caso en que deba invadirse el sentido contrario, el funcionamiento de la vía se asemeja en gran medida al de una carretera multicarril.
 - El caso de túneles de dos carriles y doble sentido de circulación presenta multitud de similitudes con el funcionamiento de una carretera multicarril, más que con el de una carretera bidireccional. No se da aquí con tanta frecuencia el fenómeno, predominante en los túneles unidireccionales, de que su presencia creciente hace que los conductores, se habitúen a atravesarlos y que no presten especial atención a la circulación. Por el contrario, aún en la actualidad, el cruce de un túnel bidireccional aumenta la atención del conductor, que por otra parte sabe que no debe adelantar en todo el túnel. Según ciertos estudios ([10], [11]) la inferior interdistancia entre vehículos en los carriles de un túnel, claramente menor que en el exterior, representa una evidencia de la mayor atención durante la conducción.
 - El caso de túneles bidireccionales con varios carriles en el mismo sentido suele estar aún más claramente situado en el terreno de las carreteras multicarril. No son muy habituales los túneles bidireccionales de más de cuatro carriles en total, excepto en zonas urbanas, y generalmente disponen de mediana con separación física. Estos túneles con varios carriles por sentido, sobre todo si las condiciones geométricas y de iluminación son de alta calidad, pueden llegar a comportarse como los túneles unidireccionales, en cuyo caso la capacidad y las velocidades deben estudiarse según el procedimiento del correspondiente apartado del documento "Cross section geometry on uni-directional road Tunnels" publicado por la AIPCR en marzo de 2001 [1].
 - Un caso particular es la existencia de una vía lenta en el sentido ascendente del túnel. En este caso debe adoptarse una decisión respecto a las condiciones predominantes de circulación en cada caso concreto:
 - Si el carril adicional se comporta esencialmente como específico para vehículos pesados, que circulan con elevada diferencia de velocidad respecto a los que circulan por el carril rápido, el comportamiento es el de una vía lenta típica;
 - Si el carril adicional es usado por todo tipo de vehículos y su funcionamiento es similar al de los otros carriles, proporcionando únicamente un incremento de la capacidad, debe tratarse como un carril de una vía multicarril.
 - Cuando se realice un estudio de capacidad, debe decidirse si se consideran por separado diferentes tramos o secciones del túnel o es más apropiado estudiar el túnel en su conjunto. Desde luego, si varía la sección transversal, la sección mínima marcará la capacidad del conjunto. Con respecto al perfil longitudinal, debe hacerse un estudio para determinar si se pueden combinar una sucesión de rampas y pendientes de diversas inclinaciones en una sola, o si cada una debe estudiarse por separado. En estos casos hay que hacer algunos tanteos para determinar el punto más limitativo para la capacidad. Este punto coincide usualmente con el punto de mínima velocidad para los vehículos pesados.
 - Así pues, y con las limitaciones indicadas, este capítulo describe las variaciones en la capacidad de un túnel bidireccional en función de las variaciones geométricas y de trazado del mismo, y de las oscilaciones y la composición del tráfico. Con este fin se han adaptado los cálculos de Highway Capacity Manual 2000 [15] y de otros estudios al caso de túneles bidireccionales con un máximo de cuatro carriles. Las tablas, los coeficientes y los procedimientos generales son los del HCM-2000 [15], aunque, en ocasiones, la presentación de los cálculos difiere significativamente del documento de procedencia. Los factores de equivalencia de camiones en rampa son una excepción, pues son los de la versión de 1995 del HCM [14], dado que en la versión de 2000 se obtienen los factores para camiones con una relación potencia / peso muy elevada, que no se adapta adecuadamente al comportamiento habitual en la mayoría de los países.

3.2. Cálculos de velocidad y capacidad

El procedimiento para estimar la capacidad de un túnel pasa por calcular por separado las capacidades parciales de cada sentido de circulación.

En el caso más frecuente de tener un único carril por sentido, la capacidad se calcula usando la metodología para carriles de uso general que se expone a continuación. Por el contrario, si existe más de un carril por sentido de circulación debe comenzarse el análisis por la determinación del flujo de circulación predominante en cada sentido, en condiciones de tráfico denso, es decir en condiciones próximas a una situación de plena capacidad o saturación. Tal y como se ha indicado anteriormente puede ocurrir que los dos carriles de circulación en un mismo sentido sean ocupados indistintamente por todo tipo de vehículos, o bien que el carril lento esté reservado casi exclusivamente para los vehículos pesados.

Para diferenciar ambos casos, puede indicarse que la existencia de fuertes inclinaciones de subida o de bajada, y un elevado porcentaje de vehículos pesados tienden a especializar el carril lento como vía lenta específica, mientras que un trazado suave y poca o ninguna presencia de vehículos pesados tienden a producir situaciones de carretera multicarril. En los túneles es más frecuente que, en condiciones próximas a la capacidad, los carriles tiendan a usarse de forma parecida, con algo mayor presencia de vehículos pesados sobre el carril lento, mientras que con intensidades de tráfico reducidas, se produce una especialización de los camiones exclusivamente en el carril lento, usándose el carril rápido sólo para adelantar. Respecto a este hecho, resulta recomendable que los responsables de la explotación del túnel intenten que los carriles rápidos de un túnel con más de un carril por sentido se usen tan solo si la capacidad del carril lento no resulta suficiente para alojar la

intensidad de circulación, dado que la seguridad del tráfico es mayor si se mantiene un carril libre entre ambos sentidos del túnel. Por supuesto, en el caso que esté prohibido el adelantamiento de vehículos pesados a otros vehículos pesados en el interior del túnel, el carril rápido estará libre de este tipo de vehículos. Esta medida de regulación tiende a incrementar la seguridad en condiciones de baja a media intensidad de tráfico, pero puede, ciertamente, limitar la capacidad del túnel, al imponer de hecho sobre el carril lento la velocidad del vehículo más lento de los que circulen por él.

Si la situación predominante es la de carril lento específico, el procedimiento a seguir será determinar la capacidad de ese carril, y por separado la del carril rápido con muy pocos o ningún vehículo pesado. En primer lugar se indica el procedimiento de cálculo de la capacidad de un carril normal, o de los dos con un uso predominante parecido, y a continuación se estima la capacidad adicional que proporciona una vía lenta específica.

3.2.1 Capacidad Teórica y Capacidad Práctica

La capacidad teórica de un tramo de carretera, se define como la máxima intensidad de vehículos que puede ser soportada durante un periodo de 15 minutos, expresada en términos de vehículos por hora. Dicho valor no es un máximo absoluto sino que corresponde a un valor razonablemente repetible. Expresada así, la capacidad sólo depende de la geometría del tramo. No depende del porcentaje de vehículos pesados, puesto que la intensidad será claramente la máxima cuando el tráfico esté formado exclusivamente por vehículos ligeros y conductores habituales.

Cuando se desee relacionar la capacidad con el número de vehículos considerando la existencia de un porcentaje de vehículos pesados, debe hacerse referencia a la capacidad

práctica. Ésta se define como la máxima intensidad de vehículos por hora que pueden atravesar una sección en un periodo de quince minutos, en función de la composición del tráfico predominante en ese lugar.

3.2.2 Capacidad de los carriles de uso general

Este apartado es de aplicación para todos los casos en los que un solo carril es tenido en cuenta para cada sentido de circulación, así como para el cálculo de la capacidad del carril rápido, cuando el carril lento esté especializado como vía lenta, que debe estudiarse por separado. También puede aplicarse este apartado al caso de la determinación de la capacidad total del conjunto de dos carriles con un uso similar en un mismo sentido de circulación.

La determinación de la capacidad se realiza en dos etapas, en la primera de ellas se calcula la capacidad teórica a partir de la velocidad en régimen fluido VRF. Después se ajusta la capacidad teórica en función del porcentaje de vehículos pesados y del tipo de conductores, obteniendo la capacidad práctica.

La VRF es la velocidad media de los vehículos ligeros cuando no hay mucho tráfico que de lugar a unos vehículos retrasen a otros. Para determinar la VRF puede recurrirse a la estimación directa, cuidando que la intensidad sobre el carril de que se trate no supere los 1400 vl/h (vehículos ligeros por hora), y que no exista otro tipo de vehículos. Si la VRF se mide directamente, no son necesarios ajustes, pero debe tenerse la precaución de medir correctamente las velocidades en el conjunto de la longitud del túnel o del tramo en estudio. Dichas velocidades deben medirse promediando los tiempos de recorrido sobre el tramo, no debiendo hacerse el cálculo promediando las velocidades instantáneas en un punto, lo que falsearía los resultados.

Si no se puede recurrir a la estimación directa se pueden basar los cálculos en la velocidad base en régimen fluido (VBRF) que sólo depende de la geometría y de los límites de velocidad. Se estima que esta velocidad es ligeramente inferior (de 5 a 10 km/h) que la velocidad de proyecto del tramo, o ligeramente superior (de 8 a 15 km/h) que la limitación de velocidad existente.

A partir de la VBRF se determina la VRF mediante la aplicación de unos coeficientes de reducción que dependen de los elementos siguientes:

- C_A : anchura de los carriles, cuando ésta es inferior a 3,60 m
- C_W : despeje lateral a ambos lados en el sentido de circulación (zona exterior a la calzada + mediana central, si existe)
- C_M : tipo de separación entre sentidos.

$$VRF = VBRF - C_A - C_W - C_M$$

Los coeficientes de ajuste por anchura de carriles y por despeje lateral, corresponden a los indicados en las tablas siguientes:

(tabla 9 y 10)

Los anchos de carril no deben incluir las marcas viales, excepto las de separación entre carriles del mismo sentido de circulación, que se consideran incluidas en los carriles adyacentes.

El despeje lateral debe comprender toda la zona exterior a la calzada más la banda central de separación de sentidos de circulación, si existe. Para el cálculo no tendrán en cuenta los anchos superiores a 1,80 m para cualquiera de los dos coeficientes es decir que los anchos de zona exterior a la calzada y de banda central de separación superiores a 1,80 m se considerará: como 1,80 m. El ancho de las aceras se incluirá en el despeje lateral excepto si se encuentran fuertemente sobreelevadas respecto al arcén. Si la separación entre sentidos es únicamente una línea pintada en el pavimento, simple o doble, el despeje lateral en el centro será cero.

El coeficiente de reducción por el tipo de mediana C_M , sólo se tendrá en cuenta si no existen barreras fijas entre sentidos de circulación ni bandas de mediana central, en cuyo caso tiene un valor de 2,5 km/h. Esta reducción se debe al efecto de inseguridad que causa la circulación en doble sentido, que no afecta sensiblemente a los conductores cuando existe una barrera de mediana o una banda central de seguridad.

Una vez calculada la VRF, en km/h, mediante estimación directa o por reducciones a la VBRF, la capacidad teórica por carril CT/c se calcula mediante:

$$CT/c = (VRF \times 10 + 1.200) \text{ en vehículos ligeros por hora y carril vl/h,c}$$

Así pues, para una VRF de 70 km/h, la CT/c es de 1.900 vl/h,c. No se han observado capacidades teóricas superiores a los 2.200 y no existen datos fiables para velocidades en régimen fluido por debajo de los 60 km/h.

Si existen dos carriles en un mismo sentido, no siendo el carril lento del tipo especializado, la capacidad del túnel en este sentido es dos veces la de un carril.

A partir de la Capacidad Teórica, CT/c, se obtiene la capacidad práctica, CP/c, mediante la aplicación de los coeficientes de reducción siguientes:

- Factor de hora punta, C_{HP} que representa la relación de la intensidad horaria a máxima capacidad frente al cuádruple del número máximo de vehículos durante un periodo de 15 minutos de la hora punta. Este factor tiene en cuenta la dispersión de las intensidades durante el período de hora punta y se emplea para calcular la capacidad real, que se expresa en términos de la intensidad máxima sostenible durante periodos de 15 minutos. Este factor suele oscilar entre 0,92, para casos en que el flujo sea muy uniforme, hasta 0,80. Su valor debe obtenerse por observación o utilizando valores empleados por defecto.
- Coeficiente según el conductor, $C_{C'}$ que refleja el grado de conocimiento y hábito de uso del túnel por los conductores. Sus valores están comprendidos entre 1,00 y 0,85, correspondiendo el valor 1,00 a conductores que son habituales en el túnel y el 0,85 a una población de comportamiento recreacional, o que no han usado anteriormente éste u otros túneles similares.
- Factor de vehículos pesados en rampas, C_{VP} que corresponde al efecto de los vehículos lentos sobre el flujo de vehículos ligeros. El coeficiente de ajuste por la presencia de vehículos pesados C_{VP} se obtiene a partir del coeficiente de equivalencia Eq de un vehículo

Tabla 9

Ajuste por anchura de carriles C_A	
Ancho de carril	Reducción de la VBRF (en km/h)
3,60 m	0,0
3,50 m	1,0
3,40 m	2,1
3,30 m	3,1
3,20 m	5,6
3,10 m	8,1
3,00 m	10,6

Tabla 10

Ajuste por despeje lateral C_W	
Ancho total de despeje lateral	Reducción de la VBRF (en km/h)
3,60 m	0,0
3,00 m	0,6
2,40 m	1,5
1,80 m	2,1
1,20 m	3,0
0,60 m	5,8
0,00 m	8,7

pesado (autobús o camión) en vehículos ligeros. Éste se determina como la relación entre la intensidad de vehículos pesados (camiones, autobuses, vehículos articulados) y la intensidad de turismos. El factor de equivalencia E_q varía entre 1,5 y 10 para camiones y autobuses, dependiendo de la longitud y de la inclinación. Sus valores se muestran en la tabla de la página siguiente.

Una vez determinado el coeficiente E_q , en función de la inclinación y de la longitud de la rampa, así como del porcentaje de vehículos pesados, el Coeficiente C_{VP} se calcula como sigue:

$$C_{VP} = 1 / (1 + P_c (E_q - 1))$$

Donde P_c es el porcentaje de vehículos pesados sobre el total del tráfico.

La capacidad práctica, CP, se calcula multiplicando la capacidad teórica, CT, por los tres coeficientes indicados.

$$CP = CT * C_{HP} * C_{VP} * C_C$$

(tabla 11)

3.2.3 Capacidad de una vía lenta específica

En el caso en el que el carril lento sea específico, su capacidad práctica puede estimarse a partir de la intensidad total de vehículos pesados que puede soportar dicho carril, en función de su inclinación y de su longitud. Para ello se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$CPcl = (10 * V_p + 1.200) / E_T$$

Donde V_p es la velocidad media de los vehículos pesados en la rampa en condiciones de alta intensidad de tráfico. En el caso en el que no pueda determinarse directamente, puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$V_p = [0,30 * (\text{potencia} / \text{peso})] / (i + 0,015)$$

Tabla 11

Inclinación (%)	Longitud de la rampa (m)	E_q Coeficiente de equivalencia en rampa					
		Porcentaje de vehículos pesados (%)					
		4	6	8	10	15	20
< 2	Todos	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	0 - 400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2	400 - 800	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	800 - 1200	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	1200 - 1600	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
	1600 - 2400	3	3	2,5	2,5	2	2
	> 2400	3,5	3	2,5	2,5	2	2
3	0 - 400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400 - 800	2,5	2	2	2	2	1,5
	800 - 1200	4	3,5	3,5	3	2,5	2
	1200 - 1600	5,5	4,5	4	4	3,5	3
	1600 - 2400	6	5	4,5	4	4	3
4	> 2400	6	5	4,5	4,5	4	3
	0 - 400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400 - 800	4	3,5	3	3	3	2,5
	800 - 1200	7	6	5,5	5	4,5	4
	1200 - 1600	8	6,5	6	5,5	4	4,5
5	> 1600	8	7	6	6	5	5
	0 - 400	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400 - 800	4,5	4	3,5	3	3	2,5
	800 - 1200	7	6	5,5	5	4,5	4
	1200 - 1600	9	8	7	7	6	6
> 2400	1600 - 2400	9,5	8	7,5	7	6,5	6
	> 2400	9,5	8	7,5	7	6,5	6

Donde la relación potencia/peso de los vehículos pesados está expresada en KW por tonelada y la inclinación de la rampa "i" en tanto por uno.¹

E_T es el equivalente para vehículos pesados o camiones, calculado según la tabla anterior, en la columna correspondiente al 20% o más de vehículos pesados. Si el número de camiones y de vehículos pesados no es suficientemente elevado como para saturar la vía lenta, la capacidad de ésta no estará totalmente utilizada. Algunos vehículos ligeros podrán circular por ella entre los camiones pero el resto de su capacidad no estará aprovechada de forma eficiente.

A título de ejemplo, una vía lenta de 3.000 m de longitud con una pendiente del 3% de lugar a un E_T de 3,0, mientras que la velocidad media V_p para camiones de 8 KW/t de potencia es de 53 km/h. Así pues la capacidad práctica del carril es de:

$$CPcl = (10 * 53 + 1.200) / 3,0 = 577 \text{ vehículos por hora}$$

¹ Esta fórmula permite estimar la velocidad constante de los vehículos pesados en rampas prolongadas, sin tener en cuenta el efecto de resistencia del aire y suponiendo que la capacidad de transmisión del motor del camión es un 80% y el coeficiente de resistencia a la rodadura es de 15 k/t.

3.2.4 Distribución del tráfico entre sentidos de circulación

Cuando se han determinado las capacidades de cada uno de los sentidos de circulación del túnel por separado, ambos valores deben combinarse para determinar la capacidad total. Si en el momento actual, o en el futuro, existe suficiente intensidad de tráfico como para saturar ambos sentidos simultáneamente, la capacidad total es, simplemente, la suma de las capacidades de ambos sentidos.

Sin embargo, es frecuente que en uno de los sentidos exista poca intensidad mientras que en el otro sea máxima. Si ello es lo habitual, la capacidad del túnel será la suma de la capacidad máxima de uno de los sentidos más la intensidad en el otro en el mismo período horario, caso de que esta última sea inferior a la capacidad calculada. En efecto, el túnel podría tener mayor intensidad en uno de los dos sentidos, pero si no puede soportarla, el túnel queda saturado (al menos en uno de sus sentidos) con una intensidad total, suma de ambos sentidos, menor que la capacidad práctica calculada.

3.2.5 Capacidad diaria

Resulta también frecuente expresar la capacidad práctica en vehículos al día, en vez de vehículos por hora. La relación entre la IMD máxima y la capacidad depende del tipo de tráfico y del entorno del túnel, siendo del orden de 11 veces superior la IMD en vías urbanas o metropolitanas muy saturadas y hasta 6 veces superior en vías rurales y con tráfico de tipo turístico.

4 Frecuencias de incidentes y accidentes

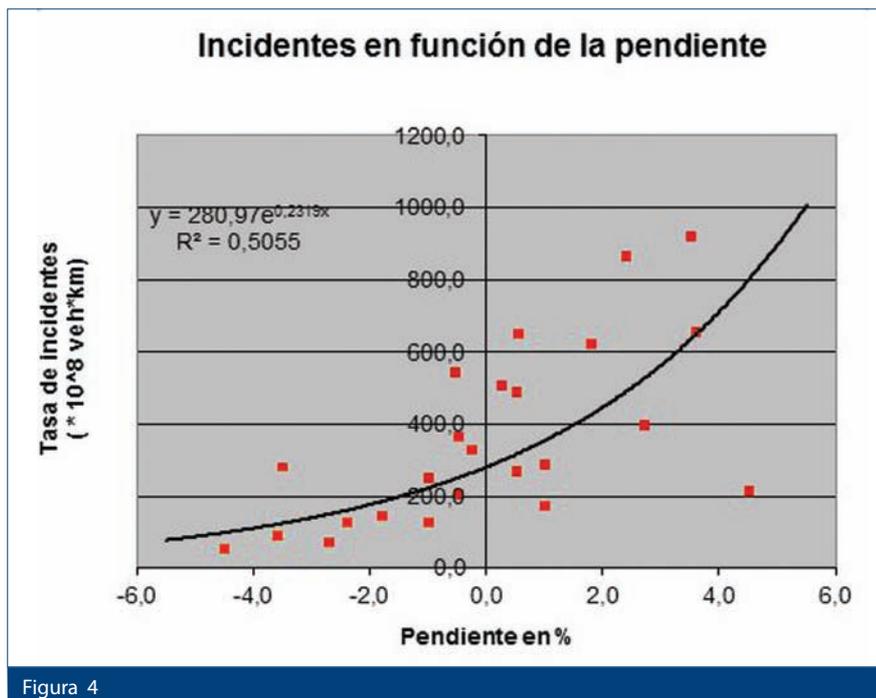
- Resulta difícil comparar datos entre distintos países, debido a la diferente definición de los heridos, incidentes, etc. Sin embargo,

pueden indicarse algunos aspectos que son comunes a todos los datos disponibles.

- Aproximadamente, la tasa de incidentes en túneles bidireccionales se encuentra en torno a los 750 incidentes por cada 10^8 vehículos por kilómetro, con una dispersión de $\pm 40\%$. Este valor es, aproximadamente, un 25% superior a la de los túneles unidireccionales. Se denomina incidente a la detención de un vehículo en el interior del túnel por cualquier causa, excepto la congestión del tráfico. ([6], [7]).
- La pendiente del túnel tiene una significativa influencia en el número y frecuencia de los incidentes, siendo claramente superior en el sentido ascendente que en el descendente. Este fenómeno parece derivarse de la tendencia de los conductores a salir del túnel por sus propios medios, si les resulta posible. ([6], [7], [9]).
- Además de la pendiente en el interior del túnel, las pendientes fuertes o prolongadas en los accesos al túnel incrementan la tasa de incidentes dentro del mismo. [7].
- El gráfico muestra la relación entre las pendientes longitudinales medias de túneles y las tasas de incidentes, en los casos en que se dispone de datos diferenciados por sentidos en el túnel ([6], [7], [9]).
- En los túneles que disponen de apartaderos, incluso en los casos en que éstos estén claramente señalizados, es raro que su uso sea superior al 40% de las detenciones [7]. Así pues, la presencia de apartaderos puede ayudar notablemente, pero no parece sustituir totalmente a la necesidad de una zona de detención de vehículos adyacentes a la calzada.
- Las tasas de accidentes en túneles son mucho menores que las de incidentes. Existe una gran dispersión entre las definiciones de herido leve y de herido grave entre los diversos países, e incluso en algunos casos las muertes por accidente de circulación sólo se incluyen en las

estadísticas si se producen en un lapso breve desde el siniestro. En consecuencia, a continuación se indican tan sólo tendencias generales, debiendo considerarse las cifras como propias de cada túnel y de las circunstancias del túnel en cuestión.

- En general, los túneles tienen una tasa de accidentes similar o inferior a la de las vías equivalentes a cielo abierto ([8], [9], [12]), siendo en ciertos casos incluso muy inferior. Los túneles bidireccionales presentan tasas de accidentalidad con heridos de entre un 25 a un 30% superiores a las de los unidireccionales. Sin embargo no todos los estudios obtienen los mismos resultados. Puede observarse que el aumento del porcentaje es similar a lo indicado anteriormente respecto a las tasas de incidentes ([6], [7], [12]).
- Existe una zona de concentración de accidentes en las proximidades de las bocas de los túneles, que según ciertas referencias [8] se extiende a unos cincuenta metros en el exterior. Las causas de ello parecen ser las maniobras de cambio de sentido, relativamente frecuentes en dichas zonas. Otro factor que parece determinante es la calidad de la iluminación, tanto en los accidentes a la entrada por una defectuosa adaptación a la oscuridad, como en los accidentes en la zona central, cuando no existe iluminación en el túnel [8]. Las zonas centrales de los túneles son, sin embargo, las más seguras.
- Los accidentes debidos a colisión frontal aumentan mucho cuando los carriles son inferiores a los tres metros [8]. Los accidentes debidos a alcances aumentan al crecer la intensidad de tráfico IMD, por los efectos de la congestión.
- La tasa de accidentes, expresada en accidentes con heridos por cada cien millones de vehículo-kilómetro, disminuye con la longitud del túnel y con la IMD. La causa de la disminución ligada a la longitud del túnel es el efecto de la zona



- próxima a las bocas, relativamente menos importante en túneles largos, mientras que la disminución de la tasa al crecer la IMD se produce también en todos los tipos de vías, incluso a cielo abierto.
- La adición de un carril para vehículos lentos parece mejorar la seguridad en los túneles [8].
 - Las fuertes pendientes (superiores al 9%) aumentan el número de accidentes [8]. No está, sin embargo claro el efecto de las pendientes o rampas cuando las inclinaciones son pequeñas.
 - No existen estudios que permitan relacionar con claridad las características de trazado (curvaturas en planta y en alzado) ni los anchos de despeje lateral con las tasas de accidentes. Sin embargo, algunas situaciones específicas parecen conducir claramente a mayores tasas de accidentes. A pesar de ello, los túneles diseñados con buenas condiciones geométricas muestran una disminución notable en los indicadores de accidentalidad.
 - Existen evidencias de que los túneles con incorporaciones o salidas en su interior llegan a tener tasas de accidentabilidad varias veces superiores a las de los túneles similares sin estos puntos especiales [5].

5. Trazado en planta

- Las curvaturas en planta tendrán los radios mínimos que correspondan a la velocidad de proyecto del túnel. Adicionalmente debe comprobarse que el despeje lateral en las curvas a derecha en el sentido de circulación proporcione suficiente visibilidad de parada. Las normas y recomendaciones de trazado propias de cada país proponen valores similares para estos parámetros, por lo que no es necesaria una ulterior armonización.
- No se desaconsejan las alineaciones rectas, pero conviene que no tengan más de 1500 m de longitud por el efecto de excesiva concentración de la vista en un punto que puede distraer al conductor, o incluso inducirle a aumentar inconscientemente la velocidad.
- Por el mismo motivo, conviene que los últimos metros del túnel tengan una suave curvatura en planta, preferiblemente en el sentido en el que no quede limitada la visibilidad. En túneles bidireccionales resulta más conveniente proporcionar mayor visibilidad en el sentido de entrada, dado que es en el que la variación de iluminación causa una mayor pérdida de visión. Esta

disposición se hace especialmente necesaria si la orientación del túnel es este-oeste, para evitar el deslumbramiento a la salida, en la puesta o salida del sol.

- Tanto en la entrada como en la salida del túnel, que son lugares con cierta tendencia a la concentración de accidentes, conviene disponer los medios que sean necesarios para una adaptación gradual a sus condiciones de iluminación. Además de en la propia iluminación del túnel, se puede actuar en el diseño de las bocas, en la orientación del trazado y en otra serie de medidas que tiendan a centrar la atención de los conductores.
- Si se quiere mantener una determinada velocidad media en el túnel, los radios mínimos en planta deben diseñarse para permitir esa velocidad. Sin embargo, en tramos curvos, y especialmente en curvas que limiten la visibilidad, la velocidad admisible depende de que el despeje lateral permita la visibilidad de parada. Las anchuras de despeje precisas para determinadas combinaciones de velocidades y radios de curvatura pueden ser difíciles de conseguir en túneles, por lo que el proyectista debe considerar en detalle esta circunstancia (Ver capítulo 7.6)
- Se recomienda que los túneles bidireccionales tengan limitada su velocidad máxima a 90 Km/hora o a un valor inferior si su geometría (sección, radios o pendientes) tiene factores limitativos. En este caso, la velocidad permitida debe ser la correspondiente a una velocidad segura para las condiciones del túnel y del tráfico.
- Aunque los túneles no padecen los efectos de la lluvia que disminuyen el coeficiente de resistencia al deslizamiento, tampoco gozan de las ventajas de limpieza del pavimento que ella produce, por lo que se recomienda que los valores de dicho coeficiente se consideren similares o algo inferiores a los del exterior,

a los efectos de cálculos de los radios admisibles y de las distancias de parada.

6. Trazado en alzado

- Es muy frecuente que los túneles se proyecten con un punto alto en su interior, en cuyo caso, análogamente a cuando lo que se disponga sea de un punto bajo, debe verificarse si ello puede originar problemas en cuanto a la ventilación.
- Elevadas inclinaciones de la rasante (superiores al 3,5%) dificultan la ventilación dado que el efecto chimenea (tendencia ascendente de los gases por la diferencia de alturas entre puntos del túnel respecto al nivel de referencia) es muy importante, por lo que debe verse una fuerte resistencia para establecer un flujo de aire que lo supere [13]. Ello es mucho más importante en caso de incendio dada la mayor tendencia ascendente de los humos calientes.
- La pendiente longitudinal no debe superar el 4% en túneles bidireccionales. En caso de ser necesario, deberá tenerse en cuenta en el proyecto del sistema de ventilación.
- Si se dispone un carril adicional en rampa para vehículos lentos, éste deberá proyectarse, siempre que sea posible, con su inicio y final en el exterior del túnel, con el fin de evitar que las maniobras de incorporación y adelantamiento puedan ser causa de mayor riesgo en el túnel.
- Cualquier cambio en la pendiente de un túnel debería cumplir con los mismos requisitos geométricos que en el exterior. En el caso de túneles con gálibo vertical reducido, se deberá prestar especial atención a las condiciones fuera del túnel en caso de que cualquier cambio cóncavo en la pendiente pueda reducir de forma importante la distancia de visibilidad.
- Siguiendo el criterio de no disponer de secciones de mínima capacidad

dentro del túnel, resulta preferible que cualquier variación de pendiente se realice con transiciones de mayor a menor rampa. Cuando esta disposición no sea posible, como por ejemplo en túneles sumergidos, se debe prestar especial atención a la posible formación de retenciones por disminución de la capacidad de la vía en el interior.

7. Geometría de la sección transversal

En este capítulo se establecen determinadas consideraciones sobre las distintas partes de la sección transversal de los túneles bidireccionales, basadas en las normativas internacionales y en los resultados de diversos estudios sobre la materia. En el apartado correspondiente a recomendaciones se hace una síntesis de ellas.

7.1 Anchuras de carril

- En general existe una gran coincidencia entre las recomendaciones internacionales que proponen que los carriles tengan anchuras iguales o superiores a los 3,25 m, siendo el valor deseable el de 3,50 m, que debe disponerse siempre que en el túnel se permita el tráfico de pesados. Esta anchura puede incluir la parte proporcional de marcas las viales del eje. En América del Norte, la anchura recomendada para los carriles es de 3,65 m (12 pies).
- Las marcas viales del eje deberían ser del tipo doble línea continua, para prohibir efectivamente el adelantamiento. La anchura de cada línea no debería ser inferior a 15 cm.
- Se recomienda que las marcas viales del eje del túnel sean rugosas para que contribuyan a disminuir las colisiones frontales por invasión del carril contrario. También da buenos resultados el balizamiento con ojos de gato asociados a las marcas viales o pequeñas balizas fijadas al pavimento, con el fin de

mejorar el guiado y disminuir el riesgo de invasión inadvertida del sentido contrario [11].

7.2 Anchuras de arcén

Existe una gran diferencia entre las recomendaciones de los distintos países en esta materia, que se reduce si se consideran conjuntamente los arcenes y las aceras, es decir la totalidad del espacio exterior a la calzada.

La zona exterior a la calzada comprende los arcenes y las aceras. También debe haber espacio suficiente para las barreras de seguridad, si es que están previstas en el tramo. Ello queda ilustrado en las figuras 4, 5 y 6.

- En túneles bidireccionales, ambos arcenes, izquierdo y derecho, deben tener igual anchura. La única excepción, tal y como se indica más adelante, podría ser en los túneles con más de un carril en el mismo sentido.
- Cuando sus dimensiones son máximas, las funciones de los arcenes son:
 - Incrementar la capacidad del carril;
 - Proporcionar una franja de espacio de seguridad permitiendo a los conductores que sobrepasen el borde del carril corregir trayectoria;
 - Proporcionar espacio para vehículos averiados;
 - Proporcionar un carril de emergencia para dar acceso a los servicios de socorro;
 - Facilitar las tareas de mantenimiento.
- Es importante respetar el criterio de seguridad que requiere un ancho mínimo circulable (carriles + arcenes) de 8,50 m, necesario para el adelantamiento de un vehículo pesado a otro vehículo detenido, sin impedir totalmente el paso en dirección contraria. ($3 * 2,50 + 4 * 0,25$ m) Este criterio debería respetarse en todos los casos, por lo

que el ancho del arcén debe completar al de los carriles en lo necesario para alcanzar esta anchura total. Sin embargo, existen países europeos en los que el adelantamiento no se permite aunque se produzca una detención por avería, lo que da lugar a una anchura necesaria menor, permaneciendo el tráfico detenido en ese sentido hasta que se resuelve el incidente.

- En algunos países se recomienda que los arcenes permitan la detención de un vehículo, no impidiendo ni restringiendo la circulación en sentido contrario. Ello significa que el ancho del carril más el ancho del arcén debería superar los 5,50 m, tal y como se indica en la mayoría de las recomendaciones internacionales para túneles bidireccionales de cierta importancia.
- La situación ideal sería que el arcén permitiese la detención de un vehículo totalmente fuera de la calzada, para lo cual se necesitaría un ancho mínimo de 2,50 m.
- Algunos países [5] consideran adicionalmente el espacio necesario para el descenso del conductor del vehículo, aumentando el ancho del arcén a 3,00 m.
- Los anchos de arcén entre 0,75 y 2,00 metros no son recomendados en algunos países, excepto en el caso de que también exista mediana central o se disponga de más de un carril en el mismo sentido. Un arcén inferior a 2,00 metros puede inducir a los vehículos con dificultades a detenerse ocupando parcialmente el carril pudiendo dar lugar en ese caso a una situación peligrosa cuando les rebase el tráfico que les sigue.
- En el caso de utilizar barreras de seguridad, flexibles o de hormigón, en el margen exterior del arcén, o adyacentes al hastial si existe acera, el espacio para colocarla debe dar lugar a incrementar la anchura del túnel, debiendo mantenerse los anchos establecidos para el arcén y la acera.

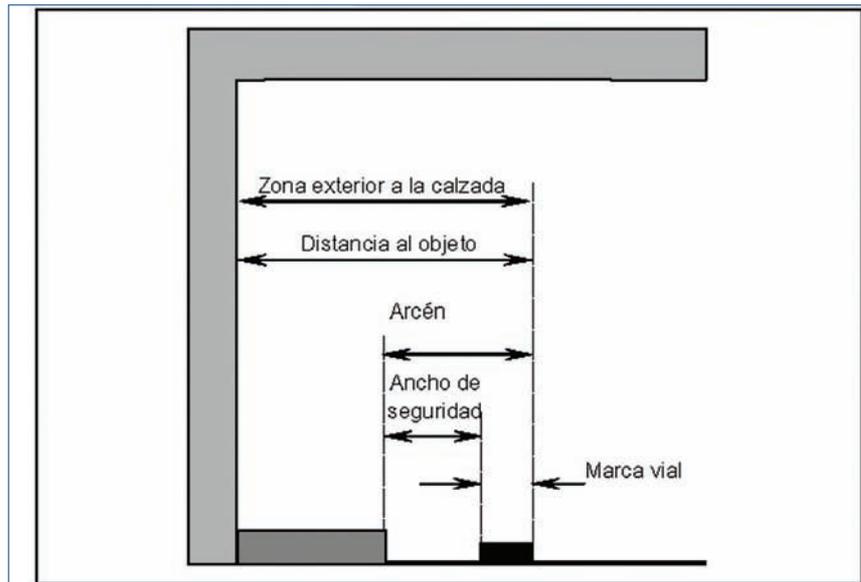


Figura 5. Elementos y funciones de la zona exterior en caso de haber aceras.

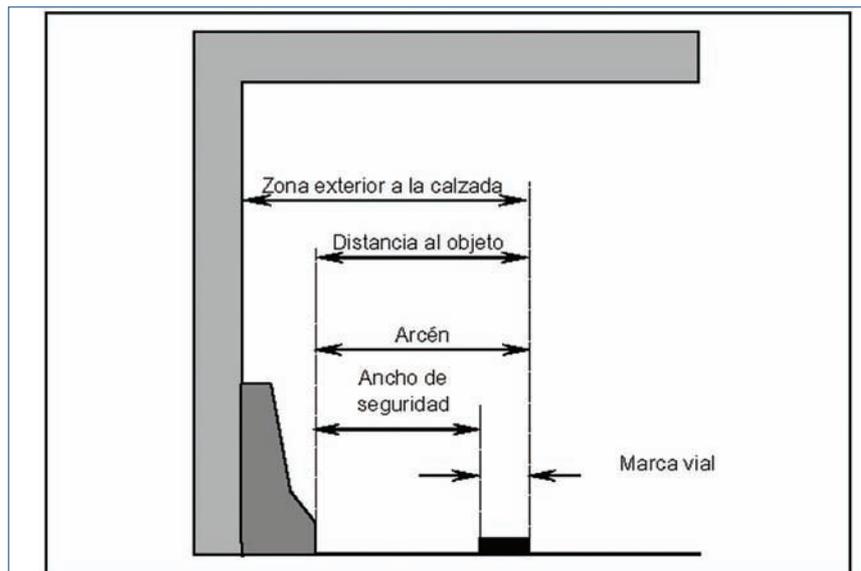


Figura 6. Elementos y funciones de la zona exterior en caso de barreras de seguridad rígidas.

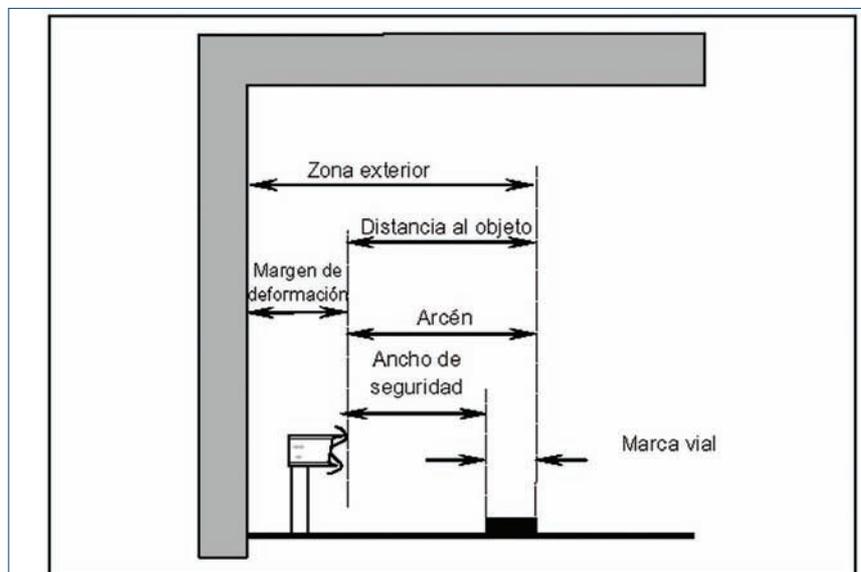


Figura 7. Elementos y funciones de la zona exterior en caso de existir barreras flexibles.

7.3 Mediana

- Una de las posibles soluciones para limitar el ancho total de un túnel bidireccional sin comprometer excesivamente la seguridad, consiste en disponer una franja central, mediana, prohibida a la circulación que separe los dos sentidos. La mediana tiene las siguientes funciones:
 - Separar los dos sentidos de circulación, mejorando la seguridad en el túnel;
 - Sustituir parcialmente a los arcenes, permitiendo rebasar a un vehículo detenido en el lateral, sin invadir el carril de sentido contrario;
 - Proporcionar un eventual carril libre para el acceso de los vehículos de los servicios de emergencia.
- Sin embargo, la mediana puede resultar peligrosa en determinados casos:
 - Detención en la mediana. Debería estar estrictamente prohibida la detención de un vehículo averiado en ella excepto en el caso de vehículos de explotación que deberá hacerse con la adecuada señalización y balizamiento. Para disminuir este riesgo conviene señalar con claridad la mediana para que no pueda confundirse con un carril de circulación ni con un espacio destinado al aparcamiento o estacionamiento.
 - Detención en el arcén. Si un vehículo se detiene junto al arcén en un punto de mala visibilidad (curva a derecha en los países donde se conduce por la derecha), con insuficiente visibilidad de parada, debido a radios reducidos o a un despeje lateral insuficiente, puede ser peligrosa la disposición de una mediana combinada con arcenes de pequeña anchura o inexistentes. En estos casos

resulta muy conveniente disponer arcenes de anchura suficiente para la parada segura de vehículos, no reduciendo su anchura aunque exista adicionalmente mediana.

- En caso de disponer mediana ésta debe tener un ancho entre uno y dos metros y medio, siendo posible disminuir en cierta magnitud la anchura de los arcenes, con las excepciones indicadas, hasta dejarlos en 0,50 m como mínimo.

7.4 Aceras

- Casi todas las reglamentaciones internacionales recomiendan que los túneles incluyan aceras para uso del personal de mantenimiento y, en caso de incidentes accesibles a los peatones. Las aceras tienen las siguientes funciones:
 - Aumentar el nivel de servicio. Su anchura incrementada a la del arcén aumenta la capacidad de la vía, aunque ello no es apreciable con anchuras superiores a 1,80 m (arcén + acera);
 - Guiar a los conductores, gracias a la línea marcada por los bordillos;
 - Impedir que los vehículos que hayan sobrepasado la marca vial del arcén colisionen con el hastial. Sin embargo esta función, que es la misma que se atribuye a las barreras de seguridad, es poco efectiva con las alturas habituales de los bordillos;
 - Permitir la apertura de las puertas de los vehículos que han tenido que detenerse, y las de los equipamientos del túnel (salidas de emergencia, nichos de seguridad, etc);
 - Permitir que los usuarios de la vía, que han tenido que detener su vehículo, puedan dirigirse sin peligro a los puntos de aviso de emergencia;

- Ocasionalmente, permitir que los usuarios en espera de auxilio por avería o accidente tengan unas mejores condiciones de seguridad;
 - Favorecer la seguridad del personal que hace las labores de mantenimiento;
 - Proporcionar espacio para albergar conducciones, cables y otros elementos de las instalaciones del túnel.
- Deben distinguirse tres casos:
 - a) Aceras únicamente utilizadas para las funciones definidas anteriormente. La anchura mínima debe de ser de 0,60 m y recomendable de 0,75 m. La acera debe estar sobreelevada entre 7 y 15 cm y el bordillo debe de ser no montable. El gálibo libre sobre la acera debe de ser de 2,30 m. Parece conveniente que todos los túneles dispongan de este tipo de aceras.²
 - b) Aceras utilizadas por cierto número de peatones y de ciclistas.
 - En general se desaconseja esta función y no debe ser aplicada salvo que no exista otra alternativa. En la medida de lo posible, los peatones y los ciclistas deben circular por otro túnel o por un tubo separado del de carretera.
 - Si fuese necesario utilizar la acera para ese fin, deberá sobreelevarse como mínimo 50 cm y deberá instalarse una barandilla de protección, debiendo ser compatible con

² A pesar de ello, algunos países prefieren que no existan bordillos en túneles bidireccionales, puesto que consideran que pueden ser peligrosos para las personas discapacitadas y que una colisión contra un bordillo puede, en algunos casos, provocar un vuelco. Sin embargo indican que un bordillo dificulta los eventuales cambios de sentido (giros en U) que los conductores puedan verse tentados a hacer en el túnel.

las necesidades de los otros usuarios, por lo que deberán diseñarse accesos desde los carriles de circulación.

c) Aceras montables.

- Este tipo de aceras permite que los vehículos con una emergencia se detengan en parte sobre la acera.
- Con esta disposición se pretende que los vehículos detenidos por avería u otra causa ocupen la menor anchura posible de la calzada, acercándose más al hastial del túnel.
- Existen opiniones que indican que las ocasionales pérdidas de trayectoria de los vehículos, que son el motivo más frecuente de accidente con un único vehículo implicado, pueden tener consecuencias menores con este tipo de bordillo. Esta cuestión es, sin embargo, objeto de fuerte controversia, y antes de aceptar o rechazar la hipótesis sería necesario disponer de otras experiencias.

En caso de utilizar este tipo de acera, su disposición habitual debe de ser la siguiente:

- El bordillo será montable, con inclinación máxima de 30° con la horizontal. Su altura será de entre 7 y 15 cm respecto de la calzada.
- Debe poder resistir el peso de ejes de 10,5 t para que los vehículos pesados no la puedan deteriorar ni a los equipamientos que estén alojados bajo ella.
- El gálibo vertical libre sobre la acera debe de ser superior al indicado anteriormente, siendo ideal que pudiera ser igual al disponible sobre la calzada.
- La mitad de la anchura de la acera puede contabilizarse como ancho de arcén, disminuyendo acordemente la anchura del mismo.

7.5 Recomendaciones

A continuación se incluye un cuadro resumen con las características recomendadas para túneles bidireccionales. Las dimensiones indicadas como mínimas, se considera deberían cumplirse para cualquier intensidad de tráfico o longitud de túnel. Las dimensiones correspondientes a una sección restringida pueden usarse para túneles de cierta importancia aunque, siempre que sea posible, conviene adaptar la sección a las dimensiones no restringidas.

Estas recomendaciones están basadas en la práctica habitual en varios países y en la opinión de expertos del Grupo de Trabajo 4 del Comité de la AIPCR. Sin embargo, pueden existir otras soluciones para los problemas planteados y las normativas nacionales pueden adoptar enfoques diferentes para resolver las situaciones tratadas en este informe.

(tabla 12)

En el caso de carriles adicionales se recomienda un ancho de 3,50 m. para éstos No conviene reducir la anchura del arcén en el sentido del túnel con más de un carril dado que la detención de cualquier vehículo podría ser causa de tener que realizar maniobras peligrosas, incluso con baja intensidad de tráfico.

Algunos países recomiendan anchuras de acera mayores de 0,60 m y en el caso de que se prevea espacio para sillas de ruedas se consideran anchuras de entre 1,00 y 1,20 m.

7.6 Anchuras de la zona exterior a la calzada y distancias de visibilidad

- Se entiende por zona exterior a la calzada el espacio suma del arcén y de la acera. Esta banda, además de proporcionar las funciones propias de cada una de sus

partes, adicionalmente debe proporcionar, en el caso de curvas en el interior del túnel, una distancia de visibilidad suficiente para detener con seguridad al vehículo en caso de existir un obstáculo.

- La mayoría de las normativas de trazado de los distintos países incluyen este tipo de consideraciones, relacionando el despeje para la visibilidad de parada con la velocidad, el radio de la curva y la pendiente de la carretera.
- En el cuadro se presentan las distancias de despeje que se requieren en la mayoría de países bajo condiciones similares y a diversas velocidades de circulación³. (tabla 13)
- En el siguiente cuadro se indican las distancias de visibilidad que proporcionan diversas anchuras de zona exterior a la calzada, en función del radio de la curva. (tabla 14)
- Por último, en el cuadro siguiente se indica la máxima velocidad segura, es decir la que permite disponer de visibilidad suficiente para detener el vehículo frente a un obstáculo, en función, igualmente, del radio de curvatura y de la distancia libre desde el carril al obstáculo lateral. (tabla 15)
- En caso de no disponer de suficiente distancia de visibilidad, se recomienda reglamentar la velocidad de recorrido del túnel para mantener los niveles de seguridad deseables.

7.7 Barreras de seguridad para separar los sentidos de circulación

El principal peligro para la circulación en un túnel bidireccional es la

³ Las distancias de parada segura están calculadas suponiendo el 0% de inclinación, 2 segundos de tiempo de percepción y reacción y coeficientes de rozamiento que varían entre 0,35 (90 km/h) y 0,39 (40 km/h)

colisión frontal dado que este tipo de accidente es el que suele causar las consecuencias más graves y, al mismo tiempo, es también el tipo de accidente con mayor probabilidad de derivar hacia un incendio. Mucho menos graves son las colisiones por alcance de un vehículo con el que le antecede, circulando ambos en el mismo sentido. Este tipo de accidente suele deberse a una pérdida momentánea de atención del conductor del vehículo que colisiona, a veces agravada por una visibilidad y distancia de parada insuficientes en relación con la velocidad de circulación.

Las posibilidades de un accidente por colisión frontal pueden disminuirse en gran medida mediante la instalación de barreras de seguridad que separen ambos sentidos. En la consideración de la conveniencia de estas barreras deben tenerse en cuenta diversos aspectos:

- La barrera no debe impedir el adelantamiento de un vehículo detenido por avería. Así pues, el espacio disponible para cada sentido no debe ser menor de 5,50 m, correspondiente a dos vehículos pesados más las holguras de paso.
- El espacio ocupado por la barrera es del orden de 0,50 m. Adicionalmente deben disponerse arcenes a ambos lados, no menores de 0,50 m cada uno. Como resultado, la mediana central mínima con barrera es de 1,50 m ($2 * 0,50$ arcenes + 0,50 de la barrera). De acuerdo con los criterios anteriores, no deberían instalarse barreras fijas y no franqueables si la anchura del túnel no supera los 12,50 metros.
- Las barreras impiden los giros en "U", por lo que si dichos giros se consideran convenientes en determinadas circunstancias de emergencia no deberían instalarse.
- Las labores de mantenimiento de las instalaciones del túnel deben

Tabla 12. Secciones transversales recomendadas.

Secciones recomendadas						
Tipo de sección	Mediana central (m)	Carriles (m)	Arcenes (m)	Aceras (m)	Aceras montables (m)	Ancho total entre hastiales (m)
Mínima sin aceras	-	3,50	0,75	-	-	8,50
Mínima con aceras	-	3,50	0,75	0,60	-	9,70
Mínima con aceras montables	-	3,50	0,50	-	0,60	9,20
Restringida con aceras	-	3,50	2,00	0,60	-	12,20
Restringida con aceras montables	-	3,50	1,75	-	0,60	11,70
Restringida con mediana central	2,00	3,50	0,50	0,60	-	11,20
No restringida	-	3,50	2,50	0,60	-	13,20

Tabla 13. Distancias de despeje lateral.

Velocidad media (km/h)	40	60	80	100	120
Radio mínimo (m)	100	160	260	470	800
Distancia de parada segura (m)	40	80	130	180	280
Despeje lateral necesario(m)	2,0	4,9	8,0	8,5	12,2
Ancho de la zona exterior a la calzada, suponiendo al conductor situado a 1,50 m del borde del arcén	0,5	3,4	6,5	7,0	10,7

Nota: Si el carril está en pendiente, la distancia de parada segura debe incrementarse.

Tabla 14. Distancias de visibilidad en función del despeje lateral.

Distancia de visibilidad proporcionada (m)					
Zona exterior disponible (m)	Radio de curvatura (m)				
	100	160	260	470	800
1	45	57	72	97	127
2	53	67	86	115	150
3	61	76	97	130	170
4	67	85	108	144	188

Nota: Las distancias del cuadro consideran que el conductor está situado a 1,5 m del borde exterior del carril.

Tabla 15. Velocidades máximas, según el radio de curvatura y el despeje.

Máxima velocidad segura (km/h)					
Zona exterior disponible (m)	Radio de curvatura (m)				
	100	160	260	470	800
1	40	50	60	70	80
2	50	55	65	80	90
3	55	60	70	85	95
4	55	65	80	90	100

Nota: Las velocidades están calculadas con las condiciones indicadas anteriormente.

Nota: Si el carril desciende, la máxima velocidad segura debe disminuirse.

planearse teniendo en cuenta la presencia de la barrera.

- Las barreras pueden hacer más difícil el acceso de los vehículos de emergencia.
- Cuando se ha decidido instalar barreras en la mediana de un túnel, debe indicarse que el funcionamiento del túnel se simplifica en gran medida si el tipo de barrera adoptado es rígido (barrera de hormigón), debido principalmente a que dicho tipo de barrera requiere mucho menos mantenimiento que la flexible metálica.
- La barrera de tipo rígido es mucho más segura que la flexible para accidentes de turismos, e incluso de vehículos pesados, puesto que es mucho más difícil el que sea franqueada. Dado que la mayor parte de las colisiones serán con ángulos pequeños, no resulta tan crítica la ventaja de redireccionamiento que proporciona la barrera flexible.
- Otra posibilidad es la instalación de barreras rígidas desmontables, formadas por piezas apoyadas en el pavimento y unidas entre sí para mejorar la respuesta a la colisión.
- Aunque su efecto sea óptico, en vez de una contención física real, la utilización para la separación de ambos sentidos de circulación de marcas viales rugosas, ojos de gato o balizas, mejora considerablemente la seguridad en el túnel. El único efecto indeseable de estas medidas son los daños a vehículos o los accidentes que pueden causar en caso de eventuales desprendimientos por arrollamiento, por lo que conviene elegirlos considerando esta posibilidad.
- La utilización de este tipo de barreras debe de ser sólo de forma temporal, por operaciones de mantenimiento o por alguna otra razón. En caso de necesidad permanente, conviene plantearse la opción de dos túneles unidireccionales.

Tabla 16. Comparación internacional de gálibos permanentes (disponibles).

País y denominación de la normativa o recomendación	Gálibo mínimo sobre la calzada (m)	Gálibo permanente (libre disponible) sobre la calzada (m)	Margen adicional de seguridad para señales, luminarias, ventiladores etc. (m)	Holgura para señales, luminarias, ventiladores, etc. (m)	Holguras para futuros refuerzos del pavimento (m)
Austria RVS 9.232		4,70	n.e.	min. 0,20	n.e.
Dinamarca (práctica habitual)	n.e.	4,60	0,20	n.e.	n.e.
Francia CETU		4,50 (carreteras internacionales) 4,75 (vías principales)	0,10	n.e.	0,05 – 0,10
Alemania RAS-Q1996/RABT 94	4,20	4,50	n.e.	n.e.	n.e.
Japón (Road Structure Ordinance)		4,50	n.e.	n.e.	n.e.
Holanda ROA	4,20	4,50	0,20	0,30	n.e.
Noruega. Design Guide Road Tunnels	n.e.	4,60	0,10	n.e.	0,10
España Norma 3.1-IC	n.e.	5,00	n.e.	n.e.	n.e.
Suecia Tunnel 99		4,50	0,20	0,40	
Suiza (túneles rectangulares)	n.e.	4,50	0,20	0,40	
Suiza (túneles ovales)	n.e.	4,50			
Reino Unido TD27(DMRB 6.1.2)	5,10	5,35	0,25	0,40	n.e.
Estados Unidos AASHTO	n.e.	4,90 (autopistas) 4,30 (otras vías)	n.e.	n.e.	n.e.

n.e. = no especificado

7.8 Gálibo vertical

La siguiente tabla muestra una relación de los gálibos y las holguras utilizadas en diversos países.

(tabla 16)

- El gálibo mínimo sobre la calzada debe ser al menos igual a la máxima altura de diseño de los vehículos pesados que esté permitida en la carretera, incrementada con el espacio necesario para permitir los movimientos dinámicos de los vehículos debido a las irregula-

ridades del pavimento y a la suspensión. Este espacio adicional tiene una función similar a la diferencia entre el ancho de los carriles y el ancho de los vehículos. En la Unión Europea la máxima altura de los vehículos pesados es 4,00 m. Si a esta altura máxima se le añade un margen de 0,20 m para absorber los movimientos verticales de los vehículos la mínima altura requerida es 4,20 m.

- Adicionalmente a este mínimo, se requiere un espacio extra

para que los conductores los de camiones se sientan cómodos. Dicho margen de comodidad es equivalente a la distancia horizontal hasta los obstáculos. El gálibo mínimo más la altura adicional de margen de confort da como resultado el gálibo permanente (libre disponible). Si para este margen de comodidad o distancia a los objetos se toma un valor de 0,30 el gálibo permanente (libre disponible) es al menos 4,50 m.

- Para prevenir daños en el equipamiento suspendido sobre la calzada, por ejemplo a causa de lonas sueltas, a menudo se aplica una holgura adicional.
- Finalmente hay que prever también un margen por las inexactitudes en la construcción, curvatura del techo y un posible pavimento posterior.

Como resultado de estas consideraciones se debe concluir que:

- El gálibo permanente (libre disponible) es la suma de la altura de diseño de los vehículos pesados, asumiendo un espacio necesario para los movimientos dinámicos y una distancia de confort en la conducción.
- Esta altura tiene que ser incrementada con holguras para prevenir daños al equipamiento, futuras capas de refuerzo del pavimento, y para tener en cuenta las inexactitudes de la construcción.

8. Elementos especiales

El diseño de la entrada y la salida de un túnel debe cuidarse especialmente. Se trata, como ya se ha indicado anteriormente, de zonas con concentración de accidentes y, en todo caso, son zonas en las que cambian rápidamente las condiciones de iluminación.

Debe procurarse que la forma, el balizamiento y la iluminación de las bocas no causen distracciones, sino que, más bien, centre la atención de

los conductores, y mejoren el guiado hacia el centro del carril.

Cualquier disposición que suavice los cambios en el nivel de iluminación, como una zona de transición en el exterior del túnel, mediante un falso túnel con aberturas en la bóveda cada vez más reducidas, mejora efectivamente la adaptación luminosa en la zona de entrada. Igualmente, la mejora de las marcas viales y el diseño de la boca sin elementos que distraigan excesivamente la atención, pueden ayudar a mejorar la seguridad. Según un estudio austriaco, las entradas de los túneles de colores claros y con un cierto abocinamiento son los que dan una mayor sensación de seguridad y de guiado a los conductores, mientras que las entradas oscuras y las que están rodeadas de un muro o frontal muy visible y perpendicular a la dirección de la circulación son las que se perciben como menos seguras [10].

Cualquier variación en el número de carriles en el interior de un túnel debe ser únicamente una solución excepcional, dado que puede producir maniobras repentinas y forzadas y cambios en el flujo de tráfico. Si la calzada debe perder un carril, se recomienda que no lo haga en el interior del túnel. Sin embargo, existen casos en los que la calzada debe ganar un carril, coincidiendo con un incremento en la pendiente longitudinal, al efecto de no producir un punto de restricción de capacidad en el interior del túnel. En este caso es mejor iniciar igualmente el carril lento antes de empezar el túnel y, si no es posible, la zona de ensanchamiento debe ser objeto de un estudio de visibilidad, balizamiento y señalización especial.

En general, las incorporaciones y salidas de la calzada en túneles son también disposiciones poco recomendables, dado que suelen ser, igualmente que a cielo abierto, zonas con elevado índice de accidentalidad. Algunas normas nacionales

prohíben estas disposiciones ([3], [5]). Sin embargo, pueden ser necesarias en algunos casos especiales, sobre todo en túneles en zonas urbanas. Cuando se proyecte alguno de estos casos debe hacerse un estudio específico de su trazado, visibilidad, iluminación y marcas viales, considerando la posibilidad de prolongar el carril de aceleración, en el caso de incorporaciones, o de deceleración, en el caso de salidas, hasta el exterior del túnel.

9. Operaciones de mantenimiento

La complejidad de las instalaciones en los túneles modernos requiere operaciones de mantenimiento constantes. Los dispositivos de seguridad a adoptar, incrementados en muchas normativas nacionales e internacionales tras los desgraciados accidentes ocurridos en los años 1999 y 2000, han dado lugar a niveles de equipamiento de complejidad creciente. Estos equipamientos precisan operaciones de verificación funcional, limpieza y mantenimiento necesarias para asegurar su correcto funcionamiento en todo momento. Por lo tanto es conveniente realizar un estudio previo de selección de los equipamientos a instalar en un túnel, atendiendo tanto a consideraciones técnicas, funcionales y económicas, como a las exigencias de mantenimiento que requieren.

Resulta especialmente importante prever las operaciones de mantenimiento que afecten a la circulación de los vehículos, dado que pueden ser causa de accidentes, tanto para los usuarios, como para los operarios del equipo de explotación. Si es posible, conviene utilizar disposiciones de los equipamientos que disminuyan la necesidad de operaciones que afecten a la circulación, o que expongan a riesgos a los operarios de mantenimiento. Muchas de estas disposiciones deben incluirse en el

Tabla 17. Velocidades máximas de circulación en zona de trabajos, según la normativa francesa.

Anchura de carril disponible	Velocidad máxima recomendada
3,50 m	La regulada en el túnel, o un máximo de 80 km/h
3,00 m	60 km/h
2,70 m	10 a 20 km/h
< 2,70 m	Circulación alternativa

proyecto de la infraestructura o de las instalaciones, dado que resulta caro y es, a veces, imposible realizar las correcciones necesarias cuando el túnel está en servicio.

- Conviene, por ejemplo, disponer los equipamientos en el túnel de modo que la mayor parte de las operaciones de mantenimiento puedan hacerse en locales técnicos, centros de transformación u otros lugares donde no sea necesario afectar a la circulación. Asimismo deben disponerse lugares de aparcamiento seguros para los vehículos del personal que vaya a realizar el mantenimiento con el fin de que las distancias que deban recorrer por las aceras sean reducidas.
- Los equipamientos cuyo mantenimiento deba afectar necesariamente a la circulación (luminarias, equipos de ventilación suspendidos en la bóveda, etc.) conviene situarlos de modo que se afecte lo menos posible a la zona de calzada.
- La existencia de una zona de trabajos en el interior de un túnel debe señalizarse intensivamente, y siempre debe iniciarse la preseñalización de las obras en el exterior en ambos sentidos.
- En la zona de trabajos, la velocidad debe regularse de acuerdo a la anchura efectiva de carril disponible. Dicha anchura disponible no incluye el espacio necesario para la señalización y el balizamiento en la zona de trabajos, ni el necesario para la protección de la obra. En la tabla siguiente, basada en la normativa francesa, se

indican las velocidades de circulación máximas que se recomiendan en función de la anchura de carril efectiva disponible. (tabla 17)

- Algunos países tienen una limitación general para las zonas de trabajo, regulando las velocidades a una velocidad máxima entre 30 y 50 km/h.
- En el caso que la anchura disponible de los carriles no supere los 2,70 m, debe regularse la circulación de modo alternativo, en un solo sentido de marcha a la vez, mediante semáforos o barreras. La circulación alternativa conviene establecerla a lo largo de todo el túnel, separando los carriles con conos o barreras ligeras, que se intensificarán con dispositivos adicionales al aproximarse y en la propia zona de obras. El paso alternativo reduce fuertemente la capacidad del túnel, en mayor medida cuanto más largo sea, ya que la detención en cada boca debe mantenerse durante todo el tiempo que se permita la circulación desde la boca contraria, y asimismo en el tiempo necesario para que el último vehículo del grupo recorra todo el túnel. Conviene reforzar la señalización desde unos 200 m antes de la zona de obras, con los medios de balizamiento adecuados y acordes a las disposiciones de cada túnel particular, aumentando la intensidad del nivel de iluminación en la zona, y con los mensajes de advertencia que se consideren convenientes.

10. Referencias

- [1] Cross section design for uni-directional road tunnels. C5 - WG4 Committee on Road Tunnels. 2001.
- [2] Norwegian Design Guide for Road Tunnels. 2002.
- [3] Design of Road Tunnels. (Draft 1998) and BD2 (DMRB 1.1) part III, and TD27/96 Cross sections and headrooms. UNITED KINGDOM.
- [4] Norma 3.1-IC Instrucción de Carreteras. Trazado. Ministerio de Fomento. ESPAÑA. Febrero 1996 (borrador). Diciembre 1999.
- [5] Dossier pilote des tunnels. Geometrie. CETU- 1990.
- [6] Pannes, accidents et incendies dans les tunnels routiers français. S. Lingelser CETU - 1998.
- [7] Road Safety in Tunnels. AIPCR C5 - WG4 Committee on Road Tunnels 1995.
- [8] Studies on Norwegian Road Tunnels. Norwegian Public Roads Administration. 1997.
- [9] Accidents i Incidents als Túnel de Vallvidrera. TABASA 1996 a 2001. España.
- [10] Psychological aspects of tunnel safety. Österreichische Autobahnen und Schnellstrassen. AG. 2002.
- [11] Driving behaviour and subjective experience. A driving simulator study. TNO Human Factors. The Netherlands. 2002.
- [12] Tyne & Wear Traffic Accident Data Unit. Report 2000. UK.
- [13] Fire and smoke control in road tunnels. C5 Committee PIARC - 1999.
- [14] HCM-1995. Highway Capacity Manual. Special Report 209. TRB. 1995.
- [15] HCM-2000. Highway Capacity Manual. TRB. 2000.
- [16] World Road Congresses; Technical Committee on Road Tunnels PIARC; Vienne 1979, Sydney 1983; Brussels 1987, Montreal 1995. ❖

Universidades participantes:



El curso está dividido en dos periodos: uno de docencia y otro de prácticas. El primero tiene una duración de seis meses (dos trimestres) y el segundo de cinco meses.

El primer trimestre de docencia, de septiembre a diciembre, se imparte en la Universidad de Cantabria y el segundo trimestre de docencia se imparte en la universidad danesa de VIA University College, en la ciudad de Horsens. Dadas las características del programa, las clases, trabajos y exámenes son en inglés.

Las prácticas y el proyecto final de máster del segundo semestre pueden realizarse en cualquiera de las universidades y/o empresas patrocinadoras, dependiendo de la elección del alumno y la disponibilidad de las empresas.

Los módulos del curso 2013/2014 son los siguientes:

A) Periodo de docencia (primer semestre, dos trimestres)

- Group Project
- Design and Sustainability
- Construction and Procurement
- Management Systems
- Research Methods

B) Periodo de prácticas (segundo semestre)

- Practice
- Final Dissertation

*The European Construction
Master Agency*



MASTER EUROPEO en de la INGENIERIA CONSTRUCCION

Programa Oficial de Postgrado de la Universidad de Cantabria

Entidades Colaboradoras:



THE EUROPEAN CONSTRUCTION MASTER AGENCY- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Avda. de los Castros s/ n, 39005 Santander . Tel: +34 942 20 67 52
e-mail: Msc.Santander@unican.es / web: www.msc-construction.com

Segunda edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos en Madrid (2013)



El pasado mes de marzo tuvo lugar la segunda edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos en Madrid, en la que se registró una asistencia de 4.666 personas. Para este evento, organizado por la Demarcación de Madrid del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, se prepararon diversas actividades con el fin de acercar la Ingeniería de Caminos a la sociedad y explicar cuál es su papel dentro de ella. Entre estas actividades celebradas en distintas partes de la Comunidad, destacó la exposición Madrid en progresión con los Ingenieros de Caminos, del 5 al 24 de marzo, sobre los sistemas de control del transporte, el agua y la energía eléctrica que caracterizan actualmente a la ciudad de Madrid. El 11 de marzo se celebró el acto de inauguración de la Semana de la Ingeniería en el Auditoria del Museo del Prado, donde se dieron cita profesionales del sector y de las administraciones estatal, autonómica y local.

La Redacción - Madrid

La segunda edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos de Madrid, cerró el pasado mes de marzo sus actos organizados con una asistencia total de 4.666 personas, como afirma el Colegio de Caminos. Del 5 al 21 de marzo, la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos fue la protagonista con la celebración de 55 actos, entre conferencias, visitas guiadas, actividades, mesas redondas y eventos culturales que tenían como objetivo acercar la labor de los

ingenieros a la sociedad y mostrar la relevancia de las obras e infraestructuras que realizan, así como su gestión. El 5 de marzo se inauguró la exposición, Madrid en Progresión con los Ingenieros de Caminos, eje central de esta Semana de la Ingeniería. Ésta estuvo abierta al público en las Arquerías de Nuevos Ministerios hasta el 24 de marzo.

Durante la Semana de la Ingeniería de Caminos los asistentes pudieron participar de visitas gratuitas, guiadas por profesionales

del sector a 21 relevantes infraestructuras de Madrid, como los centros de control de la DGT, la Torre Espacio y al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas Hidrográficos (CEDEX), donde los visitantes pudieron ver una simulación de oleaje, entre otras, además de un recorrido en bicicleta por las instalaciones de Madrid Río. Las presas de El Atazar y El Pontón de la Oliva, que no suelen estar abiertas a visitas, permitieron con motivo del evento, la entrada de público.



Llegada al acto de D. Manuel Niño, D. Miguel Ángel Carrillo, D. Pablo Cavero y D^a Paz González. FOTOGRAFÍA: M.J. Sánchez.



El Presidente de OHL, D. Juan Miguel Villar-Mir. FOTOGRAFÍA: M.J. Sánchez.

Entre las conferencias impartidas por profesionales del sector se puede citar por ejemplo la impartida por D. Antonio García Pastor. (Área de Estudios y Planificación. Consorcio Regional de Transportes de Madrid – CRTM) sobre los retos del transporte público en la Comunidad de Madrid o la del Director de Asfaltos de Repsol YPF, D. Francisco José Lucas, acerca de la utilización de las redes sociales como herramienta para ampliar el negocio. Los niños también pudieron participar con una actividad diseñada especialmente para ellos: Ingeniero por un día, celebrada en la plaza Chamberí de Madrid.

El Comité de Honor de la Semana de la Ingeniería de Caminos estuvo presidido por su Alteza Real el Príncipe de Asturias. Éste también estuvo compuesto por la ministra de Fomento, Ana Pastor, el ministro de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Miguel Arias, el presidente de la Comunidad, Ignacio González y la alcaldesa de Madrid, Ana Botella, entre otros.

Inauguración

El pasado 11 de marzo se inauguró la II edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos en el auditorio del Museo del Prado. El acto contó con la presencia del Consejero de Transportes de la Comunidad de Madrid, D. Pablo Cavero; el

Secretario General de Infraestructuras, D. Manuel Niño, D^{ña}. Paz González (Delegada de área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid), D. Salvador Sánchez Terán (ex Ministro de Transportes y Comunicaciones y de Trabajo), además del Decano del Colegio de Ingenieros de Caminos de Madrid, D. Miguel Ángel Carrillo Suárez que presentó el acto y a los que intervenían en él.

**D. Manuel Niño,
Secretario General
de Infraestructuras
del Ministerio de
Fomento, destacó
la alta cualificación
de los ingenieros
españoles,
reconocida no sólo
en España sino a nivel
internacional, por
lo que motivó a los
ingenieros jóvenes
a aprovechar esta
oportunidad**

Además de ellos, el Presidente de OHL, D. Juan Miguel Villar Mir, abrió el acto y la Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, D^{ña}. ELENA GONZÁLEZ GÓMEZ, intervino en representación de los profesionales con menos años. Esta profesional de la ingeniería fue galardonada en 2012 por el Colegio de Caminos, Canales y Puertos, por su trayectoria, con el Premio Ingeniero de Caminos Joven.

Durante su introducción el Presidente de OHL, D. Juan Miguel Villar – Mir, recordó el origen de la profesión de Ingeniero de Caminos: “Una profesión que nace como servicio público”. De hecho, en sus comienzos, los ingenieros eran funcionarios públicos. “Los más veteranos, yo mismo, estudiamos en la Escuela de Caminos que pertenecía al Ministerio de Fomento y formaba funcionarios”.

Por tanto, D. Juan Miguel Villar – Mir afirmó que es muy bueno que se mantenga este sentido de servicio “porque nada da más satisfacción que servir a los demás”.

A continuación, D. Miguel Ángel Carrillo presentó a D. Salvador Sánchez Terán, quien intervenía en representación de los ingenieros premiados por la Demarcación de Madrid, quien fue galardonado por esta institución en 2011, en reconocimiento a su carrera profesional.

El ex Ministro de Transportes se refirió a las circunstancias actuales

en que se desarrolla la profesión: “Estamos remontando una crisis difícil, económica, social y política con fortaleza, con realismo, con creatividad y con visión de futuro”.

Asimismo, pidió que no se olviden “los logros del pasado” en cuanto a obras públicas: “Yo pido una valoración realista mirando y fundándome’ -basándome en el proceso que hemos seguido en las últimas décadas”.

Dña. Elena González Gómez en la misma línea que D. Salvador Sánchez -Terán resaltó que “la búsqueda de soluciones es lo que más presente está en el ADN de los Ingenieros de Caminos”.

Asimismo, como representante de los ingenieros jóvenes citó ejemplos de jóvenes ilustres de todos los tiempos, de Newton a Bill Gates, que demuestran que no hay que tener muchos años y experiencia para conseguir grandes logros. “Muchos de los aquí presentes sois jóvenes” – añadió Dña. Elena González Gómez y explicó a continuación: “Se puede ser joven por el sentido estricto de la edad pero también si se tiene la fuerza, el coraje, las ganas de innovar, de arriesgarse de tirar del carro, de hacer cosas y de seguir hacia delante. Esta juventud unida a la experiencia que muchos tenéis es lo que nos puede permitir crecer como país”.

Más tarde, el Decano de la Demarcación de Madrid del Colegio de Caminos presentó la exposición Madrid en progresión con los ingenieros de Caminos y dio paso a Dña. Paz González (Delegada del área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid), quien destacó que hacer ciudad es una tarea de todos, que implica a la sociedad en su conjunto, desde políticos a ciudadanos, pasando por los profesionales dedicados a construir. Por eso, los frutos de esta Semana de la Ingeniería aportará valores, ideas, reflexiones para esas nuevas ciudades.



D. Manuel Niño, D Miguel Ángel Carrillo, D. Pablo Caveno, Dña. Paz González (de izqda. a dcha). FOTOGRAFÍA: María José Sánchez.



D. Manuel Niño, D Miguel Ángel Carrillo, D. Pablo Caveno. (de izqda. a dcha). FOTOGRAFÍA: María José Sánchez.



D. Pablo Caveno. habla desde el atril. FOTOGRAFÍA: María José Sánchez

Salir de España como oportunidad profesional

El Secretario General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, D. Manuel Niño, destacó la alta cualificación de los ingenieros españoles, reconocida no sólo en España sino a nivel internacional, por lo que motivó a los ingenieros jóvenes a aprovechar esta oportunidad y recordó el Protocolo de Colaboración que firmó el 7 de marzo la Ministra de Fomento, Doña Ana Pastor, con el Presidente del Colegio de Caminos, D. Antonio Santamera, para promocionar el empleo en el extranjero. Por otro lado, indicó que la inversión del Ministerio de Fomento prevista para el año 2013 es de 10.000 millones de euros. Asimismo, D. Manuel Niño aseguró que “la crisis se encuentra en un momento de inflexión con vistas a próxima recuperación”.

Más de 50 actos reivindican la labor de los Ingenieros de Caminos, durante la celebración de la Semana de la Ingeniería de Caminos.

Cerró el turno de intervenciones D. Pablo Cavero, Consejero de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid, quien defendió la inversión público-privada y afirmó que “es imprescindible priorizar las inversiones que generan empleo y actividad económica.” También mencionó la nueva Radial

1 (la RM1), que descongestionará el tráfico de la actual nacional 1 (A1) y el futuro aeródromo del suroeste de Madrid, del que dijo que “será la puerta de entrada de grandes inversores”. Además, animó a los ingenieros a seguir haciendo estudios y proyectos de calidad que serán necesarios “cuando se pueda construir”, afirmó.

La primera edición de la Semana de la Ingeniería de Caminos de Madrid, que se celebró en 2011, contó con la participación de más de 5.000 ciudadanos, como afirma la Demarcación del Colegio de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

Esta segunda edición ha contado con el apoyo de más de 80 instituciones, asociaciones, organizaciones sectoriales, administraciones públicas, universidades, empresas constructoras, consultoras y de servicios.

VISITAS TÉCNICAS

Dentro de la Semana de la Ingeniería de Caminos de Madrid, del 11 al 15 de marzo se celebraron visitas gratuitas a las infraestructuras y centros de control que la gestionan, con la colaboración de los profesionales del sector que hicieron de guía.

Los visitantes pudieron disfrutar de espacios que normalmente no están abiertos al público y descubrir de

forma divulgativa obras de ingeniería civil de la Comunidad de Madrid, que son relevantes en la vida cotidiana. De esta forma, los visitantes, tras previa reserva, acudieron a las presas el Villar, El Atazar y el Pontón de la Oliva, la Torre Espacio y al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas Hidrográficas (CEDEX). Otras excursiones fueron a la estación de gasificación

de Sanchinarro y sendos Centros de Control de la estación de Atocha, la Dirección General de Tráfico (DGT) y el de Cobeña. Asimismo, para quienes quisieran hacer un poco de ejercicio y disfrutar de Madrid Río se preparó un recorrido en bicicleta.

En total, el Colegio de Caminos de Madrid registró 710 participantes en este tipo de actividades. ❖



Vista general de una nave del CEDEX. (Colegio de Caminos de Madrid).



Excursión a Madrid Río. (Colegio de Caminos de Madrid).

EXPOSICIÓN:

“Madrid en progresión con los Ingenieros de Caminos”

La ciudad de Madrid fue la protagonista de la exposición que acogió la sala de las Arquerías de Nuevos Ministerios, del 5 al 24 de marzo: “Madrid en progresión con los ingenieros de Caminos”. Paneles informativos, vídeos y una maqueta del Paseo de la Castellana ilustraban los avances más característicos en infraestructuras, transportes, tecnología y gestión del agua de la ciudad de Madrid.

La muestra “Madrid en progresión con los ingenieros de Caminos” se inauguró el pasado 5 de marzo de 2013 y sirvió de preámbulo de los actos que celebrados durante ese mes dentro de la Semana de la Ingeniería de Caminos de Madrid. De hecho, ésta fue, como afirma D. Miguel Ángel Carrillo (Decano de la Demarcación de Madrid del Colegio de Ingenieros, Canales y Puertos) en el catálogo de la muestra, el eje central sobre el que se articularon el resto de actividades. Asimismo explica que el objetivo ha sido “trasladar la importancia que tiene la Ingeniería de Caminos en la creación de sistemas funcionales que vertebran la vida de los madrileños y que conforman la ciudad y la comunidad de Madrid”. El comisario de la muestra D. César Lanza justifica en el catálogo por qué Madrid para poner de relieve la labor de los ingenieros: “Es un lugar que reúne en el sentido que nos ocupa la triple condición de ciudad, territorio y espacio económico abierto”.

En el acto de inauguración de la muestra, el subsecretario del Ministerio de Fomento, Mario Garcés

Sanagustín señaló que “en Madrid vemos todo el desarrollo de la ingeniería en los últimos 200 años. Los ingenieros de caminos han sido testigos directos y protagonistas del cambio que ha vivido nuestro país”.

Por su parte, el Decano del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Miguel Ángel Carrillo, aseguró que “la Semana de la Ingeniería de Caminos de Madrid representa una oportunidad para conocer la relevancia de la profesión del Ingeniero de Caminos que facilita nuestra vida cotidiana en la ciudad y permite, por

Los asistentes pudieron disfrutar hasta el 24 de marzo de maquetas como la de la ampliación del Paseo de la Castellana, reproducciones y paneles informativos como el de telegestión de la red eléctrica y de la red ferroviaria o una muestra de pavimento inteligente para vías públicas.

ejemplo, encender la luz de nuestra casa, abrir el grifo y que salga agua, desplazarnos por la ciudad en metro y autobús a través de túneles y puentes”.

Logros en España y en el extranjero

Los 1.758 visitantes de la exposición fueron testigos de cómo los ingenieros de Caminos han hecho posible que hoy se disfrute en la capital de sistemas de movilidad masiva y transporte, rehabilitación de barrios, creación de presas y otros sistemas de canalización, almacenamiento y aprovechamiento del agua, además de redes de energía y otros servicios para el ciudadano, teniendo en cuenta la importancia de la sostenibilidad. Por ello, no es casual que empresas madrileñas hayan ampliado sus ámbitos de trabajo, llevando a cabo proyectos en el extranjero, hecho que también demuestra esta exposición, mostrando proyectos en el Reino Unido, Estados Unidos o Arabia Saudí, de empresas de ingeniería con sede en Madrid.

Los asistentes pudieron disfrutar hasta el 24 de marzo de maquetas como la de la ampliación del Paseo de la Castellana, reproducciones y paneles informativos como el de telegestión de la red eléctrica y de la red ferroviaria. También se ofrecía un acercamiento a la historia de los ingenieros de caminos que han conformado el trazado urbano de las calles de Madrid. Una farola con tecnología LED, que reduce hasta un

80% el consumo de la energía enseñaba la importancia no sólo de la tecnología sino de la sostenibilidad.

Como introducción, el visitante se encontraba en primer lugar con una proyección en la que varios profesionales del sector en activo se presentaban y respondían a la pregunta: “¿Por qué somos Ingenieros de Caminos?”. De esta forma, contaban por qué eligieron esta profesión y cómo su carrera les permite no sólo dedicarse a proyectos puramente técnicos sino también abrirse a otros campos como a la tecnología y la investigación.

Agua, energía, transporte y sostenibilidad

“Madrid en progresión” se dividía en las siguientes áreas temáticas: el ciclo integral del agua, los sistemas de movilidad y transporte público, las redes inteligentes de energía y servicios y los procesos de transformación de Madrid.

Hubo espacio también para explicar las características de la Villa Olímpica y recintos que podrían acoger las Olimpiadas de 2020 en caso de que Madrid fuera elegida. Uno de los motivos que alegan sus defensores por los que esta ciudad debería ser la sede del evento es que desde la villa al resto de instalaciones los desplazamientos, no excederían los 15 minutos “gracias a una infraestructura de transporte, rápido, moderno y eficaz”.

Una pantalla con la forma del mapa de Madrid explicaba a través de imágenes y sonidos, como el del motor de un avión, los avances en obras públicas de las últimas décadas, como las de las carreteras nacionales, que han convertido a la ciudad de Madrid en uno de los referentes del sector.

Como afirma el Colegio de Caminos esta ingeniería tiene una misión más amplia y mucho más importante que la de proyectar y construir las denominadas infraestructuras. ❖



Exposición “Madrid en progresión con los Ingenieros de Caminos”. FOTOGRAFÍA: M.J. Sánchez.



Paneles de la exposición “Madrid en progresión con los Ingenieros de Caminos”. FOTOGRAFÍA: M.J. Sánchez.



Maqueta de la Castellana. FOTOGRAFÍA: Colegio de Caminos de Madrid.

Historia de AIPCR / PIARC (II)

Reactivar la asociación

Período 1948 - 1964

Belén Monercillo Delgado
María José Sánchez Gómez de Orgaz

La II Guerra Mundial produjo un parón en el desarrollo de las actividades de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC), que había surgido en París en 1909 como *Permanent International Association of Road Congresses* (PIARC). Por eso, las reuniones que celebraron sus miembros durante los años 40 fueron encaminadas a reactivar la asociación, ya que además cada vez eran más conscientes de la influencia de los transportes y del sector de las carreteras en la economía mundial. De hecho, durante el conflicto el transporte tuvo la función de proteger el territorio.

Como contexto histórico se puede destacar que después de esta guerra, la Asociación Mundial de la Carretera tuvo que reactivarse en un momento en el que el mundo se dividió en dos: por un lado, bajo la influencia estadounidense capitalista y por otro, el influjo de los países comunistas. Es decir, desde ese momento los países miembros tuvieron que entenderse y alcanzar acuerdos, con la Guerra Fría como telón de fondo. Estas circunstancias históricas afectaban a las relaciones entre los gobiernos que habían colaborado activamente con PIARC hasta el

momento. Muestra de ello es el distanciamiento que demostró entonces Estados Unidos respecto a ésta.

En aquellos años, ya no había duda del papel fundamental que había adquirido el coche en la sociedad, y como consecuencia, las carreteras y su gestión. Sin embargo, la producción automovilística, inmediatamente después del conflicto bélico, por la escasez de materias primas como caucho, acero y carbón, sufrió una fuerte caída.

El boletín de PIARC

Durante la reunión del 20 de mayo de 1911, la Comisión Internacional Permanente (PIC- *Permanent International Commission*) decidió lanzar un boletín con noticias de la asociación. Su periodicidad fue variando. Al principio, se lanzaron 10 boletines entre julio de 1911 y diciembre de 1913.

Su objetivo era permitir a los lectores y futuros historiadores conocer las actividades de la Asociación Mundial de la Carretera, especialmente, a través de las reuniones de las Comisiones Internacionales Permanentes. A partir de 1939, este boletín de noticias comenzó a ser trimestral.

Vuelven los Congresos internacionales

El 19 de junio de 1947, la Comisión Internacional Permanente se reunió para tomar las decisiones necesarias para reactivar la Asociación Mundial de la Carretera. En esta reunión se decidió que se instalara por el período de un año un Comité Ejecutivo Provisional y se nombró Presidente de PIARC a Mr. Daniel Boutet. Un año más tarde, en la reunión del 8 de julio de 1948 en París, Mr. Boutet fue reelegido Presidente de PIARC por unanimidad, por un período de 4 años.

Aunque Estados Unidos había estado presente en las actividades de PIARC desde los inicios de ésta, de hecho los congresos internacionales de PIARC habían registrado hasta entonces un número considerable de participantes estadounidenses desde aquel primer encuentro en París, en 1908. En aquella ocasión, Estados Unidos contó con 50 asistentes, de los cuales, 19 eran delegados de Gobierno. Y no sólo eso sino que incluso Washington fue la sede del Congreso Mundial en 1930.

Pero hacia la segunda mitad de los años 40 se replanteó su



Congreso de Lisboa, 1951. FOTOGRAFÍA: AIPCR.

pertenencia a la asociación. Para la reunión de 1947 envió miembros de la embajada mientras que en las sucesivas reuniones de la Comisión Internacional Permanente celebradas en 1948 y 1949 en París, no envió delegados. Por eso, en ésta última se creó un subcomité con el objetivo de conseguir de nuevo un compromiso con Estados Unidos, ya que el representante estadounidense del Comité Ejecutivo de la Asociación, Mr. MacDonald, había informado que su país no había acordado todavía si renovar o no su participación en la asociación. Como consecuencia, Mr. MacDonald, nombrado Vicepresidente en 1948, no pudo aceptar este cargo. Estados Unidos alegaba para no integrarse en PIARC que la Asociación Mundial de la Carretera no formaba parte de Naciones Unidas, es decir, no todos los países miembros pertenecían a esta organización que surgió en 1945 para promover la paz entre los países y en cuya fundación Estados Unidos fue protagonista. El Presidente de PIARC le contestó al representante estadounidense en el Boletín nº 128 del tercer trimestre de 1951 explicando precisamente esto, que no todos los miembros de la Asociación Mundial de Carreteras pertenecían a Naciones Unidas y esto no podía ser un requisito para pertenecer a ella. A esto, Mr. Boutet añadía que una de las primeras metas de la asociación era resolver problemas técnicos y para eso los representantes de la misma no eran los únicos llamados a dar soluciones sino que se requería la cooperación de todos los ingenieros, sobre todo de aquellos que trabajan en laboratorios y empresas de la construcción.

Asimismo, en este Boletín Mr. Daniel Boutet hacía mención a los últimos acontecimientos que habían afectado a la asociación durante estos años: "Han pasado 12 años desde el último Congreso de la Haya"- explicaba Boutet-, y achacaba a las consecuencias de la II Guerra Mundial

dentro de los países miembros el que no se hubiera podido planear un Congreso antes. Asimismo, afirmaba que los problemas de las carreteras que eran necesarios abordar "han pasado a ser críticos, por todas partes". Por último, comentaba que si el país estaba más avanzado por el número, peso y velocidad de los vehículos, que hacía que los ingenieros tuvieran que afrontar nuevos retos, el sector

Hasta entonces, los congresos mundiales de PIARC se habían llevado a cabo en Europa, a excepción del celebrado en Washington en 1930 pero el hecho de que Brasil acogiera este acontecimiento abría a la Asociación al continente americano

de las carreteras era ya fundamental para la economía de los países.

En 1951, se produjo un cambio muy importante para PIARC, en la línea de lo que venía pidiendo Estados Unidos: La AIPCR se confirmó junto con la Unión de Asociaciones Internacionales Técnicas como una organización bajo el auspicio de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). De esta forma, recibió dos subsidios para llevar a cabo la impresión de un diccionario internacional y los informes que se generaran en el noveno Congreso, para el que se había decidido Lisboa como lugar de celebración.

Mientras, la situación entre los gobiernos con respecto a su pertenencia a PIARC era la siguiente: Por

un lado, Alemania, Japón, Finlandia e Israel fueron admitidos como miembros de la asociación. Los países que más colaboraron en el Congreso de Lisboa fueron Gran Bretaña y Francia.

Lisboa 1951

Por fin, después de 12 años sin que se celebrara un Congreso Mundial, el 24 de septiembre de 1951 comenzó, bajo el patrocinio del Presidente de la República, Mr. Francisco Higinio Craveiro López, y el Presidente del Consejo Mr. Oliveira Salazar, el Congreso de Lisboa. Éste, celebrado en la capital portuguesa hasta el 29 de septiembre, contó con la representación de 43 gobiernos y con observadores de Naciones Unidas y de la UNESCO, es decir, un total de 1.200 delegados se dieron cita en Lisboa. El Comité de Honor estuvo dirigido por el Ministro de Obras Públicas Mr. José Frederico Casal Ribeiro Ulrich.

El Presidente de PIARC dirigió estas palabras al auditorio: "En el primer Congreso Internacional de PIARC se prestó especial atención a los tipos de pavimentos mientras que en el último Congreso celebrado en La Haya en 1938 se trataron ciertas técnicas que pueden ser recordadas como bien establecidas, durante un largo período de tiempo. Este nuevo Congreso pondrá de manifiesto el progreso que se ha producido en el sector de las carreteras, teniendo en cuenta que nuestros ingenieros han estado ocupados en otras cuestiones" (en clara alusión al reciente conflicto bélico). "En estos años, hemos adoptado nuevas prácticas en la construcción de pistas aeroportuarias y se ha investigado mucho en este campo".

Asimismo, las palabras del Ministro de Obras Públicas se encaminaban más hacia los ideales que mueven a los ingenieros en su trabajo diario: "Estamos en la era de la práctica y puesto que somos ingenieros tenemos que contribuir con nuestros



Congreso de Río de Janeiro 1959. FOTOGRAFÍA: AIPCR.

conocimientos y devoción a mejorar las condiciones de vida de la sociedad”.

Otros temas que se abordaron en este Congreso fueron: los factores básicos en el desarrollo de las carreteras, estudios del tráfico y las condiciones que influyen en él, especialmente la velocidad de los vehículos, los adelantamientos y los cruces. En otra sesión, se abordó la influencia de las carreteras y su justificación dentro de la economía, la construcción y mantenimiento de las carreteras, en general; y de las urbanas en particular. Por último, también se planteó la cuestión de la construcción y el mantenimiento de las carreteras en países poco poblados o subdesarrollados, con especial atención a las fuentes disponibles y el tipo de tráfico que se da en ellas. La asignación de fondos para la construcción y el mantenimiento de estas carreteras también formaba parte del programa.

Por otro lado, los asistentes a este Congreso, como ya había ocurrido en los anteriores, también pudieron disfrutar de visitas a varios lugares estratégicos de Lisboa, desde el 28 de septiembre al 8 de octubre, como una visita al puente sobre el río Tajo en el pueblo de Villa Franca de Xila, que estaba entonces en construcción, así como una excursión a la isla de Madeira.

La exposición, que al igual que las excursiones es tradicional en los países donde se celebra el Congreso, consistió esta vez únicamente, como consecuencia de nuevo de la situación económica mundial, en una exhibición de documentos sobre la historia de las carreteras de Portugal, métodos de construcción, catálogos de diferentes organizaciones, laboratorios y empresas.

Finalmente, Estados Unidos tuvo un papel de mero observador en el Congreso de Lisboa. Una novedad de este encuentro es que por primera vez, el tema de la viabilidad económica de las carreteras se convierte en materia de trabajo de la asociación. El reto sería desde ese momento mantener unidos a todos esos países más allá de la esfera europea.

Estambul 1955

Precisamente, ese reto de abrir fronteras empieza a hacerse realidad con la celebración de un Congreso Mundial en Estambul (Turquía).

El contexto histórico que rodeaba este acontecimiento era el siguiente: países como Marruecos, Túnez o Argelia comenzaban a alzarse contra el colonialismo y a reclamar su independencia. La conferencia de Bandung en abril de 1955 reunía a 29 estados africanos y asiáticos que en su mayor parte disfrutaban ya de su libertad. Estas naciones pretendían hacer fuerza común con respecto a la Unión Soviética y Estados Unidos. Representaban así una tercera fuerza que reclamaba libertad y autonomía.

Por otro lado, los primeros coches equipados con dirección asistida se vendieron en 1951. La tecnología de los discos de freno, importada del campo de la aeronáutica, empezó a aparecer en los automóviles en 1953, en un tipo de coche de la marca Jaguar. También destaca que la primera patente de un sistema Airbag fue registrada en Estados Unidos en 1952.

En cuanto a la Asociación Mundial de la Carretera, el Comité Ejecutivo de PIARC se renovó por 4 años en 1953: El francés Mr. André Rumpler fue elegido nuevo Presidente,

como Vicepresidentes fueron nombrados Mr. R.H. de Vis Van Steenwijk, procedente de Holanda y el británico Mr. H.E. Aldington y como Secretario General el francés Mr. Eugène Naud.

Asimismo en 1953 se decidió por unanimidad que el décimo Congreso Mundial de PIARC tuviera lugar en Estambul. También habían presentado su candidatura Bélgica y Brasil.

De esta forma, del 26 de septiembre al 1 de octubre se celebró el décimo Congreso Mundial de PIARC en Estambul, la capital de Turquía. El Comité de Honor estuvo bajo el patrocinio del Presidente de la República, Mr. Celal Bayar y los ministros de Asuntos Exteriores, Comunicaciones y Obras Públicas. Éste último, inauguró el Congreso poniendo de manifiesto la importancia de los vehículos y las carreteras en el día a día de los ciudadanos: “¿Cómo se podría hacer una descripción fiable de nuestra presente civilización sin incluir la carretera y el vehículo a motor?”, recogen las actas del Congreso.

Como ocurría en cada Congreso, miembros de diferentes nacionalidades se dieron cita en Estambul pero Estados Unidos sólo participó enviando un observador. En esta ocasión, se trataron las siguientes cuestiones: tipos de pavimentos y revestimientos en carreteras y pistas de aeropuerto, suelos, carreteras de baja capacidad en zonas rurales y áreas subdesarrolladas. Como pasó en Lisboa, los accidentes de tráfico y seguridad vial también fueron tratados, así como la distribución de fondos para construir carreteras y los métodos de financiación. Para las excursiones esta vez, los asistentes disfrutaron, además de visitas a ciudades turcas representativas del país, de un crucero por el Bósforo.

En general, la participación en aquel Congreso de 1955 no fue muy alta y al igual que Estados Unidos, tampoco los países suramericanos enviaron asistentes. El flujo de trabajo se basó de nuevo, en gran parte, en las contribuciones de Gran Bretaña y Francia.

Río de Janeiro 1959

Metidos en la dinámica otra vez de Congresos y reuniones, la siguiente ciudad que acogió un evento de estas características fue Río de Janeiro, en 1959. Para entonces, el mundo dividido en bloques que surgió tras la II Guerra Mundial se mantenía dentro de una pacífica convivencia. Algunas repúblicas soviéticas comenzaban a levantarse en contra de los gobiernos comunistas.

Con respecto a la industria automovilística, continuaban apareciendo y consolidándose nuevos modelos en el mercado. Por ejemplo, Citroën presentó su modelo DS al final de 1955 y en 1957 Fiat empezó a vender sus Fiat 500.

En cuanto a la Asociación Mundial de la Carretera, destaca el cambio de dirección de las oficinas centrales: El 25 de enero de 1956 pasaron a situarse en el nº 43 de la Avenida del Presidente Wilson, en el distrito 16.

En la reunión del 15 de noviembre de 1956 del Comité Permanente Internacional de PIARC se aceptó la candidatura de Brasil como anfitrión del undécimo Congreso Mundial de la Carretera, que tuvo lugar en 1959 en la ciudad de Río de Janeiro. Se aceptó así mismo al archipiélago de Oceanía, Nueva Caledonia, como país miembro y se constituyó un nuevo Comité Ejecutivo en el que el Presidente, el francés André Rumpler fue elegido para 4 años más.

De esta forma, se inauguró el Congreso de Brasil el 21 de septiembre de 1959 en el teatro municipal de Río de Janeiro, con la presencia de Ministro de Transportes y Obras Públicas, que acudió en representación

del Presidente de la República.

El Presidente de PIARC, Mr André Rumpler, explicó en el acto de apertura del Congreso, como se deduce de las actas, por qué la Asociación se había decidido por Brasil para celebrar este evento. La elección de Río de Janeiro tenía que ver directamente con el objetivo principal de PIARC: "Reafirmar su carácter mundial y proseguir con su gran interés

“Estamos en la era de la práctica y puesto que somos ingenieros tenemos que contribuir con nuestros conocimientos y devoción a mejorar las condiciones de vida de la sociedad”, afirmó el Ministro de Obras Públicas portugués en el Congreso de Lisboa en 1951

de estudiar, en todos sus diversos aspectos, las técnicas relacionadas con las carreteras y su economía. Hasta entonces, los congresos mundiales de PIARC se habían llevado a cabo en Europa, a excepción del celebrado en Washington en 1930 pero el hecho de que Brasil acogiera este acontecimiento abrió a la Asociación al continente americano. Por tanto, 29 años más tarde de que PIARC abriera sus fronteras y saliera de Europa, realmente fue en 1959 cuando alcanzó una verdadera dimensión mundial. En otras materias también se apreciaban avances, como en una

aproximación más racional al diseño de pavimentos, en el conocimiento sobre el deslizamiento sobre el mismo o el desarrollo y en la viabilidad de estudios económicos.

En este Congreso se trataron temas como las carreteras urbanas, carreteras de bajo coste, la carretera en relación con las necesidades del tráfico así como la financiación de las mismas.

Los Comités Técnicos en esta ocasión ampliaron información sobre distintos materiales en las carreteras, deslizamiento, pistas aeroportuarias, carreteras de bajo coste, tráfico, seguridad, túneles de carretera y terminología. En cuanto a las excursiones, destacan las visitas a las obras realizadas en la carretera de Río de Janeiro al municipio de Teresópolis, la excursión en barco por la bahía Guanavara o al cerro del Corcovado.

Roma 1964

De nuevo en Europa, en concreto en Roma tuvo lugar el duodécimo Congreso Mundial de la Carretera de PIARC, aunque la idea original era que la India (Nueva Delhi) acogiera este evento y seguir con la idea de abrir las fronteras e ir más allá del territorio europeo. Por tanto, aunque ésta se había ofrecido para acoger el siguiente Congreso Mundial y su propuesta había sido aceptada, finalmente tuvo que declinarla por la situación de emergencia en que estaba el país, es decir, las tensiones que mantenía con Pakistán y que desembocaron en una guerra en 1965. Así Roma aprovechó la oportunidad y se convirtió en la sede del Congreso en 1964, en el que participaron 65 participantes y hubo 1.500 asistentes.

Durante la década de los 60, se produjeron hechos que marcaron el contexto socio-político de aquél entonces. Es decir, en agosto de 1961 las autoridades de Alemania del este comenzaron a construir el muro de Berlín, entre la zona bajo mando soviético y la que estaba controlada

por Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia. Por otro lado, continúa el proceso de descolonización en África, dando lugar a nuevas naciones.

Los países Brasil, Colombia, Hungría, Rumanía, Venezuela, Chile, Uruguay, México y Guatemala se convirtieron en países miembros de PIARC en 1959.

El Presidente de Honor del Congreso de Roma en 1964 fue en esta ocasión Antonio Segni, Presidente de la república italiana.

El Congreso además coincidió con dos elementos que marcarían una nueva época en la historia de la construcción de carreteras: el lanzamiento de ambiciosos programas de autopistas en la mayor parte de países europeos y el comienzo del uso de los ordenadores. Esto a su vez, provocó el desarrollo de nuevos métodos en la preparación de proyectos, el diseño de calzadas basándose en métodos racionales en detrimento de

métodos empíricos, la aparición de nuevos materiales o cambios en los existentes, reforzando los pavimentos de hormigón.

Por otro lado, el crecimiento del tráfico de camiones revelaba las deficiencias estructurales en el pavimento tradicional, lo que motivaba a reforzarlo; mientras que abundaban los proyectos que buscaban la integración con el medio ambiente, sobre todo en la construcción de autopistas. ❖

Localización de los Congresos Internacionales de PIARC Período 1948 - 1964

Lisboa

24-29 Septiembre 1951

Estambul

26 Septiembre - 1 Octubre 1955



Río de Janeiro

21-26 Septiembre 1959

Roma

10-16 Mayo 1964



SALÓN INTERNACIONAL
DE LA SEGURIDAD VIAL
Y EL EQUIPAMIENTO
PARA CARRETERAS

15 - 18
OCTUBRE
2013
MADRID-ESPAÑA

ORGANIZA



TU ENCUENTRO

SEGURIDAD



INFRAESTRUCTURAS



SISTEMAS
INTELIGENTES DE
TRANSPORTE



APARCAMIENTO



SOSTENIBILIDAD



TRAFIC 2013

PROMUEVEN



COLABORAN



www.trafic.ifema.es

LÍNEA IFEMA

LLAMADAS DESDE ESPAÑA
INFOIFEMA 902 22 15 15
EXPOSITORES 902 22 16 16
LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00
FAX (34) 91 722 57 90
IFEMA Feria de Madrid
28042 Madrid
España
trafic@ifema.es

Últimas reuniones de los Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras

Comité Técnico de Seguridad Vial

El pasado 20 de marzo de 2013 se reunió en la Asociación Técnica de Carreteras el Comité de Seguridad Vial (C13). Durante la reunión, se renovaron los cargos, se propusieron nuevos Grupos de Trabajo y finalmente, se dejó tiempo para los posibles ruegos y preguntas.

En la última reunión celebrada por este Comité participaron las siguientes miembros del mismo:

Ana Arranz Cuenca, Prointec, S.A.; Miguel Arranz Montalvo, Aecom; Víctor Blanco Campos, Abertis Autopistas España; Ferran Camps I Roque,

Generalitat de Catalunya; Enrique Casquero De La Cruz, Generalitat Valenciana; Sergio Corredor Peña, Simprovi; Alonso Domínguez Herrera, Exeleria; Luis Estremera Rodríguez, 3M España; Susana Gómez Moreno, Ministerio de Fomento, DGC; José Ignacio Hervás Martín, Imesapi; Juan Isaac Jiménez Torres, Prointec; María Luisa Jimeno Berceruelo, Afasemetra; Rafael Jurado Piña, Universidad Politécnica de Madrid; Jesús M^a Leal Bermejo, Cedex; Roberto Llamas Rubio, Ministerio de Fomento, DGC; Francisco Morales Ortega, Ferrovial- Agromán;

José M^a Pardillo Mayora, Universidad Politécnica De Madrid; Fernando Pedrazo Majarrez, Ministerio de Fomento, DGC; Pablo Pérez De Villar Cruz, Ministerio de Fomento, DGC; Francisco Pérez María, Ministerio de Fomento, DGC; M^a Carmen Plaza García-Talavera, Comunidad de Madrid, DGC; Alicia Rodríguez Llorente, Dielse; Jorge Carlos Rodríguez Martínez, Aepo; Raquel Rojo Briones, Grupo Euroconsult; Pablo Sáez Villar, Acex; Laura Sánchez Ruiz, Jerol; Diego Sanz Abella, Inocsa y Cristina Zamorano Nicolás, Abertis Autopistas España.

Comité Técnico de Conservación

La Asociación Técnica de Carreteras celebró el pasado 17 de abril, en su sede de Madrid, el Comité Técnico de Conservación. Ésta fue la primera reunión que celebraba desde que la ATC tomara la decisión de revisar los Comités Técnicos y dividir el conocido como Comité de Conservación,

Gestión y Vialidad invernal (C-6) en dos: Comité de Conservación y Comité de Vialidad Invernal.

Durante esta reunión, se confirmaron los miembros pertenecientes a este Comité, se repasaron los trabajos y jornadas técnicas realizados en los últimos años. También

se debatió sobre tareas y objetivos futuros del Comité en relación con el estado de la conservación de las carreteras y la situación económica actual; así como sobre la preparación de las futuras XIV Jornadas de conservación, que tendrán lugar en octubre. ❖



Reunión del Comité de Conservación. FOTOGRAFÍAS: M^a José Sánchez.

Comité Técnico de Vialidad Invernal



Reunión del Comité Técnico de Vialidad Invernal. FOTOGRAFÍA: Eva Lázaro.

En los últimos meses, los Comités Técnicos de Vialidad Invernal (C.2) y de Conservación celebraron sendas reuniones, después de que la ATC decidiera la división del conocido como Comité de Conservación, Gestión y Vialidad invernal (C.6).

El Comité de Vialidad Invernal de la Asociación Técnica de Carreteras celebró su primera reunión del año el 21 de marzo de 2013, tras la revisión que la ATC ha llevado a cabo de los comités existentes. Como consecuencia de esta revisión, el antiguo Comité de Conservación, Gestión y Vialidad invernal (C.6) se

dividió en dos: Comité de Vialidad Invernal y Comité de Conservación. La creciente importancia de la gestión de la Vialidad Invernal en este país y el nuevo Comité Técnico de Vialidad Invernal (TC 2.4), que ha constituido la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC) para el período 2012-2015 son las causas que han motivado este cambio.

Otros Comités celebrados

También en la sede de la Asociación Técnica de Carreteras tuvo lugar la reunión del nuevo Comité creado por la ATC: Comité de Financiación (C.3).

En el mes de mayo se reunieron los siguientes Comités Técnicos en Madrid: Comité de Puentes, Comité de Geotecnia Vial, Comité de Vialidad Invernal. El Comité de Túneles del 8 de mayo se celebró en Valladolid. ❖



D. Luis Azcue Rodríguez, Presidente del Comité. FOTOGRAFÍA: Eva Lázaro.

Próximos Cursos de la Asociación Técnica de Carreteras

Curso de Geotecnia

Dirigido a todos aquellos profesionales del sector dedicados a la conservación y reparación de infraestructuras viarias, como Ingenieros técnicos o Licenciados en Ciencias Geológicas, en este curso se llevarán a cabo ejercicios sobre drenaje, estabilidad de taludes, de reparación de túneles y de recalce.

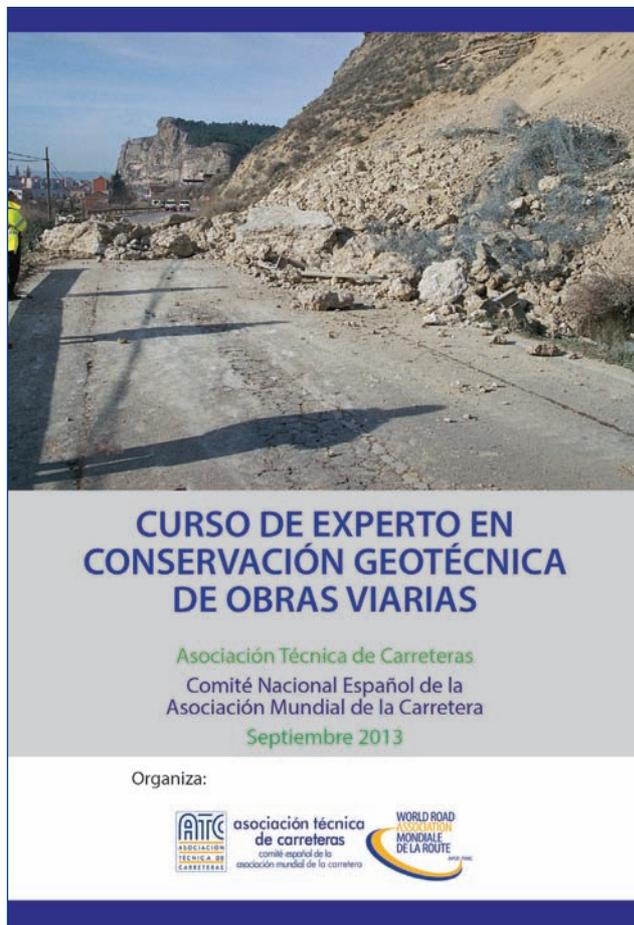
La considerable inversión en Obras viarias (carretera y ferrocarril) que se ha hecho en España durante los últimos veinticinco años ha dado lugar a unas redes de comunicación del tipo lineal de una gran importancia. Por ello, desde el primer momento, se ha tenido consciencia de la necesidad de su adecuado mantenimiento y/o conservación, a fin de que no se deteriore dicha red.

La Asociación Técnica de Carreteras ha considerado conveniente organizar el *Curso de experto en conservación geotécnica de obras viarias*, de 50 horas de duración.

Este curso se impartirá en el **mes de septiembre, durante tres semanas, los días 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25 y 26** en la sede de la Asociación Técnica de Carreteras.

Contenido del curso

En el temario está previsto que se aborden cuestiones como el reconocimiento geotécnico en obras viarias, una introducción a la estabilidad de Taludes, el riesgo sísmico a medio y largo plazo y ejercicios sobre drenaje, estabilidad de taludes, de reparación de túneles y de recalce. Incluye



además un examen final que permite acreditar los conocimientos adquiridos, a efectos de poder expedir la titulación de "Experto".

Los profesionales a cargo de la coordinación y dirección técnica del curso son: D. Carlos Oteo Mazo, Presidente del Comité de Geotecnia Vial, de la Asociación Técnica de Carreteras; Dña. Belén Monercillo, Directora de la Asociación Técnica de Carreteras; D. Álvaro Parrilla Alcaide, Jefe de Área de Geotecnia (Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento) y D. Ángel Juanco (Dirección General de Carreteras del Ministerio

de Fomento). El curso se dirige a todos los técnicos relacionados con los temas geotécnicos que lleva en vuelto el tema de conservación y reparación de infraestructuras viarias: Ingenieros Técnicos, Licenciados en Ciencias Geológicas e Ingeniería Geológica, Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, etc.

Sobre éste y otros cursos además del resto de jornadas técnicas que prepara la ATC hay más información en la página web:

<http://www.atc-piarc.com>

Curso básico de Cálculo de Estabilidad de Taludes por métodos de equilibrio límite

Los próximos 4, 5 y 6 de junio, la Asociación Técnica de Carreteras celebra el curso presencial de Cálculo de Taludes, que incluye una versión educacional del software GEOSTUDIO™

El primer objetivo del *Curso de Cálculo de Estabilidad de Taludes por métodos de equilibrio límite* es fundamentalmente teórico, mediante un repaso de los conceptos básicos de la teoría de filtración y de los métodos de equilibrio límite necesarios para su aplicación en cálculos de estabilidad de taludes.

A continuación, el contenido se enfoca a la aplicación práctica de la teoría mediante unas clases introductorias de iniciación al manejo del paquete informático GEOSTUDIO™, un software con el que se llevará a cabo la parte práctica, y que se repartirá el primer día a los alumnos, para que lo instalen en sus ordenadores portátiles.

Durante estas clases, el alumno deberá resolver un caso práctico que le será planteado. Este caso será realizado en común en la clase, de forma

asistida, con el apoyo que sea necesario por parte de los profesores. La última parte del curso estará formada por un ejercicio práctico que deberá resolver el alumno de forma personal durante las semanas posteriores a las clases presenciales.

El ejercicio resuelto se enviará al equipo docente para su evaluación final. Al inicio del curso se hará entrega de la documentación correspondiente, formada por las presentaciones de las clases teóricas y una guía rápida de uso del paquete GEOSTUDIO™.

Profesionales que participan

El Curso básico de Cálculo de Estabilidad de Taludes está dirigido por Dña. Belén monercillo Delgado, Directora de la Asociación Técnica de Carreteras mientras que la Dirección Técnica está a cargo de D. Miguel Ángel Toledo Municio y D. Rafael Morán Moya, del Departamento de Ingeniería Civil, Hidráulica y Energética. (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

CURSO BÁSICO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Asociación Técnica de Carreteras
Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera

Madrid, del 4 al 6 de junio de 2013

Organiza:

Plataforma online

La Asociación Técnica de Carreteras estrenó el pasado mes de enero la plataforma de formación online. Es decir, las personas interesadas en realizar el *Curso de experto profesional en pavimentos de obra civil*, que es el primero de esta modalidad que ha puesto en marcha la ATC, puede inscribirse desde la página web de la Asociación (<http://www.atc-piarc.com/>) y descargarse el programa.

Este curso dura tres meses y equivale a 12 créditos ECTS (European Credit Transfer System). Al finalizar, los alumnos que hayan recibido una calificación positiva, podrán obtener el correspondiente certificado de aprovechamiento, emitido por el Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera, la ATC.

© A.T.C. Asociación Técnica de Carreteras, (Calle Monte Esquinas, 24, 28010, Madrid) | Tel. (34) 91 308 23 18 | [Página web de inicio de formación de la Asociación Técnica de Carreteras.](http://www.atc-piarc.com)

Una aplicación móvil que vela por la seguridad de los conductores, proyecto ganador de 'Tu Idea Conduce el Éxito'

Los ganadores visitarán el Centro Técnico Europeo de Bridgestone en Roma; disfrutarán de un plan de prácticas y formación en las diferentes áreas que la Compañía tiene en España y de 3 becas para un máster en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Antonio de Nebrija.

Madrid, 9 de abril de 2013

El equipo conformado por los estudiantes Alberto Corral (Diseño Industrial), Ignacio Balerdi (Industriales) y Raquel Ayuso (Industriales) se ha proclamado ganador de la primera edición de 'Tu Idea Conduce al Éxito', una iniciativa promovida por Bridgestone y la Universidad Nebrija, en un acto celebrado hoy en el HUB Madrid. Su idea: una aplicación móvil que vela por la seguridad de los conductores a través de un sistema de GPS que analiza en tiempo real variables como el tipo de vehículo y de carretera, la velocidad, las condiciones de la ruta y meteorológicas, la densidad del tráfico, o la visibilidad. Un código de colores es el encargado de indicar la idoneidad de reducir o no la velocidad del vehículo.

El equipo ganador recibirá como premio por parte de Bridgestone, un viaje a Roma para visitar su Centro Técnico Europeo, así como un Plan de Prácticas laborales de 6 meses - para los ganadores y los dos finalistas-, además de un Plan de Formación de 10 días en las diferentes áreas de Bridgestone en España. Por su parte, la Universidad Nebrija concede 3 becas, por un importe del 50%, en cualquiera de los másteres que la Escuela Politécnica Superior ofrece.

La entrega de premios ha estado presidida por Federico Fernández,

Subdirector General de Tráfico y Movilidad de la Dirección General de Tráfico (DGT); Juan José Lillo, Director General de la Región Suroeste Europa de Bridgestone; y Alberto López Rosado, Vicerrector de Ordenación Académica.

Durante el acto, el Subdirector de la DGT, Federico Fernández, definió la iniciativa como "apasionante" y agradeció a Bridgestone y a la Universidad Nebrija haberle hecho partícipe del proyecto. Fernández recordó a los jóvenes presentes que "en el campo de la movilidad y la seguridad vial hay todavía muchas mejoras por hacer y, como generación os corresponde a vosotros hacerlas. El proyecto 'Tu idea conduce al éxito' ha puesto de manifiesto que hay ideas y que tenéis la capacidad para conseguir que esta sociedad sea más evolucionada, sostenible y segura". El responsable de la DGT destacó de los estudiantes participantes su "capacidad de trabajar en equipo, la voluntad para concebir y desarrollar ideas propias, el emprendimiento y la habilidad para presentar y vender esas ideas y convencer a los demás de los valores de las mismas".

Juan José Lillo, por su parte, resaltó la calidad y excelencia de las ideas presentadas y el alto nivel de participación que, con cerca de 90 trabajos, superó todas las expectativas. Lillo señaló que "proyectos

como este impulsado por Bridgestone y la Universidad Nebrija son de vital importancia en un contexto económico como el que estamos viendo actualmente. Hoy, más que nunca, es necesario poner en marcha iniciativas que apuesten por nuestros jóvenes, sin duda, el mejor activo de futuro con el que contamos. Es fundamental que pongamos en valor ese potencial y sepamos retener su talento. Éste es el objetivo de 'Tu idea conduce al éxito', y en ello radica su relevancia".

"El enfoque aplicado de nuestra enseñanza se abre también a horizontes como el emprendimiento y la innovación con el aval de la preparación exigente y de rigor recibida en Nebrija que incluye idiomas y habilidades personales y profesionales, capacitando así a nuestro alumnado para su inmediata incorporación al mercado profesional" comentó el Vicerrector de Ordenación Académica y también Director de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Nebrija.

Un jurado de excepción

El jurado responsable de la decisión final ha estado compuesto por profesionales procedentes de diversas áreas ligadas a la innovación y la seguridad: Federico Fernández, Subdirector General de Tráfico y

Movilidad de la DGT; Juan de Norverto, ingeniero y profesor de la Universidad Nebrija; Jonathan Alcantarilla, Ingeniero del Servicio Técnico de Bridgestone; Pedro Bueno, Departamento de Seguridad Pasiva del Centro de Vehículos del INTA; y Mario Arnaldo, Presidente de Automovilistas Europeos Asociados.

Tras su deliberación, los miembros del jurado destacaron el alto nivel de todas las propuestas finalistas y quisieron remarcar que su decisión ha estado basada en la necesidad actual de desarrollar iniciativas que contribuyan de manera original y eficaz en una movilidad sostenible y segura.

El equipo vencedor superó un primer corte el pasado mes de diciembre de entre un total de 17 proyectos presentados por más de medio centenar de alumnos de los Grados en Ingeniería del Automóvil, Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto en la Escuela Politécnica Superior de la Nebrija. Desde entonces, y junto a otros cuatro proyectos finalistas, han estado desarrollando sus ideas con el fin de reformular o mejorar soluciones ya existentes y, su aplicación creativa e innovadora en el sector automovilístico, siempre desde el punto de vista de la sostenibilidad y la innovación.

Unidos por la innovación y la seguridad vial

Bridgestone y la Universidad Nebrija consideran que, en el complejo contexto económico actual, es fundamental fomentar entre los jóvenes la innovación como elemento clave para impulsar la competitividad. Por tanto, ofrecerles iniciativas como éstas les ayudan a desarrollar sus capacidades emprendedoras y les abren nuevas posibilidades profesionales y oportunidades de futuro en nuestro país.

‘Tu Idea Conduce al Éxito’ se enmarca dentro de las acciones de Responsabilidad Social, tanto de Bridgestone como de la Universidad Nebrija, y nace como aliciente para los alumnos para que sean innovadores y emprendan. Al mismo tiempo se les concientiza y sensibiliza en los dos ejes claves por los que pasa, ineludiblemente, el presente y el futuro del sector de la automoción: la preservación del medio ambiente y la seguridad vial.

La iniciativa está diseñada como un proyecto de largo recorrido. Celebrada su primera edición en el actual curso 2012-2013, prevé prolongarse tres años más.

Bridgestone Hispania, S.A. es una de las filiales más importantes

del Grupo Bridgestone en Europa y se encuentra entre las primeras cien empresas españolas. Con más de 4.000 empleados, la compañía posee 3 fábricas situadas en Burgos, Vizcaya y Santander. En ellas se produce una línea completa de neumáticos de alta calidad Bridgestone y Firestone.

Bridgestone Hispania se engloba dentro de Bridgestone Europa, con sede en Bruselas, filial regional clave del Grupo Bridgestone, el mayor fabricante mundial de neumáticos y otros productos derivados del caucho. Bridgestone Europa cuenta con 8 fábricas y oficinas en más de 30 países europeos, con más de 13.000 empleados. Fabrica neumáticos de calidad premium que son vendidos en Europa y en el resto del mundo. Asimismo, gestiona uno de los tres centros de I+D que el Grupo posee a nivel mundial, ubicado en Roma.

La Universidad Nebrija es una institución privada de enseñanza superior independiente, joven y humanista, con fuerte orientación por la actividad investigadora y emprendedora, y de marcada proyección global e internacional. Una Universidad a la vanguardia de la excelencia académica, comprometida con la empleabilidad y la innovación en sus programas a través de una metodología práctica basada en la transmisión de conocimientos, competencias personales y profesionales que facilitan la incorporación del alumno con garantías de éxito al mercado laboral nacional e internacional y la investigación competitiva.

Cada año, la Nebrija forma a más de 4.000 alumnos con una propuesta docente de 28 titulaciones que incluye las facultades de Ciencias Sociales, Ciencias de la Comunicación, las Artes y las Letras, la Escuela Politécnica Superior y la Escuela de Arquitectura, Ciencias de la Salud, así como Nebrija Business School, en el área de postgrado. ❖



Ganadores de ‘Tu Idea Conduce el Éxito’. FOTOGRAFÍA: Universidad Antonio de Nebrija.

La ATC también es noticia

El periódico **Inversión y Finanzas** publicó una noticia de la **Agencia EFE** sobre la comparecencia del Consejero de Fomento y Medio Ambiente de Castilla y León, D. Antonio Silván Rodríguez, en la Jornada Técnica sobre Últimas tecnologías del hormigón aplicadas a las carreteras:



INVERSIÓN
& finanzas.com

Silván apuesta por la innovación en carreteras para el crecimiento económico

06/03/2013 - 11:13 Noticias EFE

El consejero de Fomento y Medio Ambiente de Castilla y León, Antonio Silván, ha expresado hoy su "apoyo" al sector de innovación en carreteras ya que "constituye un motor de crecimiento económico y de generación y mantenimiento de empleo".

El consejero ha realizado estas declaraciones a los periodistas en la presentación de la jornada técnica 'Las últimas tecnologías del hormigón aplicadas a las carreteras' que hoy acoge la Comunidad en la sede de la Consejería de Fomento, en Valladolid, para discutir los últimos avances respecto al uso de este material.

Al encuentro, organizado por la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) y promovido por la Junta de Castilla y León, está prevista la asistencia de cerca de 150 participantes y expertos en la materia entre ingenieros, directores técnicos de diferentes empresas y sectores como los Bomberos.

noticias **castillayleon**.com

El consejero destaca la calidad de los pavimentos y estructuras

Silván destaca el beneficio económico de las nuevas tecnologías aplicadas a las carreteras

Redacción A.B.

El consejero de Fomento y Medio Ambiente, Antonio Silván, ha asistido esta mañana a la Jornada 'Últimas tecnologías del hormigón aplicadas a las carreteras', organizada por la Asociación Técnica de Carreteras y el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.

La ATC aparece en sus Boletines:



“La Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas (AETOS) y La Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional de la Asociación Mundial de la Carretera), se han unido a la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) y al Comité sobre Seguridad Operativa de las Instalaciones Subterráneas (COSUF), perteneciente a la Asociación Internacional de Túneles (ITA), para organizar un seminario sobre la seguridad en infraestructuras complejas de transporte subterránea [...]”



La Asociación Técnica de Comité Español de la Asociación Mundial de Carreteras, ha convocado un concurso abierto a todos los profesionales que manifiesten un interés en el sector de la carretera y de los transportes.

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Comité Nacional de la Asociación Mundial de la Carretera



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



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

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

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:

Tel.: 913082318 Fax: 913082319

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

http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php



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 numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa

NIF

Dirección

Teléfono

Ciudad

C.P.

e-mail

Provincia

País

Fecha

Firma

REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO



M E J O R A R , P E R P E T U A R , A S E G U R A R



FREYSSINET
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

Trabajar juntos para que sus proyectos sean un éxito

LAS CARRETERAS HECHAS
CON BETUNES **ELASTER** AÚN ESTARÁN AHÍ
CUANDO YA NO SEAN NECESARIAS.



**PROAS PRESENTA ELASTER, SU NUEVA GAMA DE
BETUNES MODIFICADOS CON POLÍMERO.**

Tecnología punta aplicada al Betún para que tus carreteras
sean más seguras, ecológicas y longevas.

www.proas.es

PROAS

Innovando para ti