



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



RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 170
ENERO - MARZO
2017

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral

ATC



X Jornadas Vialidad Invernal

RUTAS TÉCNICA

Las normas UNE-ISO 55000 y las carreteras

Colapso del puente del Guadarrama en la M-527. Autopsia y enseñanzas

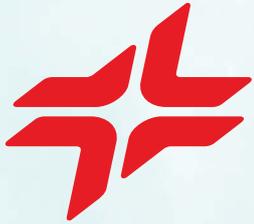
Recomendaciones para el diseño de rellenos estructurales de tierras frente a la acción del agua

CULTURA Y CARRETERA

Las carreteras en el cómic.
Cuatro propuestas de lectura

ACTIVIDAD INTERNACIONAL

Implantación de Ayesa en India:
Andaluces por el Mundo



CARRETERA A ESTRENAR CADA DÍA

En Cepsa queremos cuidar y conservar las carreteras siempre en perfecto estado. Por ello, disponemos de una amplia gama de betunes convencionales, desde la Gama ELASTER de última generación en betunes modificados con polímeros, hasta masillas sellantes.

Mantener las carreteras es fácil con los Asfaltos de Cepsa.

Más información en el **91 265 47 13** o en cepsa.com/asfaltos



CEPSA

Tu mundo, más eficiente.



4

Tribuna Abierta

- 3 Tratamiento de las excepciones del diseño geométrico de carreteras
Alfredo García

ATC

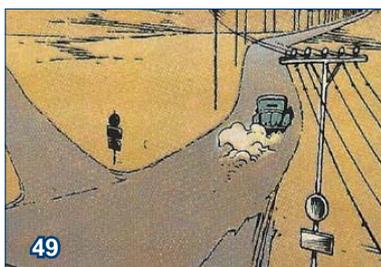
- 4 X Jornadas Vialidad Invernal
Luis Azcue Rodríguez



34

Rutas Técnica

- 12 Las normas UNE-ISO 55000 y las carreteras
UNE-ISO 55000 Standards and Roads
Comité Técnico de Conservación y Gestión. Grupo de trabajo: Patrimonio
- 20 Colapso del puente del Guadarrama en la M-527. Autopsia y enseñanzas
The Collapse of the Bridge Over the Guadarrama River in the M-527 Road. Autopsy and Teachings
Belén Peña, Pedro Berrueto y Javier León



49

- 34 Recomendaciones para el diseño de rellenos estructurales de tierras frente a la acción del agua
Guidelines for the Design of Structural Embankments Against Water Action
Comité de Geotecnia Vial. Grupo de Trabajo de Agua en Terraplenes

Cultura y Carreteras

- 49 Las carreteras en el cómic. Cuatro propuestas de lectura
Road Comics. Four Reading Proposals
Santiago Girón



52

Actividad Internacional

- 52 Implantación de Ayesa en India: Andaluces por el Mundo

Actividades del Sector

- 56 Seminario "Gestión de Activos Viales para carreteras rurales y de volumen bajo"

PIARC

- 57 El Comité Técnico A.1 "Funcionamiento de las administraciones de transporte" de la Asociación Mundial de Carreteras. Reunión celebrada en Madrid

ATC

- 61 Herramienta de detección precoz de anomalías en estaciones de toma de datos de tráfico
- 69 Junta Directiva, Comités y Socios de la Asociación Técnica de Carreteras



57



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



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

DIALNET · ICYT ·
LATINDEX (Catálogo y Directorio)



Edita:

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

Comité Editorial:

Presidente:

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

Vicepresidente de estrategia:

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

Vicepresidente Ejecutivo:

Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez Dirección General de Carreteras, M. Fomento (España)

Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
María Luisa Delgado Medina	Subdirectora General de Transferencia de Tecnología, M. Economía y Competitividad (España)
Diana María Espinosa Bula	Presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, SCI (Colombia)
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	Presidente HOF Consultores (Colombia)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Clemente Poon Hung	Director General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura (México)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)

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

Rafael López Guarga	Túneles de Carreteras
Julio José Vaquero García	Firmes de Carreteras
Fernando Pedraza Majarrez	Planificación, Diseño y Tráfico
Álvaro Parrilla Alcaide	Geotecnia Vial
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Conservación y Gestión
Luis Azcue Rodríguez	Vialidad Invernal
Gerardo Gavilanes Ginerés	Financiación
Álvaro Navareño Rojo	Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

Redacción:

Asociación Técnica de Carreteras

Diseño, Maquetación, Producción, Gestión Publicitaria y Distribución:
Ediciones Técnicas PAUTA
direccion@edicionespauta.com

Publicidad:

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

Arte Final e Impresión:

Gráficas ARIES

Fotografía de portada: Diseñado por Pressfoto - Freepik.com

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

Todos los derechos reservados.

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

Precio en España: 18 euros +IVA

©Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

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

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

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



N° 170 ENERO - MARZO 2017

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Tratamiento de las excepciones del diseño geométrico de carreteras

La Instrucción de Carreteras 3.1-IC de Trazado (2016) abre la posibilidad de que, excepcionalmente, se puedan admitir cambios de los criterios contenidos en ella con la suficiente y fundada justificación. Para ello, establece que el autor del proyecto podrá acudir a las guías y a los textos publicados por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, a otros textos técnicos, o a la realización de estudios específicos; documentando todo ello en la memoria del proyecto, quedando supeditado a contar con la conformidad del director del proyecto.

Esta posibilidad, siendo conveniente para poder flexibilizar un diseño geométrico, presenta serias limitaciones por su indefinición y la posible discrecionalidad en la necesaria aprobación. Todos los criterios contenidos en la Instrucción tienen su repercusión en el diseño, pero no todos afectan a la seguridad y la funcionalidad del tráfico en el mismo grado.

Internacionalmente, se habla de excepciones del diseño cuando un determinado parámetro no cumple lo especificado en la norma de aplicación. No todas las excepciones suponen un impacto importante en el resultado final del diseño geométrico. Hay algunos criterios de diseño que son más sensibles y se denominan criterios de control. En 1985, la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU. (FHWA) estableció 13 elementos específicos del diseño de carreteras como criterios de control: velocidad de diseño, anchura de carril, anchura del arcén, anchura de puente, capacidad estructural, trazado en planta, trazado en alzado, pendiente longitudinal, distancia de parada, bombeo transversal, peralte, gálibo y retranqueo lateral de obstáculos.

En lo que ha transcurrido de siglo, se ha avanzado en investigaciones que aportan criterios adicionales que permiten pasar del enfoque tradicional de diseño guiado exclusivamente por el cumplimiento de las normas, a un proceso de diseño basado en las prestaciones. En él los efectos de las decisiones de diseño en la funcionalidad del tráfico y en la seguridad se consideren explícitamente. Por ejemplo, en los EE.UU. se publicó en 2016 una nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras (*TRB*) y en 2010 el Manual de Seguridad Vial (*AASHTO*).

En los últimos años se ha investigado sobre los impactos de los 13 controles, pero también de otros criterios de diseño geométrico (*NCHRP Report 783*). Esto ha permitido

evaluar las repercusiones en la operación y en la seguridad de las decisiones de diseño para estos criterios y para diferentes tipos de carreteras. El análisis de sensibilidad permitió reducir y priorizar los criterios de control según el tipo de carretera. También se han redefinido algunos de los criterios de control y se han reducido a solo 7 que realmente presentan un efecto cuantificable.

La propuesta final jerarquizada, que parece va a ser incorporada en la nueva edición de las normas de trazado (*Green Book*) de la *AASHTO* prevista para 2018, es la siguiente: anchura de arcén; anchura de carril; radio de curva en planta; peralte; pendiente longitudinal máxima; distancia de parada; y bombeo transversal. Esto puede permitir clasificar los posibles incumplimientos de la normativa de diseño geométrico, proponiendo tres niveles de gravedad según el tipo de carretera.

De esta forma, cada incumplimiento, según su nivel de gravedad, debería o podría ser corregido en el propio proceso de diseño geométrico o, si no fuera posible, formalizar una excepción al diseño fundamentada en la cuantificación de posibles efectos operacionales y en seguridad vial. Esto último solo tiene sentido para incumplimientos que no sean leves. Además, se deberían proponer alternativas de acciones de mitigación para paliar dichos efectos y seleccionar y aplicar en el diseño las más adecuadas.

Dentro de cada nivel de incumplimiento podrá haber cierta diferenciación según sea la desviación del valor respecto del recogido en la norma. El tipo de proyecto de carretera también influirá, ya que no será igual de grave un incumplimiento en el desarrollo de una nueva carretera que en el acondicionamiento de una existente.

La documentación de una excepción de diseño por parte del proyectista debería incluir: criterio no cumplido; parámetros propuestos; alternativas consideradas; comparación del impacto en seguridad y funcionalidad, junto con la ocupación de suelo, el impacto en el entorno y el coste; medidas de mitigación propuestas; compatibilidad con secciones adyacentes de carretera; posible modificación de la velocidad de diseño del segmento de carretera.

Todo este nuevo planteamiento lleva necesariamente aparejado que la supervisión de proyectos de carretera se haga atendiendo a la gravedad de las excepciones, a la cuantificación de los impactos y a las medidas de mitigación posibles ❖

X JORNADAS VIALIDAD INVERNAL



SANTANDER · 14, 15 y 16 de marzo 2017

Luis Azcue Rodríguez
Presidente del Comité de Vialidad Invernal de la ATC.

Los pasados 14, 15 y 16 de marzo de 2017, la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), junto con la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX), han celebrado en Santander las "X Jornadas de Vialidad Invernal".

Ha transcurrido casi una década desde la celebración de las anteriores jornadas celebradas en Vielha en febrero de 2008, y éstas han tenido

una gran acogida con la asistencia de cerca de cuatrocientos congresistas.

En la sesión inaugural, presidida por Jorge Urrecho Corrales, Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento, participó además del Gobierno de Cantabria, representado por José María Mazón Ramos, Consejero de Obras Públicas y Vivienda, el Ayuntamiento de Santander representado por César Díaz Maza, Primer Teniente de Alcalde, Concejal de In-

fraestructuras, Urbanismo y Vivienda, el Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, Luis Alberto Solís Villa, el Presidente de la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras, Federico Soria Martínez y el Ponente General de la Jornadas, Luis Azcue Rodríguez.

En las palabras de inauguración se puso de manifiesto la importancia que dentro de las labores de conservación tienen los trabajos para el

mantenimiento de la vialidad invernal y el elevado número de recursos que a ello se dedican.

Las jornadas de trabajo se han desarrollado en tres días, habiéndose presentado un total de 27 ponencias, organizadas en 7 sesiones. Así mismo, durante estas jornadas se ha celebrado el primer campeonato nacional de conductores de equipos quitanieves

PRIMER DÍA VIALIDAD INVERNAL EN LAS DISTINTAS REDES DE CARRETERAS DE ESPAÑA

Tras la sesión inaugural, el primer día se dividió en tres sesiones de trabajo distribuidas a lo largo de la jornada.

La tres primeras sesiones se centraron en la Vialidad Invernal en las Distintas Redes de Carreteras en España.

Sesión 1

Presidida por Jorge Urrecho Corrales, Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

1.1. Vialidad Invernal en la Red de Carreteras del Estado en España (Ponente: Carmen Sánchez Sanz. Subdirectora General de Conservación de la DGC).

En su exposición se ha procedido a dar un repaso detallado a la organización de la Vialidad Invernal en la Red del Estado poniendo de manifiesto las características de las carreteras de la Red del Estado, los objetivos planteados, los medios disponibles, el importe de la inversión anual que se sitúa en torno a los 62 M€, el importante incremento de los medios en estos últimos años, los Niveles de Servicio asignados a los tramos de la Red, el Protocolo de Coordinación entre organismos de la Administración General del Estado y los protocolos provinciales, los Planes Operativos de cada sec-



Mesa Inaugural compuesta por, de izquierda a derecha, Luis Azcue Rodríguez, Federico Soria Martínez, José María Mazón Ramos, Jorge Urrecho Corrales, Cesar Díaz Maza y Luis Alberto Solís Villa

tor, los fundentes empleados y los aparcamientos de emergencia de la Dirección General de Carreteras, estratégicamente dispuestos.

1.2. Gestión del Tráfico en condiciones meteorológicas adversas (Ponente: Jaime Moreno García-Cano. Subdirector General de Gestión de la Movilidad de la DGT).

En su ponencia se han repasado las incidencias de tráfico acaecidas como consecuencia de problemas derivados del mantenimiento invernal durante la pasada campaña; los nuevos sistemas de gestión de incidencias: transmisión de la información, situación de áreas de embolsamiento. Así mismo apuntó las nuevas medidas de gestión del tráfico previstas y la modificación de los niveles de servicio actuales (los colores de la nieve) y otras medidas en estudio.

1.3. Vialidad Invernal en las Carreteras de la Comunidad Autónoma de Cantabria (Ponente: José Luis Gochicoa González. Director General de Obras Públicas del Gobierno de Cantabria).

En su ponencia habló sobre la gestión de la vialidad invernal en las carreteras de la comunidad autónoma de Cantabria. Según comentó, existen dos zonas claramente diferenciadas, zona norte y zona sur. Ex-

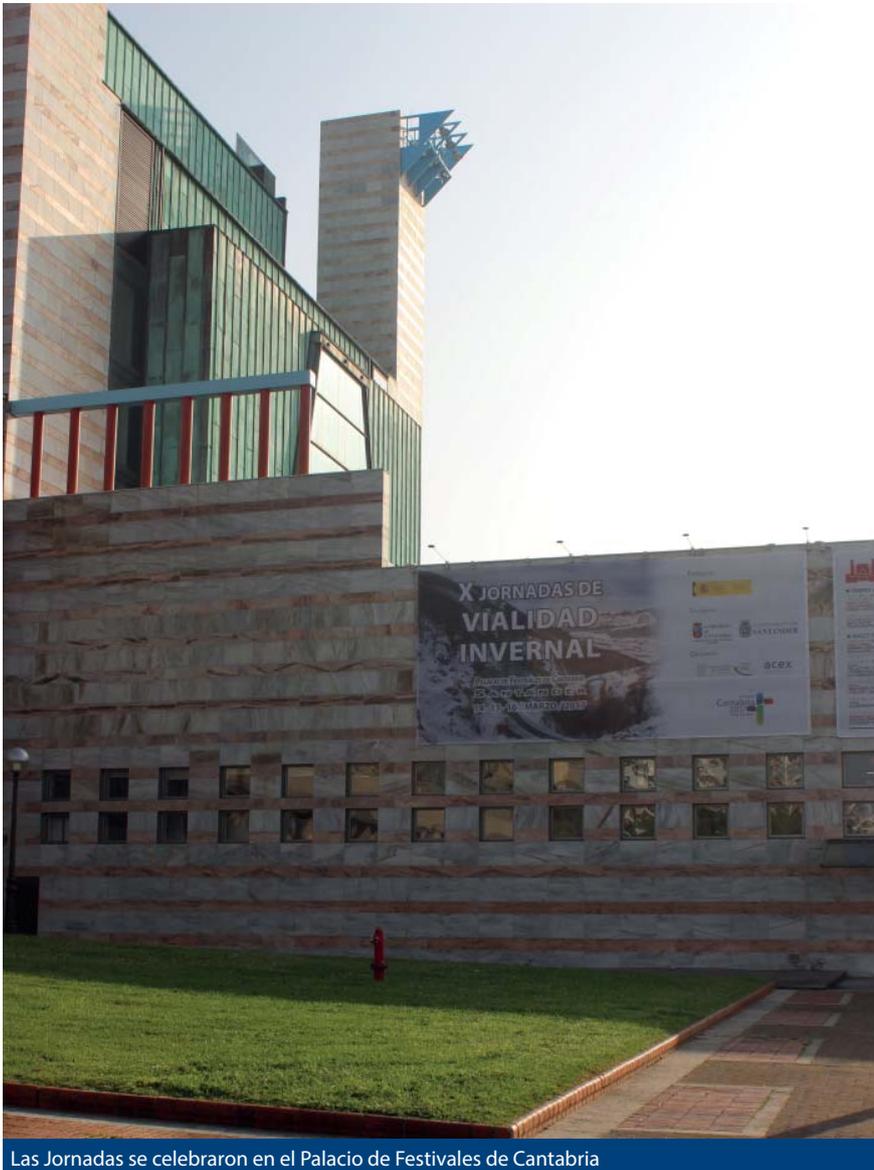
plicó como se ejecutan los trabajos para el mantenimiento de la vialidad invernal mediante medios propios (21 equipos y 1260 t de fundentes), y los pasos iniciales para la externalización de parte del servicio (más 10 equipos contratados).

Sesión 2

Presidida por Carmen Sánchez Sanz, Subdirectora General de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

2.1. Vialidad Invernal en las carreteras de la Comunidad de Madrid (Ponente: Miguel Nuñez. Jefe de Área de Conservación y Explotación de Carreteras. DG Carreteras e Infraestructuras, Comunidad de Madrid).

En su ponencia, Miguel Nuñez explicó la organización de la Vialidad Invernal en la Red de carreteras de la Comunidad de Madrid, aportando datos generales de la Red de carreteras de la comunidad con 210 km con cota superior a 1200 m, su Protocolo de Vialidad Invernal con la zonificación del territorio en función del riesgo, la organización de los trabajos, los medios disponibles con 56 quitanieves de empuje y



Las Jornadas se celebraron en el Palacio de Festivales de Cantabria

1 dinámica, 13 naves y 29 silos con una capacidad de almacenamiento total de 5300 t de fundentes, número de centrales de salmuera, cámaras de circuito cerrado de televisión, paneles de mensaje variable, estaciones meteorológicas, priorización, la problemática de los Puertos de montaña, el centro de coordinación e información de carreteras. Para acabar expuso los procedimientos de Coordinación con otros organismos locales y estatales, y puso de manifiesto la gran disparidad en cuanto a la terminología utilizada por cada organización, los umbrales de definición, etc.

2.2. Vialidad Invernal en las carreteras de la Comunidad Foral de

Navarra: experiencia y soluciones técnicas aportadas en la limpieza de nieve en el Puerto de Belagua (Ponente: Luis Miguel Martín Gómez. Servicio de Conservación de Carreteras de la Dirección General de Obras Públicas de la Comunidad Foral de Navarra).

En su exposición se explicó la organización de la Vialidad Invernal en la Red de carreteras de la Comunidad foral Navarra y se expuso de manera detallada la organización de los trabajos en el mantenimiento invernal del Puerto de Belagua en la NA-137.

2.3. Vialidad Invernal en las carreteras de la Comunidad de Castilla y León (Ponente: Teodoro Ozarín García. Jefe de Sección de Conserva-

ción. Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León).

Su ponencia habló de como se organiza la Vialidad Invernal en la Red de carreteras de la Junta de Castilla y León, dando un repaso acerca de los datos generales de Comunidad Autónoma (concentración de la población en nueve núcleos urbanos), datos generales de la Red (red básica y red complementaria, preferente y local), el tráfico, la orografía y el clima, los niveles de servicio asignados, los medios disponibles (115 quitanieves de empuje y 18 dinámicas, 89 silos, 31 almacenes y 17 acopios con una capacidad de almacenamiento total de 13 660 t de fundentes) y los procedimientos operativos desarrollados.

2.4. Vialidad Invernal en un entorno urbano Vitoria-Gasteiz (Ponente: José Antonio Vicho Cancho. Responsable del Departamento de Bomberos, Tráfico y Policía del Ayuntamiento de Vitoria).

En esta ponencia se abordó la vialidad invernal desde un enfoque urbano, concretamente desde el punto de vista del Ayuntamiento de Vitoria. Se repasaron las nevadas más importantes acaecidas en los últimos años, la trascendencia de las nevadas en entorno urbano, el Plan de Actuación de nevadas enfocado como Plan de emergencias (fases del plan, recorridos principales en la limpieza de nieve, aceras y zonas peatonales). Se hizo hincapié en la importancia de las Campañas de Concienciación ante nevadas y se plantearon una serie de reflexiones sobre la nieve, como son las preguntas que siempre nos asaltan: gestión eficiente y eficaz, prioridad de los vehículos o de los peatones, efectos colaterales de los fundentes, la anticipación en los trabajos de vialidad invernal, la suficiencia o no de la inversión y se planteó la necesidad de llegar a un pacto de no agresión entre representantes políticos.

EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA

Con motivo de las X Jornadas de Vialidad Invernal se organizó un concurso de fotografía. Las fotografías recibidas fueron expuestas en la sede de las Jornadas durante la celebración de las mismas.

Las fotografías ganadoras en las diferentes categorías fueron:

- Operaciones de Vialidad Invernal:
"La habilidad es la clave para abrir el camino", África Lavín Quevedo (Elsamex)
- Carretera y Nieve:
"Ventisca", Álvaro Cerro Carrero (Acciona)



La habilidad es la clave para abrir el camino



Ventisca

Sesión 3

Presidida por D. Fernando Hernández Alastuey, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado de Cantabria. DGC del Ministerio de Fomento.

3.1. Mesa Redonda: Compromiso Social de Movilidad en un Entorno Económico Restringido.

Moderador:

- Fernando Hernández Alastuey (Jefe Demarcación de R.C.E. en Cantabria)

Participantes:

- Mario Arnaldo (Automovilistas Europeos Asociados)
- Rubén Flores Rodríguez (Comandante Jefe de Sector de Tráfico de Cantabria, Guardia Civil de Tráfico)
- Juan Zamorano Martín (Experto en Vialidad Invernal)
- Gabriel Jiménez (Autobild. Revista especializada del motor)

- Manuel del Jesús Clemente (DGOP. Gobierno de Cantabria)

• Pablo Sáez Villar (Gerente ACEX)
En la mesa se plantearon distintas preguntas ante las cuales los distintos participantes pusieron de manifiesto su opinión.

LAS CUESTIONES PLANTEADAS FUERON LAS SIGUIENTES:

1. Predicciones meteorológicas adversas: son creíbles, hacen modificar los planes, o los comportamientos en la conducción de los ciudadanos (desistimiento del viaje, adquisición de cadenas, llenado del depósito, conducción con luz de cruce,...)
2. Los organismos responsables de la vialidad invernal ¿actúan con suficiente antelación ante las previsiones meteorológicas?
3. ¿Las limitaciones a la circulación de vehículos pesados son asumidas por los conductores?
4. ¿La información que reciben los conductores sobre el estado de

las carreteras, en los aparcamientos de emergencia, es la adecuada? (propuesta de mejora)

5. ¿Es adecuada la coordinación entre los diversos organismos implicados en el mantenimiento invernal?
6. Son adecuados los medios destinados al mantenimiento de la vialidad invernal en lo que se refiere tanto a la lucha contra el hielo (preventivos) y contra la nieve (curativos).

3.2. Actuaciones del Comité de Vialidad Invernal C.2 de la Asociación Técnica de Carreteras. (Lola García Arévalo. Secretaria Comité C.2 de la ATC. Ferrovial Servicios).

En su exposición se dio un repaso a las actividades del Comité de Vialidad Invernal de la Asociación Técnica de Carreteras, haciendo referencia a su refundación como comité independiente en marzo de 2013 y describiendo las actividades llevadas a cabo en el pasado ciclo 2012/2015.

CONCURSO CONDUCCIÓN MAQUINAS QUITANIEVES

En el ámbito de las X Jornadas de Vialidad Invernal se organizo el primer Campeonato Nacional de Conductores de equipos quitanieves, celebrado en el parking del Palacio de Festivales de Cantabria.

Entre los siete participantes el resultado final fue:

- Primer puesto: Sergio Nuñez Canillas (Elsan)
- Segundo puesto: José Gabriel Fuente Gómez (Valoriza)
- Tercer puesto: Cecilio de Bustos Díaz (Matinsa)



Se expusieron los trabajos llevados a cabo por los tres grupos de trabajo: Sostenibilidad, Gestión de crisis y Técnicas y tecnologías. Además, se apuntó el estado actual del comité para el presente ciclo 2016/2019 y los trabajos que está previsto que se lleven a cabo por los tres grupos de trabajo constituidos, en relación con Niveles de Servicio, Análisis y puesta al día del *Databook* y la Organización de estas Jornadas de Vialidad Invernal

3.3. Comunicaciones libres:

Se presentaron cuatro comunicaciones libres en este turno. Las ponencias fueron las siguientes:

- Meteorología y vialidad invernal (Ponente: Salud Alonso. Meteogroup)
- Investigación en fundentes más sostenibles. Salmuera Aditivada (Ponente: Eduardo Vara. Collosa)
- Diseño y desarrollo de Barreras Antiventisca (Ponente: Francisco Ballester. Universidad de Cantabria)
- Neumáticos de invierno, una apuesta por la movilidad. (Ponente: José Luis Rodríguez. Co-

misión de Fabricantes de Neumáticos. Consorcio Nacional de Industriales del Caucho)

SEGUNDO DÍA EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES EN LA GESTIÓN DE LA VIALIDAD INVERNAL

Sesión 4

Presidida por Jaime López-Cuervo Abad. Subdirector Adjunto de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

4.1. Resumen de Avances y Comunicaciones presentadas en el XIV C.I. de Vialidad Invernal de Andorra (Ponente: David Palmitjavila. Comité Organizador del XIV C.I. Andorra).

Se realizó un resumen del desarrollo del Congreso Internacional de Vialidad Invernal que se celebró en Andorra en febrero de 2014, a la que asistieron cerca de 1000 congresis-

tas y dónde se presentaron 150 ponencias organizadas bajo 8 temáticas distintas en 38 sesiones técnicas. También se celebró el II Campeonato Internacional de conductores de máquinas quitanieves con 25 participantes

4.2. Presentación del XV Congreso Internacional de Vialidad Invernal de Gdansk (Polonia) (Ponente: Robin Sébille, Secretario General Adjunto de la PIARC).

Robin Sébille llevó a cabo una presentación sobre el próximo Congreso Internacional que se celebrará en Gdansk, Polonia, en febrero de 2018.

Gestión de la Vialidad Invernal en diferentes Administraciones Internacionales:

4.3. Gestión de la Vialidad Invernal en la Red de Carreteras de Reino Unido (Ponentes: Salvador Urquía Grande y Alan Chambers. Ferrovial Servicios).

Con esta ponencia se dio un repaso a la organización de la Vialidad Invernal en la Red de carreteras del Reino Unido, con una exposición

de las características generales del país en relación con la población, el clima, la organización de la red, los tipos de contratos en la gestión de las carreteras, los fundentes utilizados, el control operacional de los trabajos realizados, y las acciones futuras a llevar a cabo: aplicación de MDSS, monitorización de rutas para la mejora de predicciones meteorológicas, monitorización de las condiciones de la calzada, empleo de salmueras, y el desarrollo de un nuevo código de buenas prácticas que se presentará en el Congreso de Vialidad Invernal de Gdansk. En definitiva se trata de un país densamente poblado, con un clima templado, que basa su estrategia en el mantenimiento invernal en los tratamientos preventivos, poco propenso a introducir cambios en sus tácticas y estrategias y con un servicio de mantenimiento invernal fuertemente externalizado

4.4. Gestión de la Vialidad Invernal en la Red de Carreteras de Canadá (Ponentes: Vicente Ariño Peñalver y Greg Ehman. Acciona Mantenimiento de Infraestructuras).

En esta ponencia, se explicó la organización de la Vialidad Invernal en la Red de carreteras de Canadá, fundamentalmente en las tres jurisdicciones más importantes: Columbia Británica, Alberta, y Ontario. Se explicaron los distintos modelos de gestión, las distintas clasificaciones de las carreteras de la red (niveles de servicio y nuevas tendencias), los fundentes y aditivos empleados en el mantenimiento invernal, las innovaciones en maquinaria con equipos de alto rendimiento (quitanieves remolcados - *Tow Plows*), el impacto de los medios sociales de comunicación, los sistemas MDSS, y de gestión de la calidad en el mantenimiento invernal.

4.5. Gestión de la V.I. en la Red de Carreteras de Autopistas de Francia (Ponentes: Sara Rodríguez Martínez y Vincent Fanguet. Sanef/Sapn ABERTIS).



Exposición Técnica de empresas relacionadas con el sector, en el interior del Palacio de Festivales de Cantabria



En el exterior de la sede de las Jornadas se expuso maquinaria y equipos auxiliares relacionados con la vialidad invernal

En esta ponencia se realizó una descripción general de la organización de la concesionaria Sanef/Sapn, responsable del contrato de concesión de las autopistas de la zona norte de Francia, haciendo un repaso por un lado a los medios destinados al mantenimiento invernal y a los acontecimientos ocurridos en marzo de 2013 así como a las lecciones aprendidas, que se concretan en mejorar el la capacidad para entender lo que está ocurriendo, mejorar las comunicaciones entre usuario-concesionario, concesionario-autoridades, mejorar la atención a los vehículos

atrapados, y considerar la posibilidad del empleo de nuevas tecnologías; drones.

Sesión 5

Presidida por José Luis Gochicoa González. Director General de Obras Públicas del Gobierno de Cantabria.

5.1. Líneas de actuación del Comité Internacional de Vialidad Invernal de la Asociación Mundial de la Carretera. (Ponente: Didier Giloppé. Presidente Comité Técnico B2 WS, Asociación Mundial de la Carretera).

Con esta ponencia se realizó una descripción de la organización de la Asociación Mundial de la Carretera, y de las actividades que desarrolla el comité de Vialidad Invernal; seminarios, congresos, publicaciones, grupos de trabajo, etc.

5.2. Aplicación de sistemas MDSS en Vialidad Invernal en Irlanda (Ponente: Stephen Smyth. *Network Management Transport Infrastructure Ireland*).

Se planteó en esta presentación un resumen sobre la experiencia, de la autoridad de Carreteras en Irlanda, en el uso de los sistemas de ayuda a la toma de decisiones en Vialidad Invernal, con la exposición de una serie de datos generales de la organización y de las carreteras de la red, datos climáticos, características de la aplicación, medios disponibles. En definitiva la aplicación de estos sistemas pretende dar respuesta a la pregunta recurrente en vialidad invernal "tratar o no tratar y cuándo".

5.3. Gestión de la Vialidad Invernal en el marco de los Contratos de Conservación Integral en la Red del Estado (Ponente: Jaime López-Cuervo Abad. Subdirector Adjunto de Conservación. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento).

En su presentación Jaime López-Cuervo hizo un repaso de la organización de la Vialidad Invernal en las carreteras de la Red del Estado, atendiendo a las condiciones y prescripciones recogidas tanto en los contratos de servicios de Conservación Integral de la Dirección General de Carreteras (hablándonos sobre la normativa general relativa a la vialidad invernal, las actividades del Grupo I, las operaciones del Grupo III, la gestión del personal, la gestión de la maquinaria, su dimensionamiento y la confección de los presupuestos, el abono de los trabajos y las penalidades contempladas en los contratos) como en los contratos de Concesión de Autovías.



Luis Azcue, ponente general de las Jornadas, fue el encargado de exponer las conclusiones de las Jornadas

CONCURSO DE CONDUCCIÓN DE EQUIPOS QUITANIEVES

Coordinadores: M^a Angeles Bar-surto Álvarez (Valoriza) y José Luis Fraga Angulo (OHL Elsan).

En la tarde de la segunda jornada se celebró el primer Campeonato Nacional de Conductores de equipos quitanieves, en el que participaron conductores del Ministerio de Fomento y de distintas empresas de conservación: Javier Calvo Fresneda (Dragados-Imesapi), Cecilio de Bustos Díaz (Matinsa), Roberto Díaz Fernández (Ministerio de Fomento), José Gabriel Fuente Gómez (Valoriza), Gustavo García Vitoria (Innovia-Coptalia), Francisco Noriega Fernández (Alvac-Puentes) y Sergio Nuñez Canillas (Elsan), proclamándose vencedor el representante de Elsan, seguido del representante de Valoriza y en tercer lugar el representante de Matinsa.

TERCER DÍA AVANCES TECNOLÓGICOS APLICADOS A LA VIALIDAD INVERNAL

Sesión 6

Presidida por Ángel Sánchez Vicente. Jefe de Área de Conservación de la Subdirección General de Conservación del Ministerio de Fomento.

6.1. Comportamiento de las mezclas asfálticas en condiciones invernales (Ponente: Andrés Costa Hernández. Experto en firmes).

En esta ponencia se analizó el funcionamiento de las mezclas bituminosas ante los fenómenos meteorológicos invernales, nieve y hielo, apuntando el tipo de mezclas más adecuadas en zonas de alta vialidad invernal, y otras líneas de investigación en lo que se refiere a nuevos productos y técnicas de pavimentación.

6.2. Afección de los fundentes en los elementos de las estructuras (Ponente: Álvaro Navareño Rojo. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento).

La presentación hizo un análisis de los distintos deterioros que se producen en las estructuras de hormigón como consecuencia del empleo de fundentes, los efectos de los cloruros en los ciclos hielo-deshielo, el fenómeno de la corrosión en elementos metálicos (tableros, tubos de acero corrugado, sistemas de contención) así como las posibles soluciones a aplicar en tableros metálicos y sistemas de contención. La presentación incluyó un estudio sobre costes de rehabilitación.

6.3. Consideraciones en el equipamiento de túneles en zonas de alta Vialidad Invernal. Experiencia



Acto de clausura, de izquierda a derecha, Federico Soria Martínez, Carmen Sánchez Sanz, Miguel Ángel Revilla, José María Mazón Ramos y Luis Alberto Solís Villa

en la A-67 (Ponente: Luis Ayres Janeiro. API MOVILIDAD).

En su ponencia se repasaron las experiencias en la utilización de fundentes químicos sobre los sistemas instalados en túneles de la A-67. Se propusieron una serie de actuaciones para evitar el fenómeno de la corrosión y puso de manifiesto la ausencia de previsión de protección contra la corrosión en la Fase de Proyecto, así como la necesidad de llevar a cabo campañas intensas de inspección y limpieza al finalizar las campañas de vialidad invernal.

6.4. Servicio de Ayuda a la Vialidad Invernal SADVI. Experiencia de autopistas AP-6. (Ponente: Gonzalo Grande Tomé. Responsable Centro Operaciones San Rafael. ABERTIS).

En esta presentación se explicó detalladamente el proyecto piloto en la aplicación de un sistema de ayuda a la toma de decisiones en vialidad invernal en la autopista AP-6. Como lecciones aprendidas se pueden poner de manifiesto las siguientes: necesidad de profundizar en el desarrollo del sistema y de estandarizar las herramientas de toma de datos.

6.5. Predicciones Meteorológicas aplicadas a la carretera (Ponentes: Jesús Gordaliza. Jefe de unidad de Predicción de Castilla y León, AEMET. y Ignacio Villarino, AEMET).

En esta ponencia los representantes de AEMET dieron un repaso a los productos ofrecidos por la Agencia en relación con las predicciones meteorológicas asociadas a la vialidad invernal. Apuntaron también las actuaciones de mejora que se están llevando a cabo (modelo Harmonie).

Sesión 7

Presidida por Pablo Pérez de Villar Cruz. Subdirector Adjunto Autovías de Primera Generación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

7.1. Estudio sobre la permanencia de la acción de los fundentes en calzada (Ponente: Miguel Roucher Iglesias. ALVAC).

En su exposición hizo una presentación sobre la experiencia llevada a cabo por Alvac en relación con la duración de la acción de los fundentes sobre la calzada. Esta experiencia se viene desarrollando desde hace varios años en la autovía A-2 en la provincia de Lérida, y ha permitido asegurar un correcto tratamiento de las calzadas en lo que se refiere a al extendido y contrastar la mejora que supone el empleo de salmueras tanto en lo que se refiere a la permanencia del fun-

dente sobre la calzada como a la homogeneidad del producto extendido.

7.2. Últimas tecnologías aplicadas a la Vialidad Invernal (Ponente: Félix Blanco Ruiz. MATINSA).

En esta última ponencia se hizo un repaso de las últimas tecnologías aplicadas a la vialidad invernal en Carreteras (Geotermia, Energía Solar, Sistemas y dispositivos que detectan la formación de hielo, y Mapas térmicos), en Camiones quitanieves (Sistema autoguiado, Cámaras móviles con GPS, Esparcidores de fundentes, Sistema automático de dosificación de fundente), en hojas y cuchillas quitanieves, en Paneles de mensaje variable, y Técnicas de gestión del tráfico: convoy.

ACTO DE CLAUSURA presidido por Miguel Ángel Revilla presidente de la Comunidad de Cantabria, Carmen Sánchez Sanz, Subdirectora General de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, José María Mazón Ramos, Consejero de Obras Públicas y Vivienda de la Comunidad Autónoma de Cantabria, Luis Alberto Solís Villa, Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras y Federico Soria Martínez, Presidente de la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación.

Como **conclusiones** de estas jornadas podemos decir en primer lugar que han servido para recuperar y dar continuidad a una larga tradición en la celebración de jornadas de vialidad invernal que vienen celebrándose desde el año 1982, que no se celebraban desde el 2008, además de poner de manifiesto el alto nivel que en este país, tanto desde el punto de vista de la Administración General del Estado como del resto de Administraciones Regionales y locales, así como de las empresas del sector, han alcanzado los trabajos para el mantenimiento de la vialidad invernal en consonancia con los países de nuestro entorno. ❖

Las normas UNE-ISO 55000 y las carreteras

UNE-ISO 55000 Standards and Roads

Comité Técnico de Conservación y Gestión
Grupo de trabajo: Patrimonio

Resumen

La aparición de las ISO 55000 y su posible aplicación, en realidad no supone una revolución sino más bien una sistematización de una serie de conceptos que ya se habían desarrollado en el campo de las infraestructuras de carreteras. Sin embargo son muy pocas las administraciones de carreteras que hayan aplicado realmente esos principios de la gestión del patrimonio. Del análisis del conjunto de las ISO 55000 se deduce que se trata de una guía que puede ser de gran utilidad para facilitar la gestión. Se presentan los principios generales de la gestión en la ISO 55000 y después las ISO 55001 y 55002 desarrollan los requisitos que deben cumplir los sistemas. En realidad los sistemas deben ser la materialización de los principios. Se reseñan también el desarrollo en distintas administraciones de la gestión del patrimonio. Por último se hacen una serie de recomendaciones para la aplicación a la redes de carreteras como pudieran ser las españolas.

Abstract

The appearance of ISO 55000 and its possible implementation is not really a revolution but rather a systematization of a number of concepts that had already been developed in the field of road infrastructure. However, very few road administrations have actually applied these principles of asset management. From the analysis of the set of ISO 55000, it follows that this is a guide that can be very useful to facilitate management. The general principles of management are presented in ISO 55000 and later ISO 55001 and 55002 develop the requirements that the systems must fulfill. In reality systems must be the materialization of principles. It is also outlined the development in different administrations of the asset management. Finally, a series of recommendations are made for the application to road networks such as the Spanish ones.

Introducción

Hace algo más de dos años que se publicó la ISO 55000, que se había venido gestando desde hacía un tiempo. Las BS (British Standard) ya habían publicado con anterioridad la PAS 55 en las que se inspira la ISO.

La ISO 55000 trata sobre la «gestión del patrimonio» como traducción de «*asset management*». Parece que hay otra posible traducción que sería la de «gestión de activos». Aunque ambas son equivalentes, la palabra patrimonio tiene ciertas connotaciones que se pueden asociar con entidades tan duraderas como son las carreteras, y que además se pueden transmitir de unas generaciones a otras.

En realidad la acuñación del término proviene del mundo financiero, pero se ha trasladado al mundo de las realidades físicas más propias de la actividad de los ingenieros. La industria del automóvil, del transporte marítimo y ferroviario, y hasta los propios bancos han desarrollado distintas formas para gestionar su patrimonio físico. La aplicación al mundo de las infraestructuras del término Gestión del Patrimonio se inicia a mediados de los 80 en Nueva Zelanda, Australia, Estados Unidos y el Reino Unido, pero no es hasta avanzados los 90 que se extiende la utilización de esos principios.

Hacia muchos años que en el mundo de la carretera se había empezado la gestión más o menos sistematizada del patrimonio utilizando diversas herramientas de ayuda a la toma de decisiones para el mantenimiento y mejora de las redes. Se empezó con el desarrollo de los llamados sistemas de gestión particulares. Habría que destacar el de firmes, fundamentalmente porque representan una parte muy considerable del patrimonio viario de una red, y porque es una de las partes que exige más fondos para su conservación, debido al proceso de deterioro que sufren provocado por las cargas de los vehículos y otros factores. Para los puentes se siguió el ejemplo de los firmes y también se desarrollaron los correspondientes sistemas de gestión.

Poco a poco fueron ampliándose las miras y objetivos de estos sistemas específicos y se empezó a considerar su integración en una concepción más amplia. Pero la palabra sistema parecía constreñir lo que se pretendía y se optó por tomar solamente la «gestión del patrimonio», desechando a la denominación «sistema de gestión del patrimonio». Se pretendía así reservar el término de gestión del patrimonio para una convención más conceptual en la que se incluyeran una serie de principios que debían regir a los procesos de toma de decisiones y a las repercusiones que tendrían.

Los sistemas serían herramientas que ayudaría en unos procesos de cierta amplitud. Verdaderamente se pretendía así, hacer ver que por encima de los sistemas deben estar unos principios conceptuales. No se trata de una idea des-



cabellada si se tiene en cuenta una cierta tendencia que hay de dar a los sistemas, y especialmente si se esconden dentro de una «caja negra», una autoridad para predecir y decidir desorbitada. Los usuarios de esos sistemas, en ocasiones, se entregan a los resultados como si se tratara de auténticos oráculos indiscutibles. De ahí el acierto que supone establecer un escalón superior en el que se encuentran unos principios y visiones, que deben ser el sustento de los sistemas, pero no al revés. Evidentemente, esos principios también deben estar sometidos al continuo escrutinio para poder ser mejorados y para que la actividad se adapte mejor a los fines que se persiguen.

El camino que se ha descrito ha sido liderado por algunas administraciones de carreteras y de organizaciones de distinto tipo. Habría que mencionar a la AASHTO, FHWA, AUSTRROAD, TRB, HWA, pero también la AIPCR que en el comité de gestión hace unos cuantos períodos que se viene encargando de avanzar en la gestión del patrimonio.

Merece especial mención los trabajos realizados por el TRB en el que bajo las siglas NCHRP 20-24(11) de noviembre de 2002 recogía un proyecto ambicioso para una guía sobre gestión del patrimonio para las Agencias de Carreteras de Estados Unidos. (*Cambridge Systematics 2002*)

Perspectiva

Ya en su momento se adoptaron en la literatura y por parte de algunas administraciones de carreteras muchos de los conceptos que ahora se incorporan en la ISO 55000 y que pudieron resultar un poco desconcertantes por el significado que se les daba a algunas expresiones.

En ese sentido este tipo de normas suele chocar con la mentalidad de muchos de los técnicos e ingenieros. La falta de concreción y la invocación a principios generales

no suelen ser del gusto de muchos que prefieren manuales con especificaciones claras y detalladas. Curiosamente es el mundo anglosajón, al que se considera que asume unos postulados de carácter muy práctico, el que produce un material que aparentemente posee un alto contenido teórico y poco concreto. Podría pensarse que el mundo ha cambiado sus paradigmas, y que los anglosajones han abandonado el empirismo por la vaguedad de la teoría y los latinos hemos abrazado el mundo de la practicidad.

Tal vez las cosas no sean exactamente así. En realidad en el mundo anglosajón nunca se ha abandonado el empirismo, entendiéndolo como tal el método de explicación que se basa en la experiencia y observación. Tampoco es cierto que en otras latitudes no se haya adoptado cierto grado de empirismo. Pero ciertamente, los postulados basados en principios de autoridad o en deducciones teóricas tienen un excesivo predicamento en nuestro acervo técnico. Tal vez una buena aproximación a la realidad fuera asumir una mezcla de racionalismo y de empirismo que, en una adecuada proporción, pueden ser de gran utilidad. No obstante, hay que reconocer que la recopilación y análisis de cantidades ingentes de datos es más propia del mundo genuinamente empírico que del racionalista, como ocurre con el «data-mining».

Tal vez los procesos de aprendizaje sean un tanto complejos y el paso del detalle a lo general o visión de conjunto sea un tanto complicado. Cuando se aborda por primera vez una tarea se suele dedicar mucho tiempo a los detalles de funcionamiento, entre otras razones, porque no suelen funcionar a la primera o porque no se prevé una interacción con otras partes del proceso general lo que exigirán adaptaciones posteriores. Cuando se tiene una experiencia considerable en bregar con esas dificultades es cuando se está en disposición de hacer recomendaciones a otros de carácter general. La dificultad es que los que son nuevos en esa disciplina no se suelen sentir cómodos con esas recomendaciones generales y su natural impaciencia les lleva a desarrollar elementos concretos haciendo caso omiso de esas recomendaciones tan generales. Probablemente cuando empiecen a surgir las dificultades es cuando se hace necesario recapacitar y dar su justo valor a esas recomendaciones tan amplias y aparentemente vagas.

Las ISO 55000

Puede darse así la bienvenida a esa forma en que se presenta esta norma que se divide a su vez en otras dos. Así la ISO 55000 se dedica a los principios y a la visión de conjunto de la gestión del patrimonio; la ISO 55001 aborda los requisitos para los sistemas de gestión del patrimonio, y la ISO 55002 a las recomendaciones para la aplicación de la 50001. Puede parecer un galimatías, pero como se ha mencionado anteriormente, el sistema de gestión del patrimonio está servicio de la gestión del patrimonio. Yen-



do de lo más general a lo particular por encima de todo estaría la Gestión de la Organización, siendo la Gestión del Patrimonio la actividad coordinada de la organización para valorar sus activos. Por debajo estaría el Sistema de Gestión del Patrimonio que comprende una serie de herramientas que facilitan la Gestión del Patrimonio. Es decir, la Gestión del Patrimonio abarca una serie de principios y objetivos que se consiguen por medio de herramientas como sería el Sistema de Gestión del Patrimonio.

En definitiva se distingue la actividad general de lo que son las herramientas. Por tanto, en una se incluyen una serie de principios que conforman un edificio de carácter intelectual que utilizan la otra que son los sistemas para conseguir sus fines.

Esas distinciones que parece que poseen un componente muy abstracto o sutil, son verdaderamente útiles. Los sistemas deben ser herramientas al servicio de unos fines como son la gestión de los activos, pero que no deben confundirse con ella. Es algo que ocurre con frecuencia que se sitúan a los sistemas por encima de los objetivos a los que sirven cuando son solo un instrumento. Muchos tendrán la experiencia de sistemas que esclavizan a los que los usan de tal forma que parecen rígidos inamovibles y caprichosos. (..hay que hacerlo así porque lo exige el sistema...).

También ocurre que a instrumentos como los programas de ordenador se les da un valor de infalibilidad excesiva, cuando en realidad son creaciones humanas sujetas a todo tipo de imperfecciones, y que además, se encuentran por debajo de la propia concepción del sistema que debería ser el ámbito al que se circunscribe el programa. Desde un punto de vista de amplitud jerárquica estaría en el nivel más alto la Gestión del Patrimonio que se encontraría al servicio de la organización. En el siguiente escalón estaría el Sistema, y por debajo los programas de ordenador y otros elementos.

En el texto se reconoce que no todas las acciones de la gestión del patrimonio estarían cubiertas por los sistemas. Así, aspectos que pueden tener un influencia determinante en la consecución de los objetivos como la «cultura», el liderazgo, la motivación o la costumbre, no se pueden formalizar dentro de un sistema de gestión.

Conviene señalar que en todas las normas se indica que están concebidas para la gestión de activos físicos, pero que se pueden utilizar para otro tipo de activos.

También se indica que no entra dentro de los objetivos de estas normas las funciones económicas, contables o técnicas, aunque evidentemente en la gestión de activos deben incluirse todos esos aspectos.

Las definiciones

Aunque como se ha visto el campo de las clasificaciones es siempre un tanto borroso, pues los límites no son siempre muy claros y a veces se comparten características entre dos objetos que se pretenden definir. Tal vez sea un afán académico de introducir en cajones estancos objetos que en realidad no caben en ellos, pues se desparraman hacia otros. Sin embargo, este tipo de clasificaciones y definiciones presentan la virtualidad de ayudar en la reflexión y discernimiento sobre la organización de actividades. Ni los límites son claros ni comprenden absolutamente todo lo que podrían contener, pero de nuevo suponen una ayuda en la persecución de un logro final como es el de conseguir que las organizaciones y Administraciones consigan sus objetivos.

En ese sentido se quiere advertir al lector el papel que desempeña la palabra Sistema, y cómo cambian las definiciones cuando acompaña o no a la Gestión del Patrimonio.

La Gestión del Patrimonio

La Gestión, según la ISO 55000 abarca el balance de los costes, las oportunidades y riesgos de conseguir los objetivos en diferentes escenarios temporales. Permite que la organización o Administración examine las necesidades, el comportamiento deseado de los activos o elementos en varios niveles. Todo esto en el marco del ciclo de vida que abarca desde el nacimiento hasta el final de la vida de un elemento e incluso su valor o potencial residual.

Se entiende que debe estar fundamentado en las siguientes peculiaridades:

- Valor
- Adecuación
- Liderazgo
- Aseguramiento

El valor se refiere a la aceptación de que el activo no tiene utilidad en sí mismo, sino que depende del servicio que preste. Ese valor puede ser tangible, intangible, monetario o no. Ese aspecto es fundamental, pues ocurre con mucha

frecuencia que la atención se fija más en aspectos meramente materiales de los activos y se olvida la función que cumplen. En el caso de una red de carreteras se da el caso de gestores que se encuentran muy involucrados en la acción cotidiana que pierden la noción de los fines para los que están concebidos los elementos de las carreteras. En ese sentido habría también que considerar a los activos no solo en función de su valor de reposición, sino sobre todo en función del valor que representan para los usuarios. Así cualquier indicador que se usara para la gestión debería ir condicionado por la afección a los usuarios, tanto en términos de intensidad como de cantidad. La propia ISO propugna una declaración de esos valores y que la gestión esté enfocada en ellos a lo largo de la vida del elemento, considerándolos como elementos esenciales en la toma de decisiones.

La adecuación o alineación se refiere a la materialización de los objetivos de la organización en planes, toma de decisiones y otras actividades. Se propugna la gestión basada en los procesos de toma de decisiones en la planificación y en la asunción de los riesgos que conllevan esas actividades. Para ello es necesaria la integración de otras funciones de gestión como los recursos humanos, la gestión económica u otros. Esa función es la que debe inspirar al desarrollo y mantenimiento del Sistema de Gestión.

Por liderazgo entiende la capacidad de involucrar a todos los estamentos de la organización para conseguir los objetivos. Se indica que es necesaria la definición de funciones, la capacitación y compromiso de todos los miembros y por último la consulta dentro y fuera de la organización

Se considera que el Aseguramiento garantiza que se cumplan los objetivos. Se trata de establecer procesos que controlen que se están cumpliendo los objetivos y que de forma permanente se establezcan procesos de evaluación que den lugar a una mejora continua de la gestión.

Sistemas de Gestión del Patrimonio

Se trata de un conjunto de herramientas que incluyen los sistemas de gestión de la información, procesos, planes y políticas que permiten que se consigan los objetivos de Gestión del Patrimonio.

La gestión puede abarcar a varios elementos e implicar a distintos departamentos de una organización y su implantación supone una decisión de tipo estratégico. La ISO 55001 especifica los requisitos de estos sistemas de forma más específica.

Se propugna una implantación temprana, pues se puede ir completando y mejorando con el tiempo a la vez que se van obteniendo los beneficios de la racionalización de la gestión.

El propio sistema actúa como fuente y acicate para introducir mejoras en la gestión. También mejora los flujos



de comunicación dentro de la organización favoreciendo la integración y la adopción de medidas que garanticen la sostenibilidad ambiental y energética.

Desde el punto de vista económico son evidentes las mejoras que se producen cuando se integran los aspectos técnicos y económicos ayudados por una gestión de los riesgos que inherentes a los procesos de toma de decisiones.

La integración de distintas bases de datos que contengan información, la mejora en la formación y motivación del personal, la comunicación interior y exterior son algunos de los beneficios de estos sistemas.

En el texto se señalan siete fundamentos sobre los que se debe apoyar el Sistema de Gestión

- Contexto de la organización
- Liderazgo
- Planificación
- Apoyo
- Operación
- Evaluación
- Mejora

En el contexto se incluyen todos los condicionantes desde físicos, políticos, económicos hasta los internos relacionados con la propia «cultura» de la organización. Las demandas de los actores, usuarios, asociaciones u otros deben tenerse muy en cuenta.

El liderazgo atañe a los máximos responsables ya a todos los relacionados con la implantación del sistema que deben establecer unos adecuados cauces de información, así como de la adecuada dotación para conseguir los fines.

En cuanto a la planificación se propugna el desarrollo de un Plan Estratégico de la Gestión del Patrimonio que se debería conectar con otras actividades de la organización.

Se necesitan apoyos de muchas partes de la organización, pues suelen ser muchos los departamentos o unida-

des que se relacionan con los bienes patrimoniales de una organización.

La operación del sistema se apoya en el diseño de mecanismos y procesos que permiten que el sistema cumpla sus objetivos. Se advierte de que la contratación externa de esta actividad supone la adición de cierta complejidad para su control.

En cuanto a la evaluación del propio sistema, se reconoce que se trata de una tarea compleja. Se trataría de valorar si han se han cumplido o no los objetivos que se pretenden con la utilización de los Sistemas de Gestión.

La mejora continua es un fin que debe integrarse en todas las actividades de una organización y por tanto a la Gestión del Patrimonio como a los Sistemas de Gestión. La respuesta a las solicitudes y la evaluación continuada son fuentes privilegiadas de mejoras.

Integración

Se propugna la constitución de los sistemas a partir de otros sistemas existentes, si los hay. Se cita como ejemplos los sistemas de calidad, de seguridad y salud, de gestión ambiental u otros. Utilizando los sistemas existentes se producen ahorros, se acortan tiempos y se mejora la aceptación interna.

Las ISO 55001 e ISO 55002

En ellas se detallan y desarrollan los principios mencionados en la ISO 55000 relacionados con los Sistemas de Gestión del Patrimonio. Un vez más se recuerda que tanto la 55001 como la 55002 se refieren a los Sistemas en el sentido de que los Sistemas de Gestión del patrimonio están al servicio de la Gestión del Patrimonio.

La ISO 55001 aborda los requisitos que deben cumplir los Sistemas de Gestión y la ISO 55002 es una guía en donde se muestran las directrices para aplicar la ISO 55001.

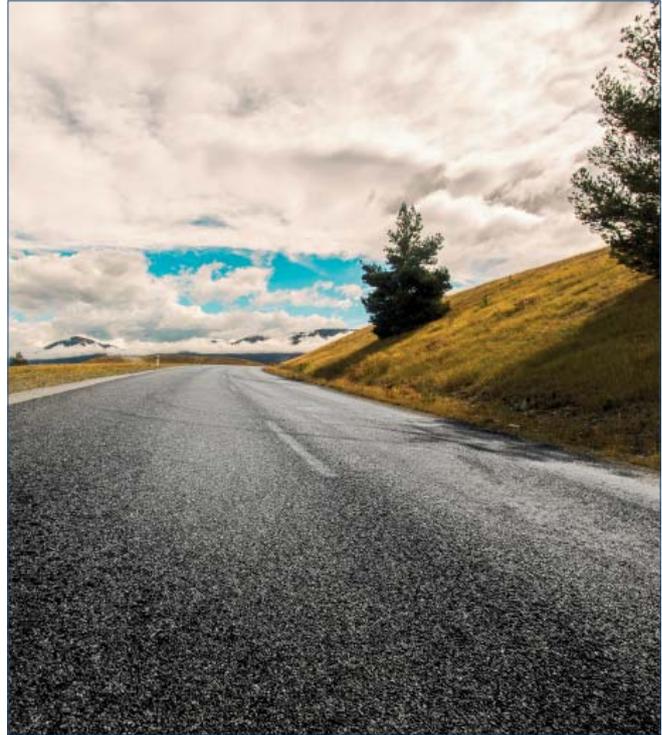
Aplicación a las redes de carreteras.

A finales de los 60 (1967) se iniciaron los Sistemas de Gestión de Firms y algo más tarde a finales de los 80 (1987) los Sistemas de Gestión de Puentes. Se trataba de gestionar los activos, o elementos del patrimonio viario que requerían de una mayor atención, pues cada cierto tiempo era necesario actuar sobre ellos. En realidad dentro del valor patrimonial de una red podían no ser los elementos de mayor coste, pero sí los que presentaban una vida más corta y que, especialmente en el caso de los firms, y algunas partes de los puentes, se podían modelizar con una cierta aproximación lo que venía ocurriendo en la realidad. En España es a finales de los 80 y principios de los 90 en que alguna concesionaria y después el Estado y varias Comunidades Autónomas inician la implantación de los Sistemas de Gestión de Firms.

En realidad esos sistemas son el cimiento donde se apoya la gestión racional y sistemática de los fondos dedicados a conservación. Se trata de los elementos que demandan más fondos y que además lo hacen con una cierta periodicidad. Los puentes por su parte suponen una preocupación para muchas administraciones, y aunque su valor patrimonial sea considerablemente menor su conservación reviste un aspecto ciertamente crítico.

Es difícil determinar cuando surgió el concepto de Gestión del Patrimonio aplicado a las carreteras. Parece que fue en Nueva Zelanda y a raíz de un informe del Auditor General en 1993 manifestando las deficiencias contables en la de gestión de las infraestructuras, que se forzó a que en 1996 se dictara una ley obligando a desarrollar planes de Gestión del patrimonio para un horizonte de 10 años. Previamente, en 1995, se había constituido el National Asset Management Steering (NAMS). A raíz de ahí varias administraciones de carreteras, del ámbito anglosajón, inician una reflexión sobre el significado y alcance del término. En un primer momento no se distinguió entre la Gestión y el Sistema, y después se tomó una línea muy similar a la de las normas ISO. En algunos de esos países la Gestión del Patrimonio de Carreteras se ha implantado con el apoyo de un cuerpo legislativo que conmina a las administraciones a sistematizar y a organizar la gestión, contabilizando el valor de los activos, su estado y las previsiones en un plazo determinado.

La Gestión del Patrimonio ampliaba la visión y el alcance de los sistemas de gestión particulares. Por una parte trataba de integrar todos los elementos de la red de carreteras de forma que las decisiones que se tomaran sobre distintos elementos particulares fuera además la más eficaz para todo el conjunto. Por otra parte se adoptaban una serie de principios inspirados en la gestión de cualquier empresa con



aportaciones como pudiera ser la orientación a los clientes. En realidad muchos de los principios de Gestión del Patrimonio se aplicaban, pero no de forma explícita dentro de un paquete organizado, estructurado y documentado.

Como se ha mencionado son muchas las organizaciones que han desarrollado documentos sobre el asunto como AASHTO, TRB, FHWA, OCDE, Austroads, Department of Transport UK. La Asociación Mundial de la Carretera desde el año 2000 se viene dedicando desde grupos de trabajo a comités técnicos dedicados a la Gestión del Patrimonio.

Hay varios aspectos en los que es necesario ampliar los métodos y sistemas. Entre ellos se cuenta la integración de los activos que se gestionan con sistemas particulares como los firms, los puentes o la conservación rutinaria. Otros activos también deberían incorporarse como las obras de tierra, los túneles y otras instalaciones. También es necesario emplear el análisis de gestión de riesgos, pues todos los elementos están sometidos a ciertos riesgos, pero alguno de ellos es prácticamente el único factor que puede determinar su vida. Es decir, para algunos elementos se pueden establecer modelos que de alguna forma se aproximen a la evolución que con el paso de las cargas o del tiempo vayan a sufrir. En otros casos es más difícil hacer esa previsión y solo la consideración de un riesgo potencial puede ocasionar su deterioro.

Redes de carreteras españolas

En lo que se refiere a las carreteras españolas convendría introducir una serie de indicadores y medidas que racionalicen y ayuden a una gestión más eficaz como serían:



- Nivel de servicio: Es necesario que se vaya explicando este concepto y que sea la base para una gestión de activos que de alguna forma comprometa a los gestores de más alto nivel delante de los ciudadanos; de esa forma podrían conocer con un cierto grado de certidumbre lo que pueden esperar. Ese grado de incertidumbre también debe comunicarse a los ciudadanos para que asuman que no existe el riesgo cero, y que si lo hubiera tendría un coste infinito. El nivel de servicio se mediría mediante una serie de indicadores que resumiéran una situación más compleja.
- Coste del ciclo de vida de una infraestructura. Es necesario conocer los costes que ocasionan las infraestructuras desde su concepción, construcción, mantenimiento hasta su final: Así se puede prever con antelación las actuaciones necesarias. Esos costes irán ligados muy estrechamente a las exigencias de calidad marcadas por los niveles de servicio. Se trata, por tanto, de una herramienta de ayuda para la planificación a medio y largo plazo.
- Valor Patrimonial: No se puede gestionar algo de lo que se ignora su valor. Sin esa referencia no se pueden tomar decisiones sobre si los fondos destinados al mantenimiento y rehabilitación son proporcionados al valor del elemento. Además, es imprescindible en la rendición de cuentas, pues la preservación de un patrimonio común tan valioso como son las carreteras justificaría la necesidad de dedicar unos determinados fondos para no perderlo y mantener el servicio que prestan a los ciudadanos.

- Consultas a los usuarios: Toda gestión debe estar orientada a los que van a disfrutar o sufrir las consecuencias de las decisiones que se tomen. Por tanto, las Administraciones deberían informar primero y consultar después con los ciudadanos, pues son los auténticos propietarios de los bienes y, además, son los que los usan y las pagan.

Resumen y conclusiones

La UNE-ISO 55000 y sus añadidos aunque de alguna forma marcan unos principios, requisitos y guías que ya se recogían en la literatura, supone un instrumento útil pues recoge elementos que podrían estar dispersos. Puede servir de base a los que emprendan la implantación de una Gestión del Patrimonio y de punto reflexión, comparación y confrontación a los que ya han empezado esa labor. De nuevo hay que considerar que se trata de principios con un cierto grado de abstracción que requieren un esfuerzo de asimilación para poder obtener todo los beneficios que pueden proporcionar. Como se indica en el inicio de cada uno de los textos, la norma no se dedica al desarrollo de herramientas técnicas, económicas, ni contables que, sin embargo, serán parte fundamental de los sistemas particulares, y será cada organización la que deba desarrollarlos. Lo que sí proporcionan esos textos son una ayuda para facilitar la coherencia y un primer peldaño en el proceso de mejora continua de la gestión de las organizaciones y en especial de su patrimonio que es el instrumento con el que, en el caso de las carreteras, se presta un servicio, que es el valor por excelencia de una red de carreteras.

Bibliografía

- New Zealand National Asset Management Support Group (NAMS). Quick Guide to Meeting ISO 55001 Requirements – 2014
Department for Transport. Highway Infrastructure Asset Management Guidance Document. Londres 2013
- NZ Transport Agency. State Highway Asset Management Plan 2012–2015. Wellington 2012
- Highways Agency. Asset Maintenance and Operational Requirements. Manchester 2011
- Cambridge Systematics. Transportation asset management guide. Preparado para el National Cooperative Highway Research Program Project, 2002.
- Gutiérrez-Bolívar O., Achútegui Viada F. Implementation of Pavement Management System in Spanish State Road Network. Third International Conference on Managing Pavements. TRB, NRC. San Antonio, Texas. Mayo 1994
- AENOR. UNE-ISO 55000:2015. Gestión de activos. Aspectos generales, principios y terminología. 2015
- ISO. ISO 55000:2014. Asset management -- Overview, principles and terminology. 2014

Fotografías: Diseñado por Pressfoto - Freepik.com



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)

Colapso del puente del Guadarrama en la M-527. Autopsia y enseñanzas



The Collapse of the Bridge Over the Guadarrama River in the M-527 Road. Autopsy and Teachings

Belén Peña

*Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Dirección General de Carreteras.
Comunidad de Madrid.
Jefe de Área de Conservación y
Explotación de Carreteras.*

Pedro Berrueto

*Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Dirección General de Carreteras.
Comunidad de Madrid.
Subdirector General de Construcción,
Conservación y Explotación*

Javier León

*Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
ETS de Ingenieros de Caminos, C. y P. UPM.*

Resumen

El 29 de mayo de 2015 se hundió el puente que proyectara el insigne ingeniero Alfredo Páez en 1957. Una sencilla estructura de vigas, de apenas 18 m de luz, pero singular en sus formas y en su proceso constructivo. Una estructura de gran valor patrimonial, aunque desconocido, por los valores técnicos que encerraba y que prestó servicio durante 57 años sin incidencia alguna. Su colapso fue noble, dúctil, advirtiendo de su final. En este artículo se presentan las conclusiones de la autopsia y algunas reflexiones acerca de las enseñanzas que cabe extraer para la gestión del patrimonio de puentes.

Abstract

On May 29th 2015 collapsed the bridge designed in 1957 by the eminent engineer Alfredo Páez. A rather simple deck, simply supported, made up of prestressed segmental beams 18 m span and a top slab, very original in forms and erection procedure. A structure of important, although not recognised, technical virtues that completed 57 years of service without symptoms or apparent problems. The collapse was noble, ductile, announcing its end. The main conclusions derived after the autopsy and some thoughts related to the management of the bridge heritage are presented.

1. Ámbito y propósito

El 29 de mayo de 2015 se hundió el puente que, en 1957, proyectara el insigne ingeniero Alfredo Páez. Una sencilla estructura de vigas, de apenas 18 m de luz, pero singular en sus formas y en su proceso constructivo. Una estructura de gran valor patrimonial por los valores técnicos que encerraba y que prestó servicio durante 57 años sin incidencia alguna. Su colapso fue noble, dúctil, advirtiendo de su final y con lecciones que los autores de este artículo quieren extraer para que aprendamos los ingenieros responsables del mantenimiento. En ese sentido, se presentan en este artículo los resultados más significativos de la autopsia realizada.

Conviene admitir que el aludido “valor patrimonial” [2] es un concepto difuso porque se entremezclan conceptos estéticos, utilitarios, científicos, históricos, paisajísticos, económicos, sociológicos, políticos y simbólicos. Afecta a aspectos tangibles, no siempre cuantificables, y a aspectos intangibles, casi nunca cuantificables. La referencia [3] contiene, a estos efectos, una propuesta de acercamiento a este concepto que concita los tres principios vitruvianos [4] de Belleza (*Venustas*), Firmeza (*Firmitas*) y la Utilidad (*Utilitas*) o función. Esta estructura parecía exhibir un sobrio equilibrio entre las tres virtudes, sin sobrepasar ninguna de ellas a las otras dos, pero no era del todo así. La *Firmitas* estaba muy comprometida por culpa de la corrosión de las armaduras de pretensado, a pesar de que no había síntomas realmente alarmantes.

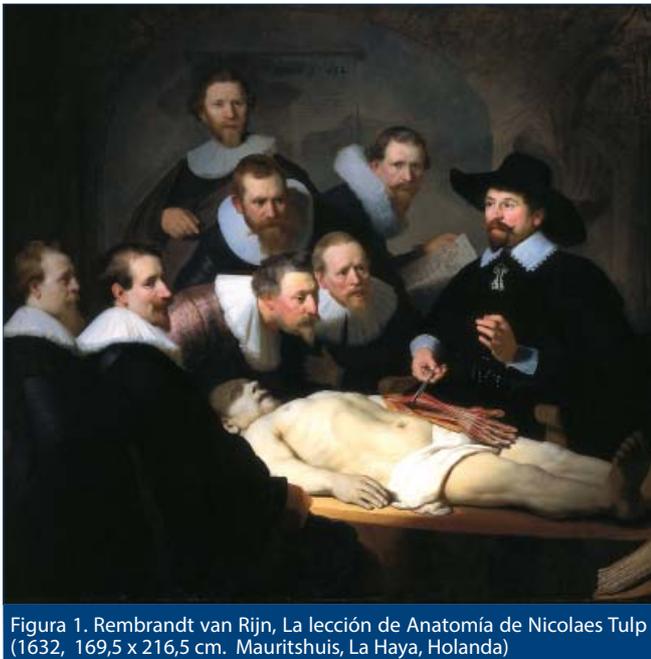


Figura 1. Rembrandt van Rijn, La lección de Anatomía de Nicolaes Tulp (1632, 169,5 x 216,5 cm. Mauritshuis, La Haya, Holanda)

¹ La autopsia (fig. 1) fue siempre fuente de enseñanzas en el ámbito de la Medicina y campo fuente para la analogía metafórica [1], de gran valor pedagógico.

² Fue el ingeniero de caminos D. Juan Jesús Álvarez quien alertó a los autores de este artículo de la singularidad de la obra y de la existencia de la ficha de este puente en la publicación [5].

2. Ubicación y descripción de la estructura

La estructura se hallaba en el PK 1+600 de la carretera M-527 (fig. 2 y 3) que administra la Comunidad de Madrid, entre la N-VI y el enlace con la carretera que une El Escorial y Guadarrama, a la entrada del Valle de los Caídos.

La estructura estaba inventariada con el código 0459 en el sistema de gestión de la Comunidad de Madrid, y había sido inspeccionada en 2007, con una calificación global aceptable, salvo deterioros que se juzgaron menores.

Tras el colapso se buscó toda la información disponible del puente, obteniéndose los datos siguientes². En primer lugar, la sucinta ficha del puente en la referencia [5], que sitúa a esta estructura entre las más antiguas de las obras de hormigón pretensado de España (fig. 4). En segundo lugar, los datos que pueden extraerse de la referencia [6], del CEHOPU, de extraordinario valor en este caso. En efecto, este trabajo de autopsia ha sido posible gracias al mérito de quienes archivaron esta información y la pusieron a disposición pública.

La estructura, según los planos del proyecto original [6], era como se muestra en la fig. 5: un tablero de 13 vigas de longitud total 18,30 m y luz libre entre intradós de estribos de 17,00 m, con rasante horizontal.

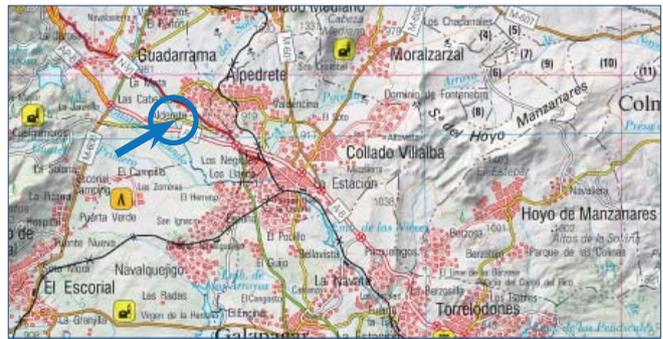


Figura 2. Ubicación de la estructura



Figura 3. Vista de la estructura en sentido creciente de los PK hacia el oeste (Google Earth) pocos meses antes del colapso

Autores del proyecto: Lamberto de los Santos y Alfredo Páez

Empresa del proyecto: A.M.S.A.

Sistema: Barredo

Fecha de la construcción: 1958

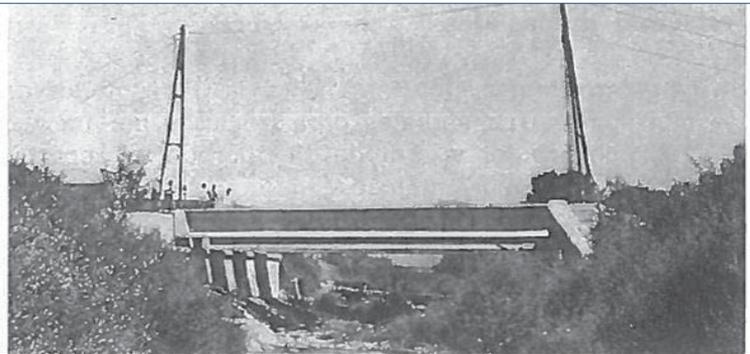


Figura 4. Extracto de la ficha del puente según [5]

Las vigas presentaban una sección transversal singular y tenían otra particularidad para la época: no había riostras, de forma que el reparto transversal quedaba confiado a la rigidez de la losa superior, pretensada transversalmente. La fig. 6 muestra el pretensado longitudinal y, con más detalle, la forma de la sección transversal, en la que las protuberancias que se advierten en la parte superior de las alas, de trasdós curvo presumiblemente para ahorrar peso y ganar en superficie adherente, eran cantos rodados de 6 cm insertados en la masa aún fresca del hormigón de las dovelas de las vigas prefabricadas, con el fin de mejorar la capacidad frente a esfuerzo rasante de conexión viga-losa. A dicha conexión contribuían igualmente barras (lisas, como el resto de las armaduras pasivas) Ø8 cada 0,24 m en sentido longitudinal de cada viga. Cada una de las 13 vigas, idénticas, estaba formada por dovelas de 1,20 m de longitud enlazadas longitu-

dinalmente entre sí por alambres de pretensado dispuestos con trazado rectilíneo dentro de cada dovela, pero con sus vértices, en los puntos de encuentro entre dovelas, dispuestos a lo largo de una parábola de segundo grado.

En la fig. 7 se muestra la configuración de los estribos, de hormigón en masa de carácter ciclópeo y unas impostas rotundas formadas por piezas de granito. Merece la pena destacar que el estribo 1 (el situado al este, hacia Villalba) actuaba de punto fijo y en él se apoyaban las vigas sobre unas láminas de plomo que no se han encontrado en el proceso de demolición, mientras que en el lado oeste (estribo 2) el tablero apoyaba sobre unos péndulos, que eran unos prismas octogonales apoyados sobre una lámina de plomo en el altar del estribo, que presentaba unos cajeados para albergar tales piezas, y otra lámina de plomo dispuesta en la parte alta, en la que apoyaban las vigas.

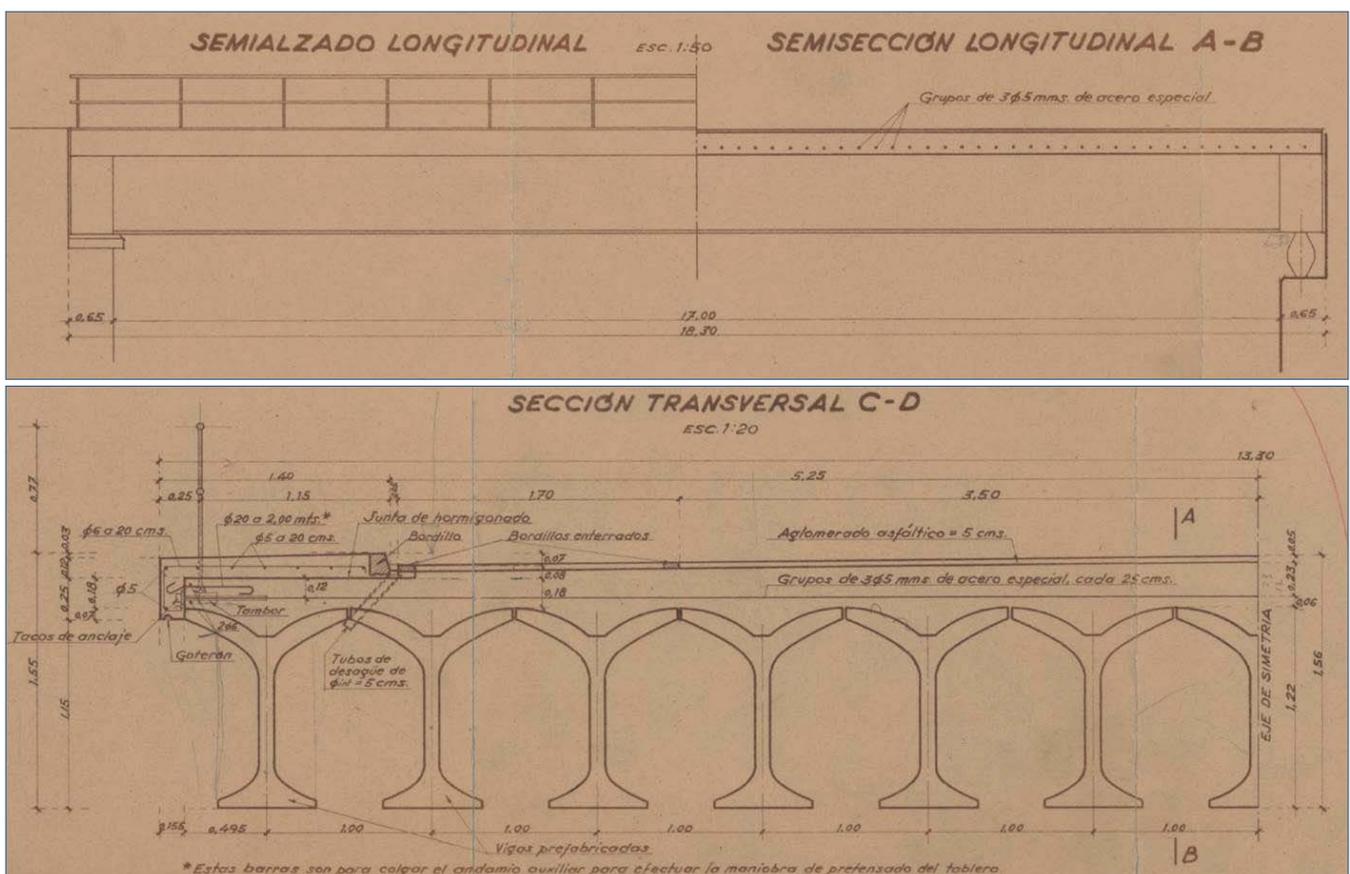


Figura 5. Alzado y sección transversal del puente [6]

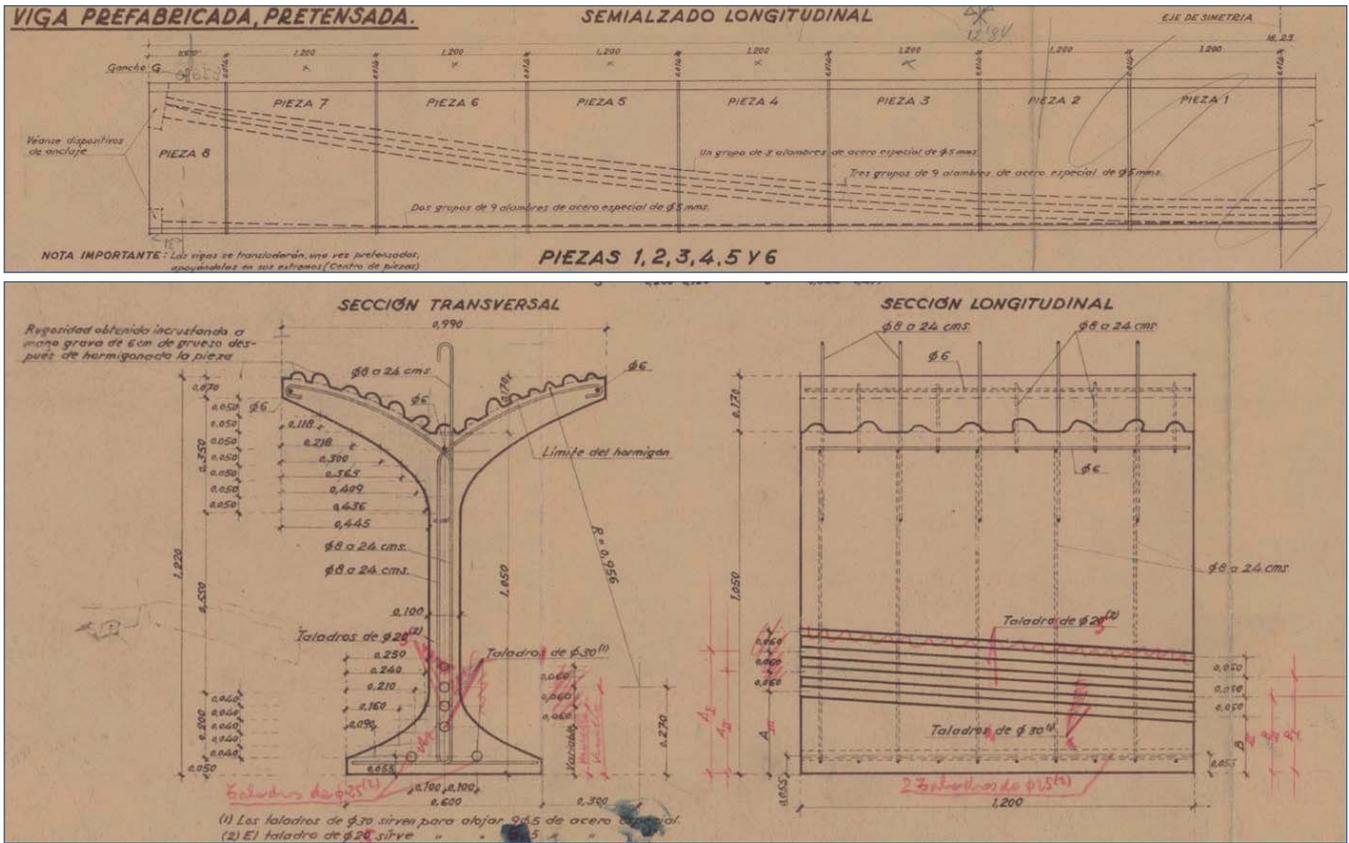


Figura 6. Configuración del pretensado longitudinal y detalle de la sección transversal de las vigas

La fig. 8 muestra una de las leyendas de los planos, la que hace referencia a las características de los materiales. Se utilizaba ya el concepto de resistencia característica, que se introdujo en la HA-57 del Instituto Técnico de la Cons-

trucción y del Cemento (precursora de las Instrucciones de hormigón estructural en España), a la que no eran ajenos, sino más bien protagonistas, los ingenieros Páez y Torroja. Cabe destacar también que los planos prescriben que, tras

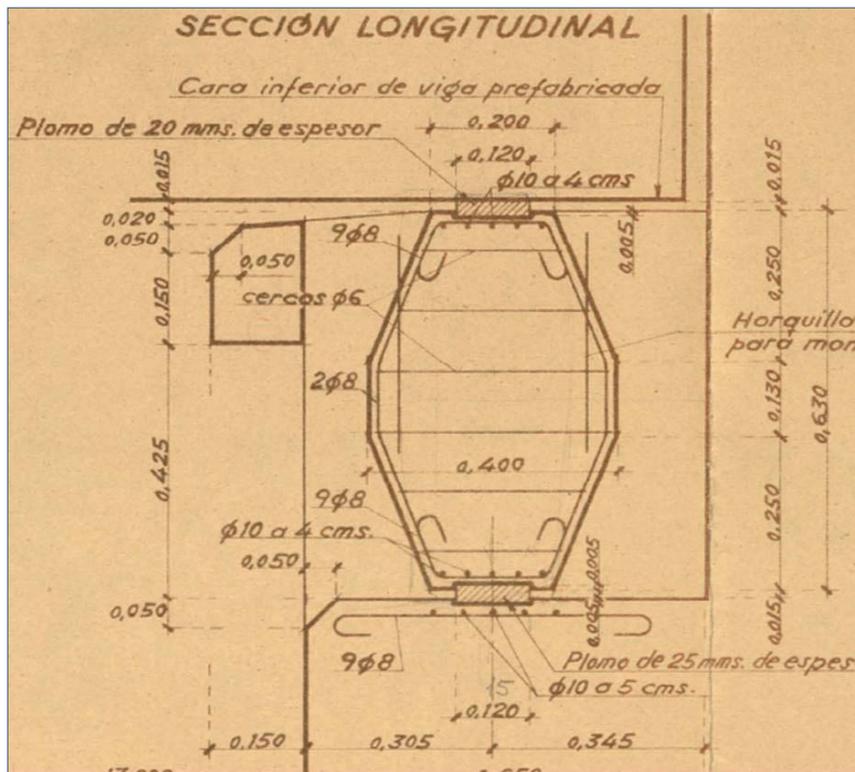


Figura 7. Configuración de los estribos

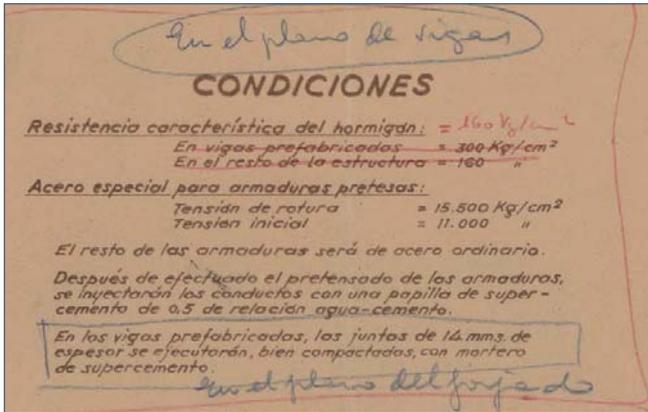


Figura 8. Notas de los planos originales relativas a los materiales y la inyección

el tesado, se inyectarán los conductos con una papilla de supercemento de 0,5 de relación agua-cemento. Sin embargo, no se ha encontrado en los planos definición alguna de los procedimientos de inyección, ni de sus dispositivos, particularmente en la armadura longitudinal, pues la transversal iba alojada en unas ranuras que, tras el tesado, se rellenaron con la aludida papilla mediante simple vertido.



Figura 9. Corte de la calzada en la tarde del 28 de mayo de 2015 tras detectar un conductor un extraño en la plataforma. (Cortesía de Javier de Juanas de ACEINSA.)



Figura 10. Vista de la viga 1 (lado izquierdo) en la tarde del 28 de mayo de 2015. (Cortesía de Javier de Juanas de ACEINSA.)

3. Colapso de la estructura

En la tarde del jueves 28 de mayo, el conductor de una furgoneta detectó una irregularidad en el pavimento a la altura del puente (fig. 9), dando cuenta de ello a la Guardia Civil. Cortada la carretera por orden de los técnicos de la Comunidad de Madrid y con los medios de la empresa ACEINSA de conservación integral del tramo, se pudo comprobar el poco convencional modo de fallo que se observa en la fig. 10.

En la fig. 11³ se muestra el aspecto de la plataforma en la mañana del 29 de mayo, con un cierto progreso en la flecha con relación a la observada la víspera, progreso que también se observa al comparar la fig. 12 con la 10. En la fig. 13 se presenta el estado de las vigas, con dovelas separadas pero no en una única sección transversal del tablero, sino en sitios diversos, situación que, lógicamente, desconcierta al inspector de estructuras que no está acostumbrado a ver escenas de este tipo.

La fig. 14 muestra una de las juntas, ocultas bajo el pavimento, a cuyos lados se hicieron unas marcas para



Figura 11. Vista de la plataforma a las 12:02 del 29 de mayo de 2015



Figura 12. Vista de la viga 1 (lado izquierdo) a las 11:55, aprox., del 29 de mayo de 2015. Se aprecian las juntas entre dovelas

³ Las fotografías de las figs. 11 en adelante fueron tomadas por los autores los días 29 de mayo y siguientes.

tener una idea de la evolución de los corrimientos, que fueron progresando hasta el colapso. Con el fin de comprobar si cabía algún margen para que el tablero se aco-

dalara contra los muretes de los estribos, se accedió a su lateral (figs. 15 y 16) y se pudo observar que los altares estaban limpios y que, tras los extremos de las vi-



Figura 13. Vista de la cara inferior del tablero desde lado izquierdo hacia E-2. Vigas rotas en secciones diferentes



Figura 16. Giro del tablero en lado derecho de E-2. Apoyo sobre péndulo



Figura 14. Junta oculta bajo pavimento pero abierta. Al final de la mañana del 29 de mayo, crecía la abertura a razón de 1 cm/h



Figura 17. Tablero colapsado hacia a las 14:45 del 29 de mayo de 2015. Vista desde E-1



Figura 15. Giro del tablero en lado derecho de E-1

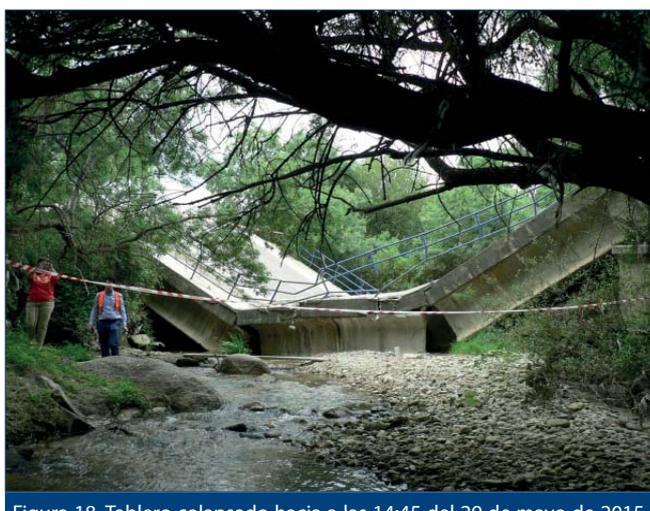


Figura 18. Tablero colapsado hacia a las 14:45 del 29 de mayo de 2015. Vista desde lado izquierdo

gas había espacio suficiente para el giro sin coacción. El colapso era inevitable y se produjo con gran ductilidad hacia las 14:45 de la tarde del viernes 29 de mayo de 2015 (figs. 17 y 18).

4. Autopsia

La primera conclusión, deducida ya al ver la estructura en el estado que muestran las figs. 12 y 13, es que se trataba de una estructura de dovelas ensartadas por una armadura no adherente que, en ciertas secciones, no necesariamente coincidentes, había roto presuntamente por pérdida de sección tras un proceso de corrosión de los alambres. En las figs. 19 y 20 se observan claramente dos situaciones diferenciadas. En la fig. 19 se evidencia una rotura de la armadura, con una cierta estricción, pero ya oxidada, lo que expresa que el agotamiento no era reciente. En la fig. 20, sin embargo, la rotura de los alambres era reciente, de ese mismo día. Consiguientemente, la ductilidad de la estructura era la ductilidad de la armadura, que fue adquiriendo carga, a costa de deformación creciente, a medida que otros alambres fueron rompiendo progresivamente.

En los días siguientes al colapso, por encargo de la Comunidad de Madrid, se acometieron observaciones complementarias y se ordenaron ensayos que permitieran extraer las enseñanzas correspondientes. Dichos ensayos se desarrollaron en los laboratorios de Física de Materiales y



Figura 19. Alambres rotos hacía algún tiempo en sección de viga 1 (lado izquierdo), vista hacia E-1



Figura 20. Vista de alambre roto el día 29 de mayo. La pérdida de sección obligó a los no rotos por corrosión a movilizar toda su capacidad



Figura 22. Torta de mortero interpuesta entre dovelas. Gran porosidad y depósitos calcáreos

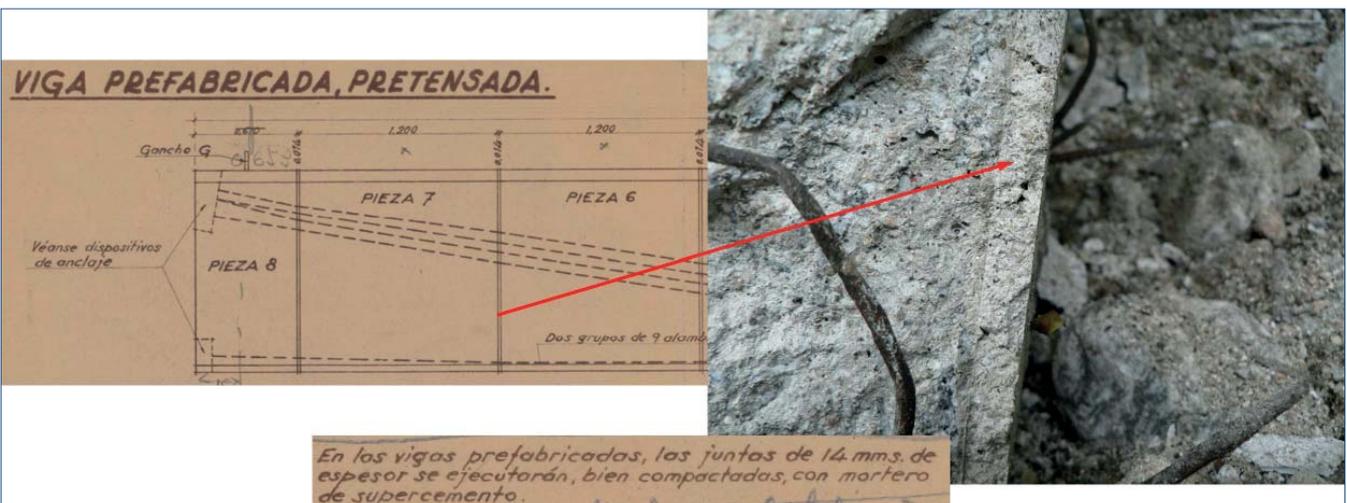


Figura 21. Torta de mortero interpuesta entre dovelas



Figura 23. Manguito de hojalata en la transición entre dovelas



Figura 24. Depósitos calcáreos en zona de juntas

de Química de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPM, cuyos responsables redactaron unos magníficos informes [11] y [12] cuyas conclusiones se resumen en el último apartado de este artículo.

En la fig. 21 se muestra un collage que expresa cómo se ejecutó con precisión la interposición de un mortero de regularización, de 14 mm de ancho, en el contacto entre dovelas. En la fig. 22 se muestra la naturaleza del mortero, muy poroso y lixiviado. La cuestión está relacionada con el hecho de que, no estando inyectados los conductos, la corrosión de las armaduras provino preferentemente de la penetración de agua con sales por las juntas, ya que las cabezas de anclaje estaban hormigonadas.

En la fig. 23 se muestra el detalle de un manguito de hojalata que, dispuesto en las juntas, impedía, durante el vertido, que el mortero se colase por los conductos de pretensado, lo que impediría o dificultaría posteriormente el tesado. Con esta técnica de puesta en obra era muy difícil, desde luego, asegurar una calidad adecuada del mortero. El paso del agua, con los años, se fue encargando de lavar esas juntas, disolviendo el carbonato cálcico del mortero, que precipitaría posteriormente en la cara inferior (fig. 24). Debe observarse, no obstante, que la durabilidad no estaba tan comprometida por la carbonatación del mortero y su lixiviación, ya que no era el pH un factor de protección al no haber contacto íntimo entre hormigón y mortero.

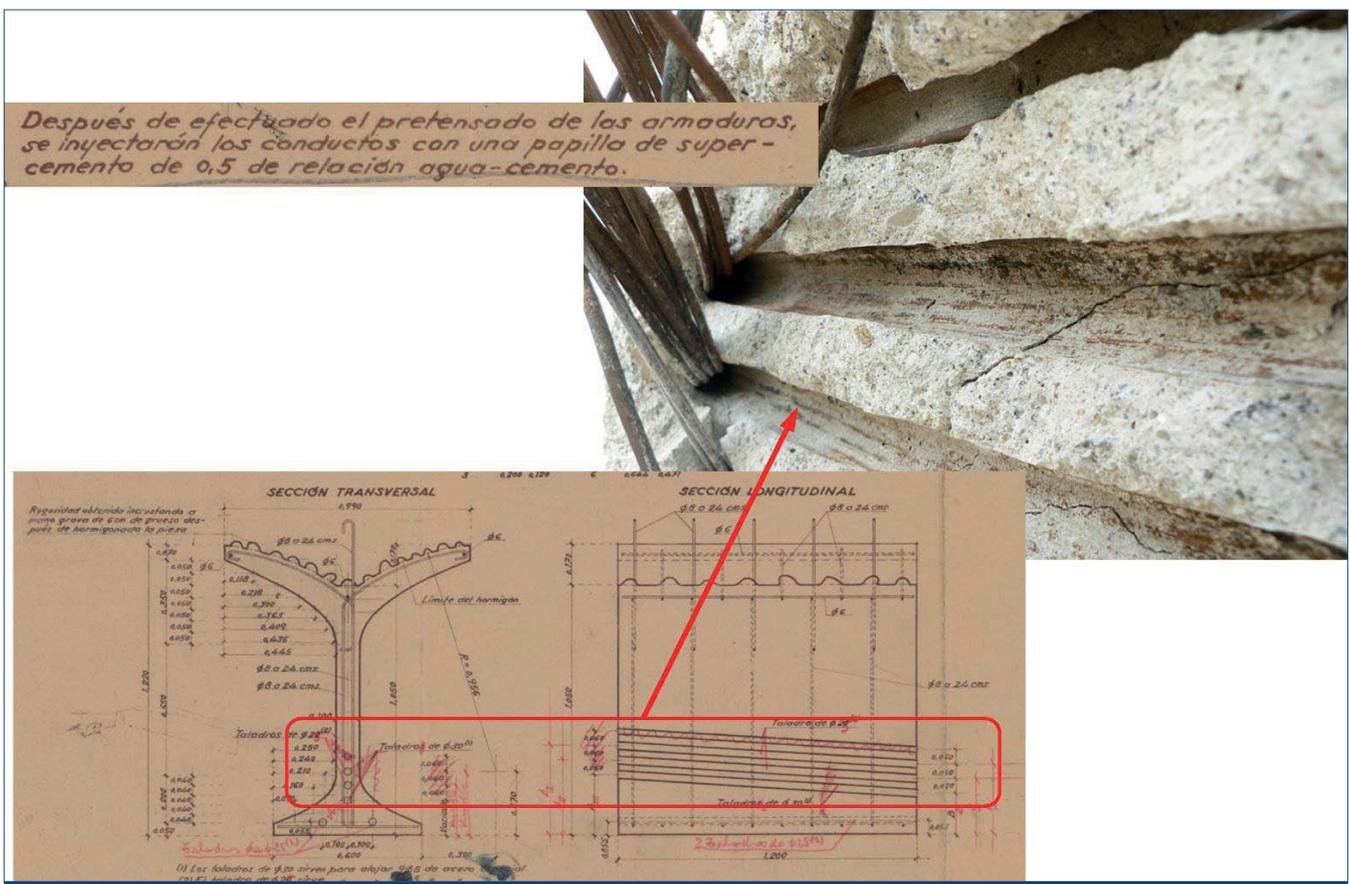


Figura 25. Armadura no inyectada, a pesar de las indicaciones vagas del proyecto, porque no especifica cómo hacerlo



Figura 29. Cordones longitudinales rotos por corrosión en viga 1, lado izquierdo, cara inferior de viga (muestras entregadas el 10 de junio de 2015). Entorno de hormigón prefabricado aún no carbonatado

En la fig. 25 se puede comprobar esto mismo al observar los restos de conductos sin inyectar, mientras que en las figs. 26 y 27 se presenta la sección transversal de una de las vigas en su cabeza y el resultado de la autopsia durante la demolición, detectándose que las cabezas de las vigas sí estaban protegidas con la *papilla de supercemento*. Este resultado reforzaría la idea de que la corrosión preferente se produjo fuera de las zonas de anclaje del pretensado longitudinal.

En la fig. 28 se presentan las cabezas de anclaje del pretensado longitudinal, tal y como estaba concebido en proyecto (con el detalle de la cuña múltiple del sistema Barredo utilizado), junto con muestras tomadas durante la demolición. A la derecha se observa con más

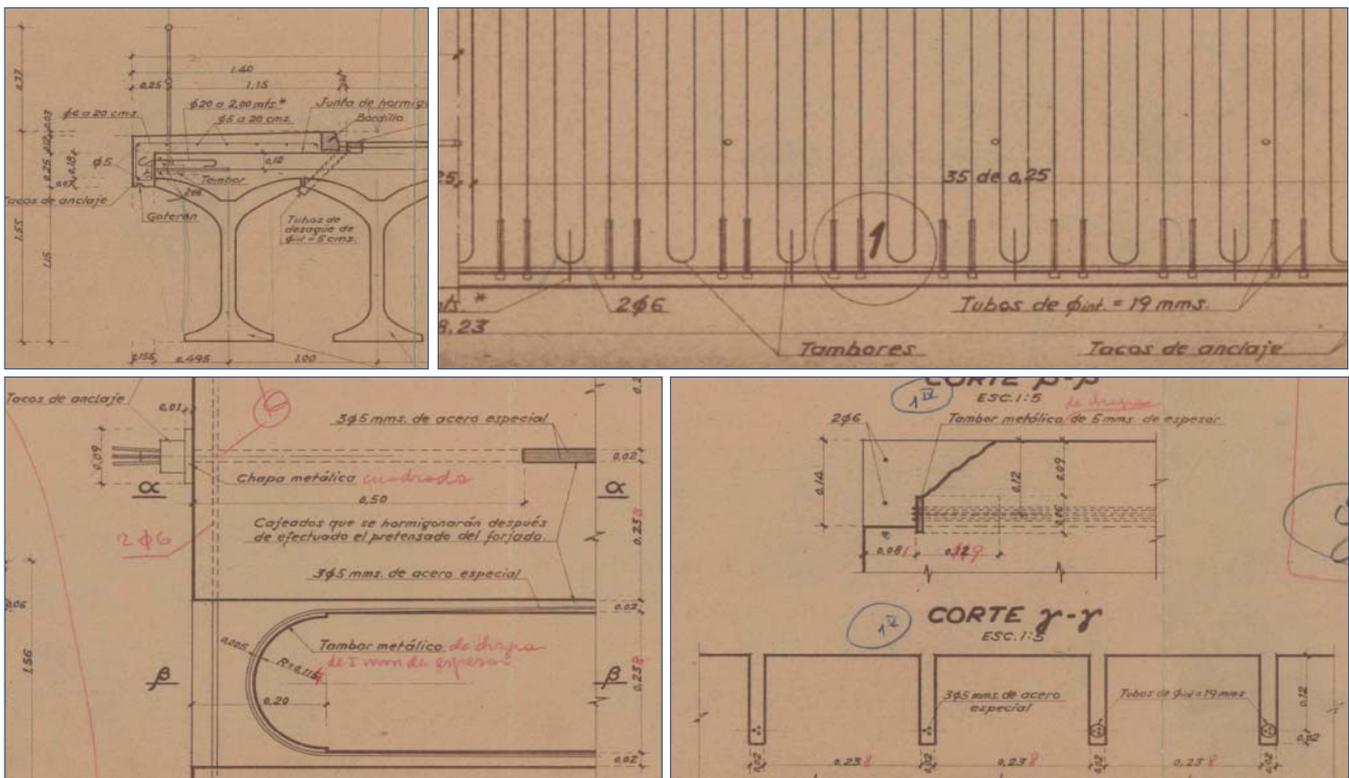


Figura 30. Disposición del pretensado transversal



Figura 31. Tambor de anclaje pasivo en lado izquierdo, con corrosión



Figura 32. Alambres de pretensado transversal corroídos en lado izquierdo, en losa sobre viga 2



Figura 33. Estribo de armadura pasiva con picaduras de corrosión (ubicación desconocida)

detalle que, a pesar de todo, se produjo corrosión en los alambres de pretensado de la armadura longitudinal tras las placas de anclaje, en la zona de más deficitaria protección.

En la fig. 29 se muestran las armaduras corroídas de una de las vigas, al mismo tiempo que se observa cómo el hormigón prefabricado, no así el mortero de la junta, estaba aún sin carbonatar, lo que da fe de la buena calidad de dicho hormigón desde el punto de vista de la durabilidad, aspecto más bien secundario en este caso.

En la fig. 30 se muestran detalles de los planos con la armadura transversal de pretensado, con las cabezas activa y pasiva de pretensado (ésta consistía en un arrollamiento semicilíndrico contra una pletina doblada). También se aprecia cómo los alambres se disponían en ranuras y se rellenaba después, como se ha dicho más arriba, para proteger la armadura. La fig. 31 permite ver cómo se había corroído la armadura en dicha cabeza pasiva.

La fig. 32 muestra el estado de corrosión severa de las armaduras de pretensado transversal. También se detectó corrosión, pero de menor trascendencia, en la armadura pasiva transversal, como se observa en la fig. 33.

En la fig. 34 se puede observar la existencia de los ya descritos conectadores de piedra, uno de los cuales está partido.

En la fig. 35 se observa un detalle de capital importancia: el sobre-espesor del paquete de firmes, de unos 22 cm, lo que equivale a un incremento de la carga muerta de más de 5 kN/m². Se trata de una situación, muy generalizada en España, que es el resultado de repavimentaciones que no pasan por el fresado completo previo de la capa anterior, lo que conduce progresivamente a un espesor casi nunca controlado de la carga muerta real y, por tanto, a un desconocimiento del margen disponible para las sobrecargas.

5. Conclusiones

Causas congénitas

- Falta de protección de la armadura de pretensado, tanto transversal como longitudinal, por desconocimiento de los mecanismos de corrosión, por error de proyecto (no se especifica procedimiento de inyección de las vainas) y falta de control de ejecución o de decisión durante las obras. En descargo del proyectista, ingeniero de gran solvencia, hay que decir que en la época en que se proyectó y construyó el puente, no eran suficientemente conocidos los mecanismos de durabilidad. Baste decir también, a título indicativo, que la extensión y contenido del capítulo dedicado a la protección de los tendones en el libro de Leonhardt pasa de 10 páginas (de un total de 460) en la edición de 1955 [7] a 27 (de un total de 754) en la traducción española [8], con un contenido totalmente renovado.
- Detalles constructivos eventualmente inadecuados, como el trazado poligonal del pretensado, que concentraría el rozamiento de los alambres en los vértices o juntas entre dovelas, pudiendo dar lugar al conocido fenómeno de *fretting* o corrosión propiciada por el rozamiento, el desplazamiento relativo entre acero y su entorno.
- Falta de robustez del conjunto. La disposición de armadura no adherente en un sistema de dovelas conectadas exclusivamente por el pretensado deja más expuesta a la estructura frente a situaciones de fallo localizado. Así, cualquier sección del tablero era crítica, dado que, al ser la parábola del trazado del pretensado antifunicular de las cargas uniformes, la tensión en los alambres era la misma en todos los puntos (si se desprecia el rozamiento). En este sentido hay que destacar

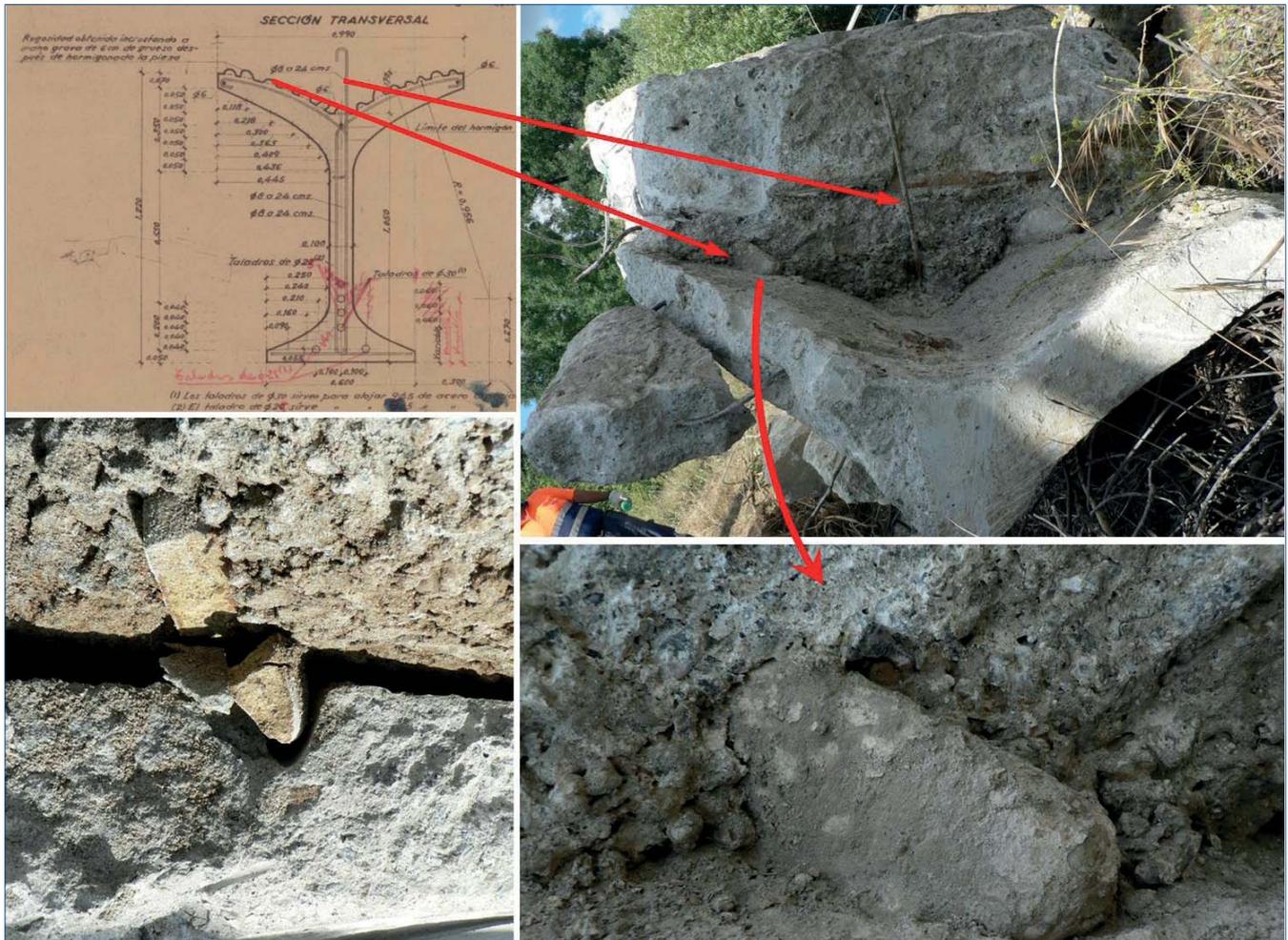


Figura 34. Conectores de piedra entre las dovelas prefabricadas y la losa superior. El texto del plano reza Rugosidad obtenida incrustando a mano grava de 6 cm de grueso después de hormigonada la pieza



Figura 35. Recreido del pavimento, notorio sobre la junta en el estribo 1

que el valor de la robustez como cualidad estructural ha ido ganando enteros en los últimos años, frente a los planteamientos más minimalistas de épocas anteriores.

- Se descartan completamente otras causas más convencionales (flexión, cortante, fallo por rasante entre juntas, movimientos de cimentación, acciones térmicas o deformaciones impuestas, etc.).

Causas relacionadas con el mantenimiento

- Sobre-espesor excesivo del paquete de firmes. Como se ha indicado, esta cuestión, endémica en las estructuras españolas y de otros países, requiere de más atención en lo sucesivo porque, salvo en los puentes de bóvedas de fábrica, aporta más desventajas que beneficios, tanto a la cimentación como a la capacidad portante de la obra y su aptitud para aceptar sobrecargas.
- Vertido de sales fundentes. Este punto afecta por igual a estructuras antiguas y a nuevas, puesto que no se generalizó el empleo de sales fundentes hasta finales de la década de 1980, con consecuencias que no siempre resultan visibles, como en este caso, y en otras en que, aunque el pretensado sí sea adherente, la corrosión inducida por cloruros pueda no generar la expulsión del recubrimiento.
- Falta de criterio a la hora de inventariar una estructura singular. Sobre este punto cabe plantear un debate cuya extensión rebasa los límites de este artículo. Se trata de un problema que afecta realmente a toda la profesión y que tiene que ver con la educación de los ingenieros y su conocimiento de la historia de la ingeniería estructural, así como de su capacidad para identificar y valorar las aportaciones y novedades que se han ido introduciendo a lo largo del tiempo. Este déficit es especialmente notable entre los técnicos dedicados a la ingeniería de mantenimiento, especialmente necesitados de capacidad de discernimiento de no sólo si una estructura es armada o pretensada, si es isostática o hiperestática, un arco o una viga de canto variable, sino del momento en que fue construida, porque ese conocimiento aporta un valor añadido a la hora de identificar esquemas de armado, trenes de carga, características de los materiales, procedimientos constructivos, etc. La referencia [9] contiene algunas reflexiones al respecto. En otras palabras, la gestión de los puentes ha de incorporar los elementos que caracterizan su valor patrimonial, de obra de ingeniería, y los puntos críticos de la estructura, de su durabilidad y de la seguridad de los usuarios.
- Necesidad de mejorar los criterios de inspección. En este punto los autores deben reconocer que, para la mayor parte de los inspectores, éste era uno más de los innumerables puentes de vigas de hormigón que existen por el mundo. Esta experiencia enseña que se hace necesaria, además de un ojo más educado en la detección de la singularidad de la estructura, la educación para sospechar de que

una determinada estructura, como ésta, fuera poco robusta y especialmente vulnerable a la corrosión. En ese sentido, se insiste en la necesidad de contar con catálogos de daños que recojan la casuística de daños [10] y de identificar los riesgos asociados a ciertas formas de rotura.

Conclusiones y enseñanzas

- La causa de la rotura es el fallo de las armaduras activas longitudinales por corrosión (sin descartar el *fretting*). Las transversales están igualmente corroídas, especialmente en las zonas entre arcén y acera, pero no han sido críticas.
- El fallo ha sido tan dúctil como lo ha sido el acero no corroído, con la capacidad de aviso constatada (deformación del pavimento) y rotura lenta aunque progresiva.
- El material cementante presenta en algunas zonas elevados contenidos de cloruros, que justifican el proceso de corrosión sufrido por los materiales metálicos. La situación de las áreas que presentan las elevadas concentraciones mencionadas, se corresponde con la filtración del agresivo aportado por las sales de deshielo en zonas de escorrentía, por lo que existe una gran variación en el contenido total de cloruros en diferentes puntos del material.
- Tanto los ensayos realizados *in situ* como en el laboratorio para evaluar el nivel de carbonatación de la estructura mostraron que éste era despreciable, por lo que en ningún caso ésa puede ser la causa del proceso de corrosión.
- Los resultados de los ensayos de tracción y el examen de las superficies de fractura mediante microscopía descartan que el acero de las armaduras activas del puente colapsado haya experimentado procesos de fragilización o fisuración capaces de empeorar su comportamiento mecánico en cuanto a resistencia y ductilidad.
- Sin embargo, los alambres de las armaduras han sufrido un intenso proceso de deterioro, aparentemente por corrosión, que se ha repartido muy desigualmente en el conjunto de la estructura y ha alterado severamente la geometría de los alambres en la sección transversal de un alambre de armadura activa.
- El hecho de que el acero haya conservado su resistencia y ductilidad ha dado lugar a que el daño inducido por el deterioro se haya limitado a la pérdida progresiva de sección resistente de las armaduras activas más expuestas al medio corrosivo, si bien en un plazo de tiempo tan dilatado, la disminución de capacidad portante de las armaduras que

conlleva la pérdida de sección ha llegado a agotar el margen de seguridad con que se proyectaron. La desigual exposición de las armaduras al medio corrosivo habría propiciado roturas de alambres, individualmente no críticas para la integridad de la estructura, pero cuya acumulación ha agotado el margen de seguridad. El hallazgo en el puente colapsado de alambres con roturas muy anteriores al colapso confirman esta interpretación.

- Los factores determinantes del colapso han sido la limitada protección de las armaduras activas frente a los agentes corrosivos externos y la sensibilidad del acero a la corrosión, posiblemente consecuencia de un tratamiento de temple y revenido controlado en menor medida de lo que su trascendencia a largo plazo requería.
- A pesar de todo, la estructura ha tenido una vida útil de 57 años, mayor que la prevista, probablemente, por su autor (quizás 50 años), y equivalente a la que se prescribiría hoy para una estructura similar en luces y tipo de vía. En este sentido, hay que recordar que Alfredo Páez fue ingeniero pionero en el planteamiento del proyecto de estructuras en el contexto de los estados límite últimos, para lo que desarrolló un sistema de coeficientes parciales que tenían en cuenta la vida útil de las estructuras.
- Se ha perdido una estructura singular, de valor patrimonial no conocido de antemano. Se debe estimular la búsqueda de la información de las estructuras de este tipo, al menos de las representativas, e incorporarla a las bases de datos de inventario.
- Se recomienda estudiar sobre inventario las estructuras de hormigón pretensado proyectadas y construidas entre 1950 y 1970, aproximadamente, dado que:
 - a) ha transcurrido un tiempo equiparable a la vida útil prevista y en el que se han podido desarrollar mecanismos de corrosión, no siempre visibles desde el exterior;
 - b) en esos años no estaba desarrollada suficientemente la tecnología para asegurar una inyección eficaz de las vainas de pretensado; y
 - c) posiblemente, hayan visto incrementado el espesor del paquete de firmes y, consiguientemente, disminuido el valor nominal del margen frente al paso de sobrecargas.
- Sobre las estructuras seleccionadas de entre las identificadas en el apartado anterior, realizar auscultaciones orientadas a conocer el estado de la inyección y del paquete de firmes.
- Se recomienda revisar los protocolos de actuación en inspecciones y mantenimientos ordinario y especializado.

Si, como los autores esperan, se aprovecha la oportunidad para aprender, la pérdida de esta notable estructura no habrá sido estéril y este puente de Alfredo Páez habrá entrado por la puerta grande en ese estado posterior al de la etapa de servicio, que es el de la Memoria engrandecida por el aprendizaje.

Bibliografía

1. Bauder, E. Las edades del puente de fábrica. Terminología y metáfora. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
2. León, J. Algunas consideraciones sobre la intervención en puentes bóveda de piedra o ladrillo. *Revista de Obras Públicas*, 2015, 162 (3562): 51-62.
3. Vitruvio Polión, M. Los Diez Libros de Arquitectura. Traducción del latín y comentarios de Don Joseph Ortiz y Sanz. Madrid, 1787. Re-edición de Akal. Madrid, 1992.
4. Bernabéu J.; Berrocal, A.; Hernández P., López A., Hernández, V. La consideración patrimonial de las obras públicas. Fundación Miguel Aguiló. <http://www.fundacionmiguelaguilo.org/2011/06/la-consideracion-patrimonial-de-las-obras-publicas/>, 2011.
5. ATEP. Realizaciones españolas en hormigón pretensado. Asociación Técnica Española del Pretensado (hoy ACHE), 1970, pp. 15 y 16.
6. CEHOPU. <http://www.cephopu.cedex.es/etm/expt/ETM-406-001.htm>. Página web que contiene la información de referencia.
7. Leonhardt, F. Spannbeton für die Praxis. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. Berlin, 1955.
8. Leonhardt, F. Hormigón pretensado. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Trad. Alberto Corral. Madrid, 1977.
9. León, J.; Corres, H.; Prieto, F. Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes. *Revista de Obras Públicas*, nº 3.492. 2008.
10. ADIF. Inspección y diagnóstico de puentes ferroviarios de hormigón. Madrid, 2008.
11. Valiente, A.; Iordanchescu, M. Puente sobre el río Guadarrama en la carretera M527: Integridad estructural de las armaduras activas tras 58 años de servicio. Departamento de Ciencia de Materiales. ETSICCP-UPM. Trabajo no publicado, 2015.
12. Moragues, A. Ensayo de contenido de cloruros, ATD y porosidad de los testigos del puente colapsado sobre el Guadarrama, en el PK 1+600 de la M-527. Laboratorio de Química de Materiales. ETSICCP-UPM. Trabajo no publicado, 2015.

Recomendaciones para el diseño de rellenos estructurales de tierras frente a la acción del agua

Guidelines for the Design of Structural Embankments Against Water Action

Han participado:

Miguel Fe Marqués
Acciona Ingeniería

Manuel Rodríguez Sánchez
*Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria.
Ministerio de Fomento*

Rafael Budia Díaz
Ciesm - Intevia

Comité de Geotecnia Vial
Grupo de Trabajo de Agua en Terraplenes

Resumen

En este documento se proporcionan unas recomendaciones para el diseño de rellenos estructurales de tierras frente a la acción del agua. Son unas recomendaciones generales con carácter orientativo, cuya finalidad es servir de ayuda en las primeras fases del diseño de los rellenos. El diseño de los casos concretos, por supuesto, debe hacerse de forma particularizada. Los rellenos estructurales que requieren o pueden requerir un diseño frente a la acción del agua se clasifican en diferentes casos y sub-casos, en función de sus condiciones geométricas, hidrológicas y del terreno de apoyo. Se han clasificado las acciones del agua sobre los rellenos, las consecuencias de dichas acciones y las soluciones a aplicar en el diseño de los rellenos con el fin de evitar dichas acciones o reducirlas hasta niveles admisibles. Las soluciones se han clasificado y descrito de forma general, con indicación de los criterios más importantes a tener en cuenta en su diseño y, en algunos casos, de los valores límites recomendables. También se proporcionan algunas secciones tipo representativas.

Abstract

This document includes guidelines for the design of embankments against water action. They are general guidelines, to be used in the first stages of the embankment's design. Of course, the design of specific cases must be site specific. Embankments requiring consideration of water action in their design have been classified in "cases" and subcases" depending on their geometric, hydrologic and bearing ground conditions. Water actions over the embankments, their consequences and solutions that can be used in design in order to avoid the actions or reduce them to allowable levels, have been classified. The solutions have been described and classified and the most important criteria to be taken into account in the design and, in some cases, the recommended limit values, have been provided, as well as some representative cross-sections.

1. Introducción

En este artículo se proponen unas recomendaciones a emplear en el diseño de rellenos estructurales de tierras, con el fin de servir de ayuda para definir las acciones que pueden producirse por efecto del agua y, lo más importante, las medidas que deben tomarse para reducir el efecto a niveles aceptables. Ha sido elaborado por el Grupo de Trabajo de Agua en Terraplenes, del Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras.

Estas recomendaciones se estructuran de la siguiente manera:

- En primer lugar se establecen los diferentes tipos de rellenos estructurales que pueden requerir un diseño frente a la acción del agua, a los que se ha denominado “*casos*”.
- Para facilitar la asignación de cada relleno a un caso concreto, se proporcionan a título indicativo, los parámetros geométricos e hidrológicos representativos de cada caso. Para los frecuentes casos intermedios, es recomendable aplicar las recomendaciones para los dos casos posibles, y elegir lo aplicable al relleno mediante un análisis particularizado.
- Se clasifican las acciones del agua sobre los rellenos y se relacionan con los diferentes casos.
- Se propone un listado de soluciones o medidas a disponer en el diseño de rellenos.
 - o Se relacionan, mediante un cuadro, las soluciones con las acciones frente a las cuales son efectivas.
 - o Igualmente se relacionan, mediante un cuadro, las soluciones, con los casos en los que son aplicables.
 - o Las soluciones se definen de forma general con indicación de los criterios más importantes a tener en cuenta en su diseño y, en algunos casos, de los valores límites recomendables, y, proporcionando, cuando es posible, una sección-tipo esquemática.

Se han excluido de estas recomendaciones los tratamientos de aceleración de la consolidación o de refuerzo en rellenos apoyados sobre suelos blandos de espesor importante, como mechas drenantes, columnas de grava, pilotes de mortero, etc.

En todos los casos, en general, se trata de rellenos estructurales, o sea terraplenes, pedraplenes o rellenos con “todo uno”, debidamente compactados, según las prescripciones del Pliego PG-3 del Ministerio de Fomento.

Se trata, obviamente, de unas recomendaciones generales cuya finalidad es servir de ayuda en las primeras fases del diseño de rellenos, y que tienen solamente un carácter orientativo. El diseño de los casos concretos, por supuesto, debe hacerse de forma particularizada. Por otra parte, estas recomendaciones pueden presentar algunas dife-

rencias respecto de la normativa vigente en la Dirección General de Carreteras.

Las recomendaciones se completan con algunos ejemplos de aplicación y fotografías ilustrativas.

En los apartados siguientes, se ha denominado eje del relleno al eje de la obra lineal.

2. Consecuencias

Las consecuencias de la acción del agua sobre los rellenos pueden resumirse en lo siguiente:

- Inestabilidades:
 - o Deslizamientos del cuerpo del relleno. Pueden ir desde pequeñas roturas superficiales hasta deslizamientos de grandes dimensiones, con serios efectos sobre la funcionalidad del relleno y que requieren reparaciones de importancia, o su reconstrucción.
 - o Deslizamientos por la base. Suelen abarcar una gran masa del relleno, y afectan de forma muy importante a su funcionalidad; requieren reparaciones de importancia o la reconstrucción del relleno.
- Deformaciones:
 - o Sin pérdida de material.
 - *Deformaciones tensionales*: si son importantes (abultamiento en el pie, agrietamientos, etc.) suelen ser indicio de inestabilidades incipientes.
 - *Deformaciones de hinchamiento o colapso*: su magnitud condiciona su efecto sobre la funcionalidad del relleno y la importancia de las reparaciones requeridas: desde efectos menores hasta consecuencias graves, pero sin llegar en general a la ruina del relleno.
 - o Con pérdida de material
 - Erosiones superficiales. No suelen tener consecuencias graves, aunque requieren reparaciones y protecciones.
 - Socavación del pie del relleno. Pueden desestabilizar el pie, dando lugar a deslizamientos por la base.
 - Erosiones internas y disoluciones. En las primeras fases pueden producirse deformaciones moderadas; pero si el fenómeno progresa, se puede llegar a la ruina del relleno.

3. Definición de los casos de rellenos estructurales

Se propone la siguiente clasificación de los casos de rellenos estructurales de tierras que requieren un diseño frente a la acción del agua. Se trata de una clasificación necesariamente simplificadora que deja, por supuesto, numerosos casos intermedios, pero que puede ser útil para la gran mayoría de los casos:

Rutas Técnica

- **Rellenos estructurales de obras lineales**
 - o **RMA:** Rellenos a media ladera. Situación alta respecto a la vaguada.
 - o **RMB:** Rellenos a media ladera. Situación baja respecto a la vaguada (relleno encajando cauce).
 - o **RVA:** Rellenos que interceptan una vaguada. Vaguada abierta. Bajo gradiente hidráulico.
 - o **RVC:** Rellenos que interceptan una vaguada. Vaguada cerrada. Fuerte gradiente hidráulico.
 - o **RIB:** Rellenos en zonas inundables. Baja velocidad del agua.
 - o **RIA:** Rellenos en zonas inundables. Alta velocidad del agua. Ejemplo: relleno de acceso a estructuras sobre cursos de agua importantes.

- **Rellenos estructurales superficiales**
 - o **RRV:** Rellenos extensos que rellenan vaguadas (polígonos industriales, urbanizaciones).

En la figura 1 se muestran croquis explicativos de cada uno de los casos. En las figuras 2 y 3 se muestran fotos de casos reales.

Para facilitar la asignación de cada relleno a un caso concreto, se proporcionan a título indicativo los parámetros geométricos e hidrológicos representativos de cada caso. Se han elegido los siguientes parámetros, clasificados según su rango de variación:

- **PT:** Pendiente del terreno en dirección transversal al eje del relleno:

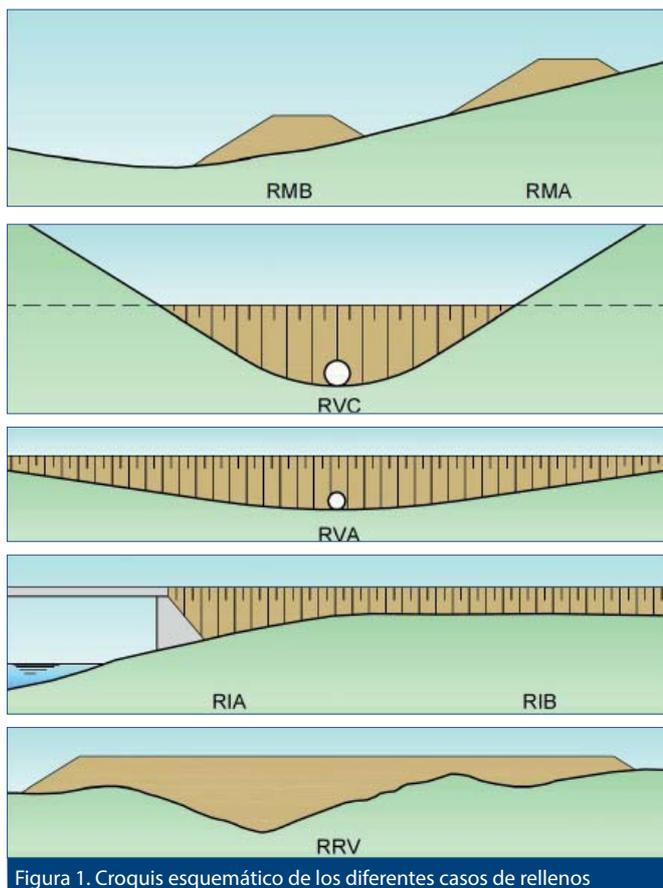


Figura 1. Croquis esquemático de los diferentes casos de rellenos

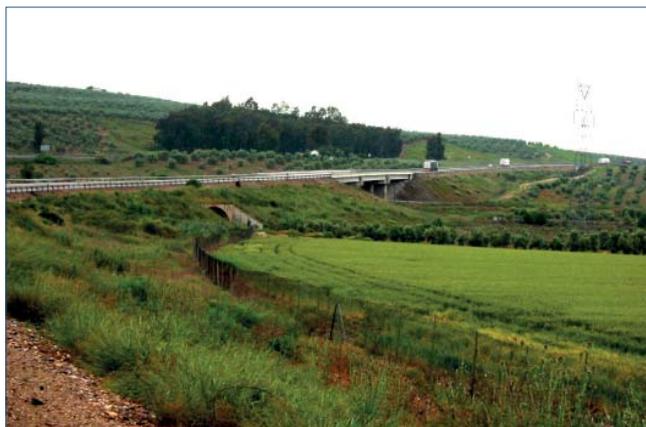


Figura 2. Ejemplo de caso RVA. Autovía A-2, p.k. 340



Figura 3. Ejemplo de caso RIB. Línea de Alta Velocidad Pozal - Villaverde. Puede apreciarse la protección de escollera en pie del relleno

- o Baja (B): 0 – 1 %
- o Media (M): 1 – 10 %
- o Alta (A): 10 - 20 %
- o Muy alta (AA): > 20 %
- **PL:** Pendiente del terreno en dirección longitudinal al eje del relleno:
 - o Baja (B): 0 – 1 %
 - o Media (M): 1 – 10 %
 - o Alta (A): 10 - 20 %
 - o Muy alta (AA): > 20 %
- **HA1:** Altura del agua respecto del pie del relleno (periodo de retorno de 500 años). Lado de aguas arriba.
 - o Nula (N): $\cong 0$
 - o Baja (B): < 0,3 m
 - o Media (M): 0,3 - 1,5 m
 - o Alta (A): > 1,5 m
- **HA2:** Altura del agua respecto del pie del relleno (periodo de retorno de 500 años). Lado de aguas abajo.
 - o Nula (N): $\cong 0$
 - o Baja (B): < 0,3 m
 - o Media (M): 0,3 - 1,5 m
 - o Alta (A): > 1,5 m

- **VA:** Velocidad del agua (500 años)
 - o Baja (**B**): < 1 m/s
 - o Media (**M**): 1 – 3 m/s
 - o Alta (**A**): > 3 m/s

Teniendo en cuenta que la clasificación de los rellenos es más cualitativa que cuantitativa, los valores numéricos proporcionados son meramente orientativos.

En la siguiente tabla se proporcionan, para cada caso de rellenos de obras lineales, los valores representativos típicos de cada uno de los parámetros (pendientes transversal y longitudinal, altura y velocidad del agua)

Rellenos de obras lineales		Parámetro geométrico o hidrológico				
		PT	PL	HA1	HA2	VA
Caso	RMA	A	B	B	N	M
	RMB	M-A	B	B	M-A	M-A
	RVA	B-M	B	M	M	B-M
	RVC	M-A	AA	M-A	B-M	M-A
	RIB	B	B	M	M	B
	RIA	B	M	M-A	M-A	M-A

Hay otro parámetro, que correspondería a las características del terreno de apoyo, que se clasifica del siguiente modo:

- **TA:** Terreno de apoyo
 - o Roca sana (**RS**)
 - o Roca blanda evolutiva (**RE**)
 - o Suelo permeable (**SP**)
 - o Suelo impermeable (**SI**)

Cada una de las 4 opciones puede darse en cada uno de los casos: por lo que para cada caso hay 4 subcasos, en función del tipo de terreno de apoyo.

4. Clasificación de las acciones debidas al agua

Se propone la siguiente clasificación de las acciones del agua sobre los rellenos:

- **I:** Acción directa del agua circulando sobre la superficie (**R** y **TA**).
 - o **Ia:** Erosiones y acarcavamientos superficiales (**R**).
 - o **Ib:** Socavación en pie (**R** y **TA**).
- **II:** Incremento de humedad hasta saturación (**R** y **TA**).
 - o **Ila:** Cambios de volumen
 - **Ila1:** Hinchamiento
 - **Ila2:** Colapso
 - o **Iib:** Pérdida de resistencia al corte del suelo
 - **Iib1:** Por pérdida de cohesión higroscópica
 - **Iib2:** Por incremento de presiones intersticiales
 - **Iib3:** Por alteración
- **III:** Migración de material por filtraciones a través del relleno o cimiento (**R** y **TA**).
 - o **IIIa:** Erosiones internas
 - o **IIIb:** Disoluciones

- **IV:** Empuje del agua sobre el relleno si este actúa como represa (**R**).

Nota: **R** indica que la acción actúa sobre el relleno; y **TA** que actúa sobre el terreno de apoyo.

5. Relación entre casos y acciones

Se adjuntan dos tablas que relacionan los distintos casos de rellenos estructurales de tierras con las acciones del agua que pueden actuar sobre ellos. Una tabla corresponde a acciones sobre el relleno, y la otra a acciones sobre el terreno de apoyo. En esta última tabla, cada caso se ha subdividido en función del tipo de terreno de apoyo (apartado 3).

Respecto a las acciones, se consideran tres opciones:

0: no actúa, o acción despreciable.

1: acción media (plazo en que actúa, consecuencias y medidas requeridas, de nivel medio).

2: acción fuerte o intensa.

Acciones del agua sobre el relleno (R)		Tipo de acción				
		Ia	Ib	II	III	IV
Caso	RMA	1	0	1	2	1
	RMB	1	2	2	1	1
	RVA	1	1	1	1	1
	RVC	1	2	2	2	2
	RIB	1	1	1	1	1
	RIA	1	2	2	2	2
	RRV	1	2	2	2	0

Acciones del agua sobre el terreno de apoyo (TA)		Tipo de acción			
		Caso	Ib	II	III
Roca sana (RS)		Todos	0	0	0
Roca evolutiva (RE)	RMA		0	1	1
	RMB		1	1	1
	RVA		0	1	1
	RVC		1	1	1
	RIB		0	1	1
	RIA		0	1	1
	RRV		0	1	1
Suelo permeable (SP) y suelo impermeable (SI)	RMA		0	2	2
	RMB		2	2	2
	RVA		1	2	2
	RVC		2	2	2
	RIB		1	2	2
	RIA		2	2	2
	RRV		2	2	2

Las tablas 2 y 3 indican la situación que suele darse habitualmente, sin que pueda descartarse que un relleno concreto se vea afectado por acciones distintas de las indicadas, o de mayor intensidad. Los casos concretos, por supuesto, deben estudiarse de forma particularizada.

Pueden verse algunos ejemplos ilustrativos de acciones y consecuencias en las figuras 4 y 5.



Figura 4. Humedades en pie de relleno con pequeñas roturas incipientes. Canal de Navarra



Figura 5. Rotura de un relleno por superación de la capacidad de drenaje transversal. FFCC Alcázar de San Juan – Sevilla, p.k. 150 (Paniagua, I., 2011)

6. Soluciones frente a la acción del agua

Se propone el siguiente listado de soluciones o medidas a incluir en el diseño de rellenos estructurales de tierras susceptibles de sufrir la acción del agua.

Se trata exclusivamente de medidas dispuestas en el propio relleno. No se incluyen las obras de drenaje transversal, dado que se parte de la base de un adecuado di-

seño y construcción de las mismas, al igual que en lo que respecta a las medidas locales de impermeabilización, drenaje, filtro, protección, revestimiento, etc. a disponer en muros, obras de fábrica y obras de drenaje.

A. Zonificación del relleno. Geometría y características exigidas a los materiales en las diferentes zonas del relleno.

A1. Pie o tacón drenante: Consiste en reforzar el pie del relleno (zona en la que se concentran las filtraciones de agua, y por la que tienen salida las posibles superficies de deslizamiento) con un material con una doble función drenante y resistente. En caso necesario, también aportaría resistencia al arrastre y la socavación. Generalmente se realizan con escollera o pedraplén, por sus mejores características desde los tres puntos de vista (función drenante y resistente, y resistencia al arrastre).

A11. Escollera.

- Es el material que aporta la mayor resistencia al corte y a la socavación.
- Permite un talud 1H/1V en el tacón.
- Es recomendable que cumpla las condiciones exigidas en el artículo 658 del PG-3.
- Si el tacón va a estar en condiciones de posible socavación, debe cumplir lo siguiente:
 - o El tamaño de la escollera viene condicionado por la resistencia al arrastre. Existen diversas formulaciones y ábacos que permiten obtener el tamaño requerido en función de la velocidad del agua, algunas de las cuales pueden verse en las referencias (2) y (3).
 - o En general no es necesario que toda la escollera cumpla esta limitación, siendo suficiente con un cierto porcentaje (por ejemplo, el 60 %), cumpliendo el resto las condiciones granulométricas del citado artículo 658 del PG3.
 - o El tacón debe profundizar al menos hasta el nivel de erosión general del lecho (ver referencia 3). Si eso no es posible, existe la alternativa de una protección por delante del pie (solución A3, figura 8).
 - o Como velocidad del agua de diseño, se recomienda en general al menos la correspondiente a la avenida de periodo de retorno de 500 años.
- En el contacto entre el tacón de escollera y el material del relleno y el terreno de apoyo ha de disponerse un filtro que evite la migración de material más fino hacia la escollera. En general es suficiente con un

filtro geotextil (artículo 422 del PG3) Puede disponerse igualmente una capa de suelo granular.

A12. Pedraplén

- Aporta una elevada resistencia al corte y a la socavación, aunque menores que la escollera
- Permite un talud en el tacón más fuerte que en el resto del relleno (por ejemplo, 4H/3V ó 3H/2V)
- Es recomendable que cumpla las condiciones exigidas en el artículo 331 del PG3.
- Si el tacón va a estar en condiciones de posible socavación es aplicable lo indicado para la escollera (A11): un porcentaje del material (por ejemplo, el 60 %) ha de sobrepasar el tamaño requerido frente al arrastre, y el tacón debe profundizar al menos hasta el nivel de erosión general del lecho.
- Ha de estudiarse la necesidad de un material filtro en el contacto entre el tacón de pedraplén y el material del relleno o el terreno de apoyo, que evite la migración de material más fino hacia el pedraplén, en función de la granulometría del pedraplén, del relleno y del terreno de apoyo. Al igual que se ha indicado para el tacón de escollera, en general es suficiente con un filtro geotextil (artículo 422 del PG3). Puede disponerse igualmente una capa de suelo granular.

A13. Suelo granular

- Cuando no se requiere resistencia a la socavación en el pie del relleno, ni una muy elevada resistencia al corte, puede realizarse el tacón con un suelo granular.
- Es recomendable que cumpla al menos las condiciones de suelo seleccionado del artículo 330 del PG3.

A2. Cimiento de relleno drenante (parte inferior del relleno, sobre el terreno de apoyo).

- Si la parte inferior del relleno puede sufrir inundación (esto es, si la máxima altura del agua queda por encima de la cota de la base del relleno) se requiere en esa zona un material de características drenantes y cuyas propiedades no se vean afectadas por la acción del agua.
- El cimiento drenante debe disponerse hasta una cierta altura (por ejemplo, 0,5 m) sobre la máxima altura de agua. Se recomienda considerar en general al menos la altura correspondiente a la avenida de periodo de retorno de 500 años.

- En general no es aconsejable un material excesivamente permeable, dado que no es deseable que el agua circule a través del relleno en lugar de por las obras de drenaje transversal. Por ello se recomienda una granulometría hasta cierto punto continua, sin grandes huecos, por lo que no es, en principio, recomendable el empleo de escollera de piedras sueltas, salvo que existan otras razones que lo aconsejen. Los materiales recomendables son los siguientes:

A21. Pedraplén

- Es recomendable que cumpla las condiciones exigidas en el artículo 331 del PG3.
- Si existen condiciones de posible socavación, la parte exterior del cimientto del relleno debe cumplir lo indicado para A11 y A12: un porcentaje del material (por ejemplo, el 60 %) ha de sobrepasar el tamaño requerido frente al arrastre. Por cuestiones constructivas es recomendable para esta zona exterior un espesor en horizontal de al menos 2 – 3 m.
- Ha de estudiarse la necesidad de un material filtro en el contacto entre el cimiento del pedraplén y el material del relleno o el terreno de apoyo, que evite la migración de material más fino hacia el pedraplén, en función de la granulometría del pedraplén, del relleno y del terreno de apoyo. Al igual que se ha indicado para el tacón de escollera, en general es suficiente con un filtro geotextil (artículo 422 del PG3). Puede disponerse igualmente una capa de suelo granular.

A22. Suelo granular

- Es recomendable que cumpla al menos las condiciones de suelo seleccionado del artículo 330 del PG3.
- Para proteger el suelo de la acción directa del agua, ha de disponerse una protección exterior. Se proponen dos opciones:
 - o Un recubrimiento de escollera (A3), con un filtro interpuesto entre el suelo granular y la escollera (ver A3).
 - o Un espaldón de pedraplén (A41).
 - o En ambos casos, un porcentaje del material (por ejemplo, el 60 %) ha de sobrepasar el tamaño requerido frente al arrastre del agua.

- o Si se prevé el contacto con el agua con cierta frecuencia, se recomienda la disposición de esta protección exterior incluso en el caso de velocidad prevista muy baja del agua, o incluso nula, aunque en este caso no se requiere una condición de tamaño mínimo frente al arrastre.
- o La protección debe disponerse hasta una cierta altura (por ejemplo, 0,5 m) sobre la máxima altura de agua (periodo de retorno de al menos 500 años).

A3. Recubrimiento o protección de escollera. En las zonas de la superficie del relleno susceptibles de estar en contacto con el agua en movimiento, se requiere un recubrimiento resistente al arrastre y la socavación, si el propio material del relleno no es capaz de proporcionar esta resistencia. Son recomendables las siguientes características de la escollera:

- Ha de cumplir las condiciones del artículo 658 del PG3.
- Tamaño de la escollera: es aplicable lo indicado para el tacón de escollera (A11): un porcentaje del material (por ejemplo, el 60 %) ha de sobrepasar el tamaño requerido frente al arrastre del agua.
- Espesor: Es recomendable que cumpla lo siguiente:
 - o Mayor de 1,5 ó 2 veces el tamaño requerido de la escollera (referencia 5)
 - o Mayor o igual que 0,5 m.
- Pie de la protección: Debe profundizar al menos hasta el nivel de erosión general del lecho (en el caso de rellenos de acceso a estructuras, puede ser la erosión local en el estribo). Existe la alternativa de prolongar la protección por delante del pie en una anchura de al menos 1,5 veces la profundidad requerida (ver figura 8).
- En el contacto entre el recubrimiento de escollera y el material del relleno y el terreno de apoyo ha de disponerse un filtro que evite la migración de material más fino hacia la escollera (ver figura 8). En general es suficiente con un filtro geotextil (artículo 422 del PG3). Pueden disponerse igualmente una o varias capas de suelo granular.
- Si se prevé el contacto con el agua con cierta frecuencia, se recomienda la disposición de esta protección exterior incluso en el caso de velocidad prevista muy baja del agua, o incluso nula, aunque en este caso no se requiere

una condición de tamaño mínimo frente al arrastre.

- La protección debe disponerse hasta una cierta altura (por ejemplo 0,5 m) sobre la máxima altura de agua (periodo de retorno de al menos 500 años).

A4. Espaldones. Parte exterior de los rellenos del tipo terraplén. Los materiales constituyentes de espaldones son los siguientes:

A41. Pedraplén: Es aplicable lo indicado en A21.

A42. Suelo granular. Es aplicable lo indicado en A22.

A43. Suelo arcilloso.

- Ha de cumplir las condiciones de suelo tolerable según el PG3.
- Si va a estar en contacto con el agua en movimiento, ha de disponerse un recubrimiento o protección de escollera (A3).

Por cuestiones constructivas es recomendable un espesor del espaldón de al menos 3 m. Sus funciones frente a la acción del agua pueden ser, entre otras, las siguientes:

- Mejorar la estabilidad del relleno al disponer un elemento drenante que reduzca las presiones intersticiales (A41 y A42).
- Proporcionar resistencia frente a la socavación y a la erosión superficial (A41).
- Función de filtro, evitando la migración del material fino desde el núcleo del relleno (A42).
- Función de impermeabilización, evitando la llegada de agua al núcleo del relleno, si este tiene carácter expansivo, colapsable o soluble (A43).

B. Tratamiento del terreno de apoyo

B1. Saneamiento y sustitución por material drenante. En zonas con nivel freático alto, se requiere un suelo drenante y cuyas propiedades no se vean afectadas por la acción del agua.

B11. Pedraplén.

- Resulta indicado donde no resulta posible el rebajamiento completo del nivel freático durante el saneamiento y sustitución. Un material del tipo pedraplén asegura en general unas condiciones aceptables, incluso con un saneamiento incompleto y con una compactación realizada sólo desde encima del nivel freático.
- Resulta también indicado donde se requiere una resistencia al corte especialmente alta (como puede ser el caso de los rellenos a media ladera con fuerte pendiente).
- En condiciones de posible socavación, el pedraplén en la zona cercana al pie ha de

cumplir lo indicado en A1, A2 y A3 (un 60 % del material ha de sobrepasar el tamaño requerido frente al arrastre del agua), y el saneo y sustitución han de profundizar al menos hasta el nivel de erosión general del lecho. De esta forma no se requiere una protección adicional.

- Es recomendable que cumpla las condiciones exigidas en el artículo 331 del PG3.

B12. Suelo granular.

- Es recomendable que cumpla las condiciones de suelo seleccionado o adecuado del artículo 330 del PG3.
- En condiciones de frecuente inundación, es recomendable reducir el contenido en finos.
- No proporciona protección frente a la socavación.

B2. Mantos drenantes.

- Son capas drenantes formadas por bloques, bolos, material granular o elementos prefabricados (generalmente geocompuestos), que se disponen entre un relleno y el terreno natural sobre el que éste se apoya. Recogen y conducen las eventuales surgencias de agua procedentes del terreno natural, y las aportaciones provenientes del propio relleno.
- Su diseño y construcción ha de seguir los criterios indicados en la Orden circular 17/2003 del Ministerio de Fomento.

B3. Cajado. Escalonado de la superficie de excavación en el terreno de apoyo del relleno en zonas con fuerte pendiente natural.

C. Drenes y zanjas drenantes.

- Zanjas rellenas de material drenante, generalmente con un tubo dren en su parte inferior (del que se suele prescindir si el material drenante es escollera (figura 8).
- Suelen llevar una lámina impermeable en su parte inferior y un geotextil filtro en su superficie filtrante (artículo 422 del PG3).
- Deben diseñarse con cierta pendiente, y han de conducir el agua a la red de drenaje general.
- Su diseño y construcción ha de seguir los criterios indicados en la Orden circular 17/2003 del Ministerio de Fomento.

C1. Transversales. Perpendiculares al eje del relleno. Permiten rebajar el nivel freático en el cimientto del relleno. Son una alternativa al saneo completo (B1).

C2. Longitudinales. Paralelas al eje del relleno.

C21. En cimiento del relleno.

C22. Aguas arriba del relleno. En su parte superior se suele disponer una capa impermeable.

C3. En espina de pez. Para la captación de un conjunto localizado de manantiales o surgencias, los mantos drenantes pueden sustituirse por una red, generalmente arborescente o con forma de espina de pez, constituida por zanjas drenantes que confluyen en una principal que funciona como emisario y que, normalmente, alojará una tubería drenante y un colector en su interior.

D. Medidas complementarias

D1. Geosintéticos. En general, forman parte del diseño de las medidas A, B y C, descritas.

D11. Filtro. Se requieren en superficies de separación entre materiales de diferente granulometría, por las que se va a producir la filtración de agua, con el fin de evitar el arrastre de partículas finas. Generalmente rodean tacones y protecciones de escollera o pedraplén (A11, A12 y A3). Puede requerirse también en el contacto entre el cimiento de pedraplén (B11) y el relleno superior, en función de la granulometría de ambos materiales. En este caso también evita la caída del material fino entre los huecos del grueso. Debe cumplir lo indicado en el artículo 422 del PG3.

D12. Impermeabilización. Sus funciones son:

- Evitar la entrada al terreno del agua drenada. Por ejemplo, en la parte inferior de zanjas drenantes.
- Evitar la llegada de agua al núcleo del relleno, si este tiene carácter expansivo, colapsable o soluble.
- Evitar la llegada de agua al terreno de apoyo, si este está constituido por rocas evolutivas o solubles o por suelos expansivos, colapsables o solubles. En esos casos puede requerirse en el contacto con el terreno de tacones drenantes (A1) o incluso del material de sustitución de saneo (B1).

D13. Drenaje

- En sustitución de capas de suelo permeable, o añadido a ellas para aumentar su capacidad drenante.
- Acompañando a láminas impermeables, por el lado contrario al que ha de impermeabilizarse.
- El agua drenada debe tener salida a otros elementos drenantes o a la red de drenaje general.

Si el geosintético va a estar en contacto directo con escollera, debe tener una resistencia que evite su perforación durante la colocación de la misma. Puede ser recomendable disponer una capa de grava intermedia de escaso espesor (por ejemplo 0,5 m) que evite dicho contacto directo.

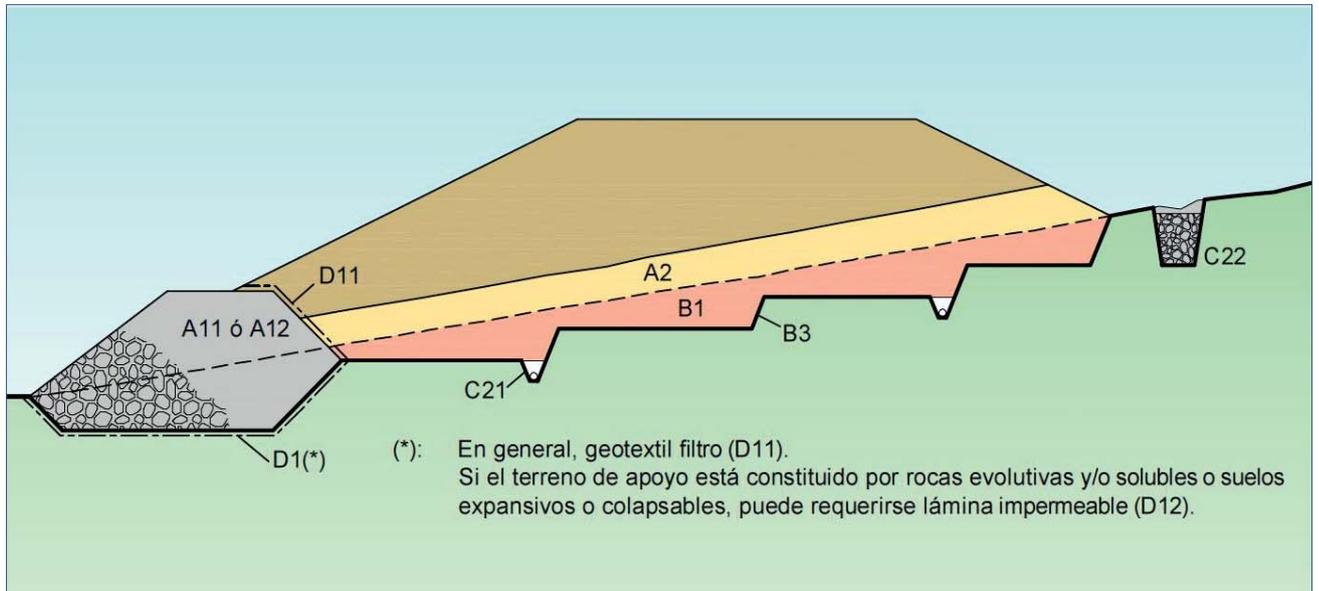


Figura 6. Sección tipo de relleno a media ladera, con soluciones

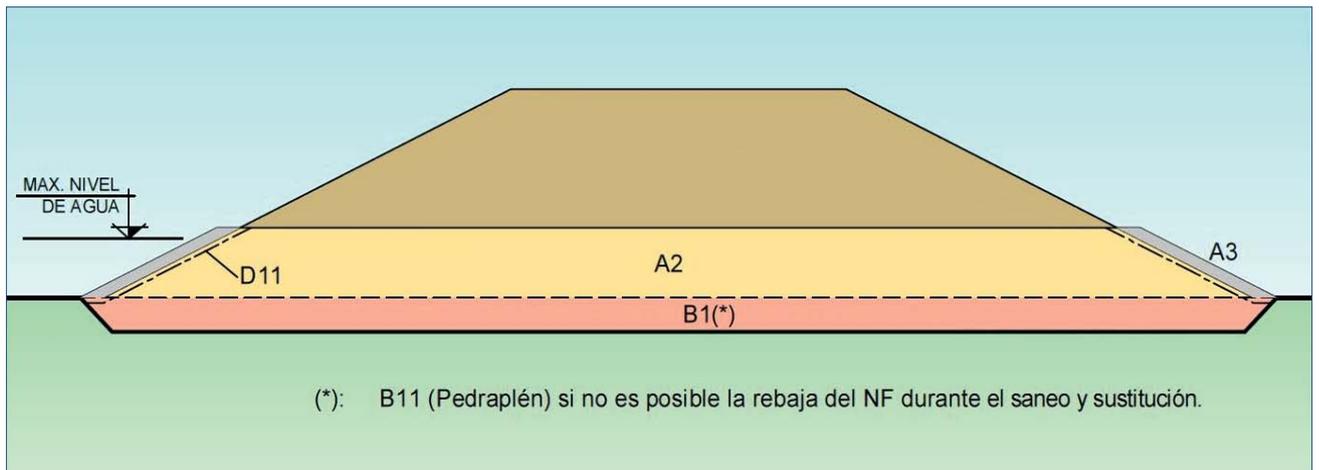


Figura 7. Sección tipo de relleno en zona inundable, con soluciones

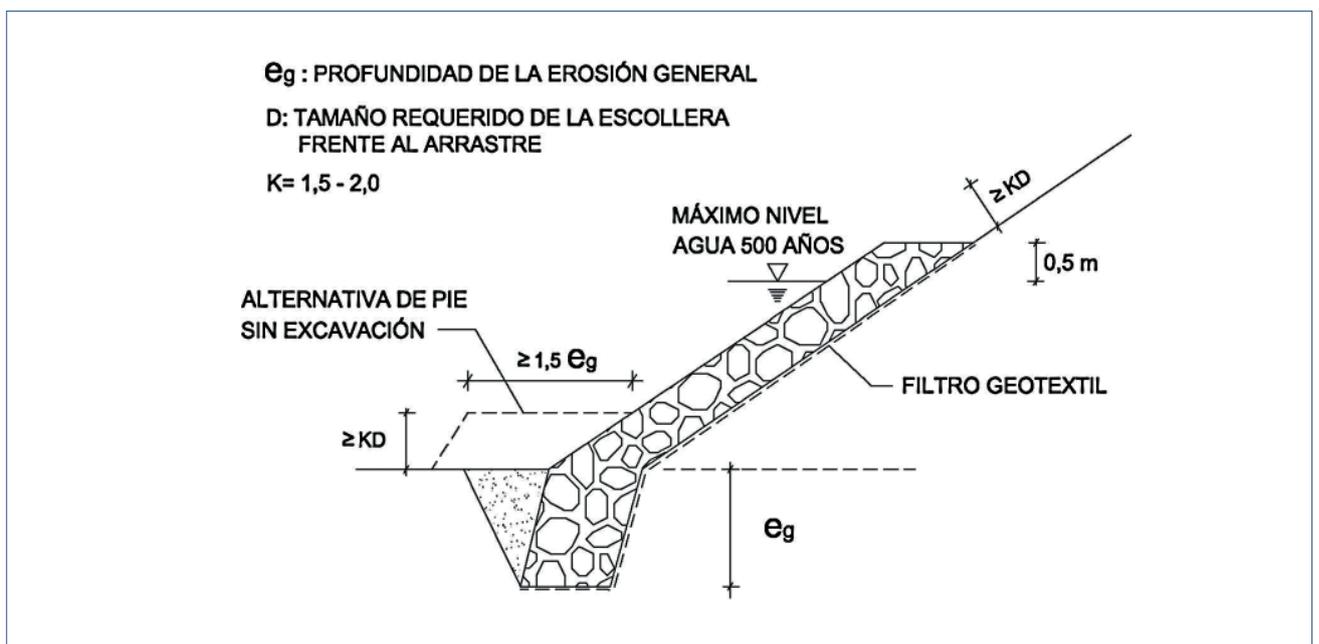


Figura 8. Sección tipo de recubrimiento de escollera (A3)

D2. Drenaje superficial.

- Son las medidas que deben aplicarse con carácter general, para minimizar el agua de escorrentía que penetra en el relleno y en el terreno de apoyo. Su ausencia, deficiente diseño o construcción, o mal funcionamiento, provocarán o agravarán, en general, las acciones del agua sobre el relleno y sus consecuencias.
- Las medidas de drenaje superficial más habituales son: caces de coronación, bajantes y cunetas.
- Su diseño y construcción ha de seguir lo indicado en la Instrucción 5.2-IC, Drenaje superficial.

En las figuras 6 a 9 pueden verse secciones tipo esquemáticas de varias soluciones. En las figuras 10 a 14 se muestran algunas fotos de ejemplos reales.

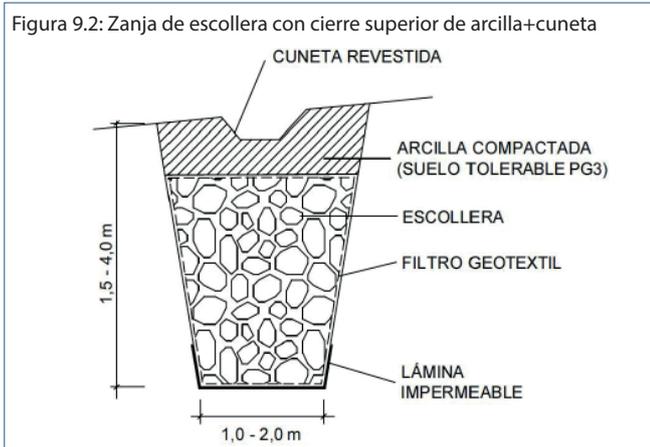
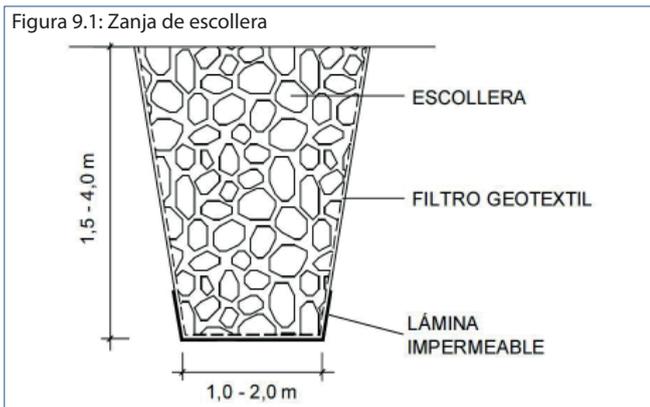


Figura 9: Zanjas drenantes (C), con sus dimensiones habituales

7. Relaciones entre soluciones, acciones y casos

En la tabla 4 se relacionan las soluciones con las acciones frente a las cuales son efectivas. A partir de esta relación se ha realizado la tabla 5, en la que se relacionan las soluciones con los casos a los que son aplicables. En esta última se han excluido algunas soluciones cuya aplicación está poco relacionada con el caso de que se trate, y depende más de otros factores. Es el caso de los espaldones (A4).

Las relaciones incluidas en las tablas 4 y 5 tienen solamente un carácter orientativo. El diseño de los casos concretos, por supuesto, debe hacerse de forma particularizada.



Figura 10. Caso RIB. Saneo en terreno de apoyo (B1) en zona con nivel freático alto. Línea de Alta Velocidad Picassent- Alcásser



Figura 11. Caso RIB. Relleno de saneo con pedraplén (B11). Línea de Alta Velocidad Picassent- Alcásser

Tabla 4: Relación entre las posibles soluciones y las acciones frente a las que son efectivas (color rojo)

SOLUCIONES			ACCIONES						
			I		II		III		IV
			Ia	Ib	Ila	Ilb	IIla	IIlb	
A. Zonificación del relleno. Geometría y características exigidas a materiales en diferentes zonas.	A1. Pie o tacón drenante	A11. Escollera							
		A12. Pedraplén							
		A13. Suelo granular							
	A2. Cimiento de relleno	A21. Pedraplén							
		A22. Suelo granular							
	A3. Recubrimiento o protección de escollera								
	A4. Espaldones	A41. Pedraplén							
A42. Granular									
A43. Arcilloso									
B. Tratamiento del terreno de apoyo.	B1. Saneamiento y sustitución por material drenante	B11. Pedraplén							
		B12. Suelo granular							
B2. Mantos drenantes									
C. Drenes y zanjas drenantes.	C1. Transversales								
	C2. Longitudinales	C21. En cimiento del relleno							
		C22. Aguas arriba del relleno							
C3. En espina de pez									
D. Medidas complementarias.	D1. Geosintéticos	D11. Filtro							
		D12. Impermeabilización							
		D13. Drenaje							
	D2. Drenaje superficial	D21. Cunetas							
		D22. Bajantes							

I: Acción directa del agua circulando sobre la superficie
 Ia: Erosiones y acaravamientos superficiales
 Ib: Socavación en pie
 II: Incremento de humedad hasta saturación
 Ila: Cambios de volumen
 Ilb: Pérdida de resistencia al corte del suelo
 III: Migración de material por filtraciones a través del relleno y/o cimiento
 IIIa: Erosiones internas
 IIIb: Disoluciones
 IV: Empuje del agua sobre el relleno si este actúa como represa

8. Ejemplos de aplicación

EJEMPLO 1

Un tramo de relleno de carretera atraviesa una vaguada de forma aproximadamente perpendicular, con una obra de drenaje coincidiendo con el eje de la vaguada. El terreno en el emplazamiento del relleno está constituido por margas de edad oligocena.

La pendiente media del terreno de apoyo es la siguiente:

- En sentido transversal al eje del relleno: 3 %
- En sentido longitudinal al eje del relleno: 22 %

Los datos hidrológicos a emplear en el diseño de la obra de drenaje, correspondientes a un periodo de retorno de 500 años, son los siguientes:

- Altura del agua en el lado de aguas arriba: 1,50 m

- Altura del agua en el lado de aguas abajo: 1,10 m
- Velocidad del agua: 3,1 m/s

La posición relativa del relleno y la vaguada y la morfología de esta conducen, en principio, a encuadrar el relleno como RVC (Relleno que intercepta una vaguada. Vaguada cerrada. Fuerte gradiente hidráulico). La aplicación de la tabla 1 concuerda con esa clasificación. Respecto al terreno de apoyo, quedaría clasificado como RE, roca blanda evolutiva.

De la tabla 2 se obtienen las siguientes posibles acciones del agua sobre el relleno:

- Ia: Erosiones y acaravamientos superficiales (acción media)
- Ib: Socavación en pie (acción fuerte o intensa)
- II: Incremento de humedad hasta saturación (acción fuerte o intensa)

Tabla 5: Relación entre casos y soluciones (0: No necesario o poco apropiado. 1: Apropriado. 2: Muy apropiado)

SOLUCIONES		CASOS										TERRENO DE APOYO																
		RMA	RMB	RVA	RVC	RIB	RIA	RRV	RS	RE	SP	SI	RS	RE	SP	SI	RS	RE	SP	SI	RS	RE	SP	SI				
		Relleno a media ladera. Situación alta respecto a vaguada.	Relleno a media ladera. Situación baja respecto a vaguada.	Relleno que intercepta vaguada. Vaguada abierta. Bajo gradiente hidráulico.	Relleno que intercepta vaguada. Vaguada cerrada. Fuerte gradiente hidráulico.	Relleno en zona inundable. Baja velocidad del agua.	Relleno en zona inundable. Alta velocidad del agua.	Relleno que ocupa vaguadas (polígonos industriales, urbanizaciones, etc.)	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2		
A. Zonificación del relleno. Geometría y características exigidas a los materiales en las diferentes zonas.	A11. Escollera	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
	A1. Pie o tacón drenante	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	A2. Cimiento de relleno drenante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B. Tratamiento del terreno de apoyo.	A13. Suelo granular	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	A21. Pedraplén	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	A22. Suelo granular	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C. Drenes y zanjas drenantes.	A3. Recubrimiento o protección de escollera	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	B1. Saneamiento y sustitución por material drenante	0	0	1	2	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2
	B2. Mantos drenantes	0	0	0	2	0	1	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	2	
D. Medidas complementarias.	C1. Transversales	0	1	2	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	1
	C2. Longitudinales	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	1	2
	C3. En espina de pez	0	0	1	2	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2
D. Medidas complementarias.	D11. Filtro	0	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	D12. Impermeabilización	0	2	1	2	0	2	1	2	0	1	2	0	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	1	2
	D13. Drenaje	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
D2. Drenaje superficial (caces, bajantes, cunetas)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	



Figura 12. Caso RIB. Cimiento realizado con pedraplén (A21). Línea de Alta Velocidad Picassent- Alcásser

- III: Migración de material por filtraciones a través del relleno (acción fuerte o intensa)
 - IV: Empuje del agua sobre el relleno si este actúa como represa (acción fuerte o intensa)
- De la tabla 3 se obtienen las siguientes posibles acciones del agua sobre el terreno de apoyo:
- Ib: Socavación en pie (acción media)
 - II: Incremento de humedad hasta saturación (acción media)
 - III: Migración de material por filtraciones a través de relleno (acción media)
- Acción media indica que el plazo en que actúa, las consecuencias y las medidas requeridas son de nivel medio.
- Las acciones II y III, pueden subdividirse en diferentes acciones, según se indica en el apartado 4. Todas ellas pueden actuar sobre el relleno objeto de estudio.
- Las soluciones aplicables a este relleno pueden verse en la tabla 5. Se recogen a continuación, junto con comentarios explicativos.
- **A11, A12, A13: apropiadas.** *Un tacón o pie drenante resulta apropiado, preferiblemente de escollera o pedraplén, aunque también puede ser válido de suelo granular. Puede plantearse en la parte más baja del pie del relleno, en el entorno de la obra de drenaje. Además de proteger esta zona contra la socavación, y de facilitar el drenaje del relleno, mejora las condiciones de estabilidad del relleno en su zona de mayor altura.*
 - **A21 y A22: muy apropiadas.** *Un cimiento de relleno (parte baja del relleno en contacto con el terreno de apoyo) drenante, de suelo granular o pedraplén, resulta muy apropiado para evitar o reducir las presiones intersticiales en el relleno.*
 - **A3: muy apropiada.** *Un recubrimiento o protección de escollera resulta muy apropiado en la zona en la que el relleno puede estar en contacto con agua en movimiento, esto es, en las proximidades de la obra de drenaje, tanto aguas arriba como aguas abajo.*
 - *Es recomendable para el tacón, cimiento drenante y recubrimiento de escollera, una altura al menos 0,5 m por encima de la correspondiente a la avenida de periodo de retorno de 500 años. En el caso del cimiento drenante, es recomendable un espesor aproximadamente constante igual al máximo obtenido al aplicar el criterio anterior aguas arriba y aguas abajo. En este caso resulta un espesor de 2 m respecto al terreno natural.*
 - **B11 y B12: poco apropiadas; B2: apropiada.** *El saneo y sustitución del terreno de apoyo no resulta necesario, si no existe una capa superior de terreno muy alterado, aunque sí es apropiada la disposición de un manto drenante en caso de surgencias de agua en el terreno. En el caso de la existencia de una capa superior de espesor importante de margas muy alteradas, la clasificación del cimiento pasaría a ser SI, suelo impermeable, y B11 y B12 serían ahora muy apropiadas según la tabla 5.*
 - **C1, C21 y C3, poco apropiadas; C22: apropiada.** *Una zanja drenante longitudinal, aguas arriba del relleno, puede resultar apropiada para contribuir a evitar la llegada de agua a la parte superior del terreno de apoyo, evitando así su alteración.*
 - **D11 y D12: muy apropiadas, D13: apropiada.** *El empleo de geotextiles para filtro e impermeabilización resulta muy apropiado:*



Figura 13. Caso RIB. Geotextil entre el pedraplén del cemento y el relleno superior (D11). Línea de Alta Velocidad Picassent- Alcásser

- o *Lámina Impermeable:*
 - *En el contacto del relleno con el terreno de apoyo, para evitar la llegada de agua y consiguiente alteración. Resulta especialmente apropiada en la parte baja del relleno, por ejemplo, en el apoyo del tación de escollera. Su necesidad es función de la alterabilidad del terreno de apoyo. Si no es excesiva, puede no resultar necesaria.*
 - *Puede ser necesaria para proteger de la acción del agua el núcleo de relleno, si se construye con suelos susceptibles de sufrir hinchamiento, colapso, erosiones internas o disolución.*
 - *Es, en general, recomendable en la parte inferior de zanjas drenantes.*
- o *Filtro: en el contacto de la escollera (en recubrimiento, tación o zanjas) con el material circundante (relleno o terreno natural), excepto donde se disponga lámina impermeable.*
- o *Drenaje: Si se desea aumentar la capacidad drenante de las capas de suelo granular. Puede ser útil acompañando la lámina impermeable.*
- **D2: apropiada.** Un adecuado diseño y dimensionamiento de las medidas de drenaje superficial es siempre necesario.

EJEMPLO 2

Un tramo de relleno de carretera atraviesa una llanura aluvial de topografía plana. El terreno en el emplazamiento del relleno está constituido por una terraza aluvial, con una capa superior arcillosa (arcillas limosas de plasticidad media, CL) de 3 m de espesor sobre una capa de gravas arenosas (GM) de 5 m de espesor, con el nivel freático cercano a la superficie del terreno.

La pendiente media del terreno de apoyo es la siguiente:

- En sentido transversal al eje del relleno: 0,5 %
- En sentido longitudinal al eje del relleno: 0,6 %

Los datos hidrológicos correspondientes a un periodo de retorno de 500 años, son los siguientes:

- Altura del agua en el lado de aguas arriba: 0,7 m
- Altura del agua en el lado de aguas abajo: 0,7 m
- Velocidad del agua: 0,4 m/s

La situación del relleno en una llanura aluvial inundable de topografía horizontal conduce a encuadrarlo como **RIB** (Relleno en zona inundable. Baja velocidad del agua). La aplicación de la tabla 1 concuerda con esa clasificación. Respecto al terreno de apoyo, quedaría clasificado como **SI**, suelo impermeable.

De la tabla 2 se obtienen las siguientes posibles acciones del agua sobre el relleno:

- Ia: Erosiones y acaravamientos superficiales (acción media)
- Ib: Socavación en pie (acción media)
- II: Incremento de humedad hasta saturación (acción media)
- III: Migración de material por filtraciones a través del relleno (acción media)
- IV: Empuje del agua sobre el relleno si este actúa como represa (acción media)

De la tabla 3 se obtienen las siguientes posibles acciones del agua sobre el terreno de apoyo:

- Ib: Socavación en pie (acción media)
- II: Incremento de humedad hasta saturación (acción fuerte o intensa)
- III: Migración de material por filtraciones a través del relleno (acción fuerte o intensa)

Acción media indica que el plazo en que actúa, las consecuencias y las medidas requeridas son de nivel medio.

Las acciones II y III pueden subdividirse en diferentes acciones, según se indica en el apartado 4. Todas ellas pueden actuar sobre el relleno objeto de estudio.

Las soluciones aplicables a este relleno pueden verse en la tabla 5. Se recogen a continuación, junto con comentarios explicativos.



Figura 14. Caso RIB. Protección de escollera (A3). Línea de Alta Velocidad Pozal - Villaverde

- **A21 y A22: muy apropiadas.** Un cimiento de relleno de suelo granular o de pedraplén, resulta muy apropiado por ser una zona susceptible de inundación en la que se requiere un material drenante y cuyas propiedades no se vean afectadas por la acción del agua.
- **A3: apropiada.** Un recubrimiento o protección de escollera resulta apropiado para evitar el arrastre del relleno por la acción del agua, aunque dada la baja velocidad del agua, sería suficiente con disponer pedraplén en el cimiento del relleno. En el caso de disponerse simplemente un suelo granular, sí podría resultar necesario el recubrimiento de escollera.
- Es recomendable para el cimiento drenante y recubrimiento de escollera una altura al menos 0,5 m por encima de la correspondiente a la avenida de periodo de retorno 500 años.
- **B11 y B12: muy apropiadas.** El saneo y sustitución del terreno de apoyo por material drenante resulta muy apropiado, por tratarse de una zona de nivel freático alto, susceptible de alcanzar con cierta frecuencia la superficie del terreno. La imposibilidad o las grandes dificultades del rebaje del nivel freático durante el saneo y sustitución hace preferible el empleo de pedraplén. La profundidad requerida del saneo (saneo total o parcial del suelo arcilloso) debe decidirse en función de las características resistentes y deformacionales de la capa arcillosa, de la altura del relleno y de la profundidad del nivel freático.
- **C1, C2 y C3, poco apropiadas:** La imposibilidad de desaguar el agua recogida en zanjas drenantes no las hace útiles, en principio, en este caso.
- **D11, D12 y D13: apropiadas.** El empleo de geotextiles para filtro, impermeabilización y drenaje resulta apropiado:
 - o Lámina Impermeable: Puede ser necesaria para proteger de la acción del agua el núcleo de relleno, si se construye con suelos susceptibles de sufrir hinchamiento, colapso, erosiones internas o disolución.
 - o Filtro: en el contacto del recubrimiento de escollera con el material circundante (relleno o terreno natural). Si se dispone pedraplén en el cimiento o en la zona de saneo de relleno, puede requerirse un filtro en el contacto con el relleno superior, en función de la granulometría de ambos materiales.
 - o Drenaje: Puede ser útil acompañando a la lámina impermeable.
- **D2: apropiada.** Un adecuado diseño y dimensionamiento de las medidas de drenaje superficial es siempre necesario.

9 Referencias

- (1) Jimenez Salas, J.A. y otros, 1980. "Geotecnia y Cimientos III". Editorial Rueda.
- (2) Bureau of Reclamation, 1983. "Engineering Monograph nº 25. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators".
- (3) MOPT, 1988. "Control de la erosión fluvial en puentes".
- (4) Ministerio de Fomento, 2002. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes - PG3".
- (5) Ministerio de Fomento, 2003. "Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera" (Orden circular 17/2003).
- (6) Adif, 2011. "Pliego General de Prescripciones Técnicas Tipo para los Proyectos de Plataforma (PGP)". Edición Junio 2011.
- (7) Paniagua Serrano, I., 2011. "Tratamiento y consolidación de terraplenes afectados por inclemencias meteorológicas". Jornada técnica sobre experiencias recientes en estructuras de tierra para infraestructuras viarias. Madrid.
- (8) Ministerio de Fomento, 2016. "Instrucción 5.2-IC Drenaje superficial".

Las carreteras en el cómic

Cuatro propuestas de lectura

Santiago Girón
Guionista e ilustrador



Road Comics. Four Reading Proposals

En el cómic, la carretera es mucho más que un escenario. Toda una pléyade de personajes de papel habitan en ella. Para el mercenario, el cazarrecompensas, el héroe ambulante, el fugitivo, el vagabundo, el desterrado o el marginado, la carretera es un hogar y una patria.

El denominador común de estos moradores del asfalto es su carácter de *outsiders*, pues todos ellos viven en el extrarradio de las normas sociales y en la periferia de la moral convencional. Tal vez por eso nos resulten tan atractivos. A nuestros ojos son seres rescatados de las cadenas del proto-

colo, la hipocresía y las buenas maneras. La carretera se convierte así en la metáfora perfecta de la libertad más salvaje.

Entre los muchos títulos que tienen a la carretera como protagonista hemos destacado cuatro por razones absolutamente subjetivas.

El primero es "Dixie Road", de Jean Dufaux y Hugues Labiano. En este "BD Route" se narran las peripecias de una familia de fugitivos que recorre el sur profundo de los EEUU durante los años de la Gran Depresión. Los prejuicios, la pobreza, las revueltas sindicales y la injusticia ram-

Y LUEGO LA CARRETERA... ESA CARRETERA QUE IBA A SER MI ÚNICA AMIGA, MI ÚNICO REFUGIO. ESA CARRETERA QUE CORRÍA HACIA UN MUNDO DE ILUSIONES EN EL QUE CREÍAN MILES DE PERSONAS COMO NOSOTROS. UNA ILUSIÓN ES COMO UNA MANZANA DE ORO QUE SE NIEGA A CAER DEL ÁRBOL, DICE MI MADRE...



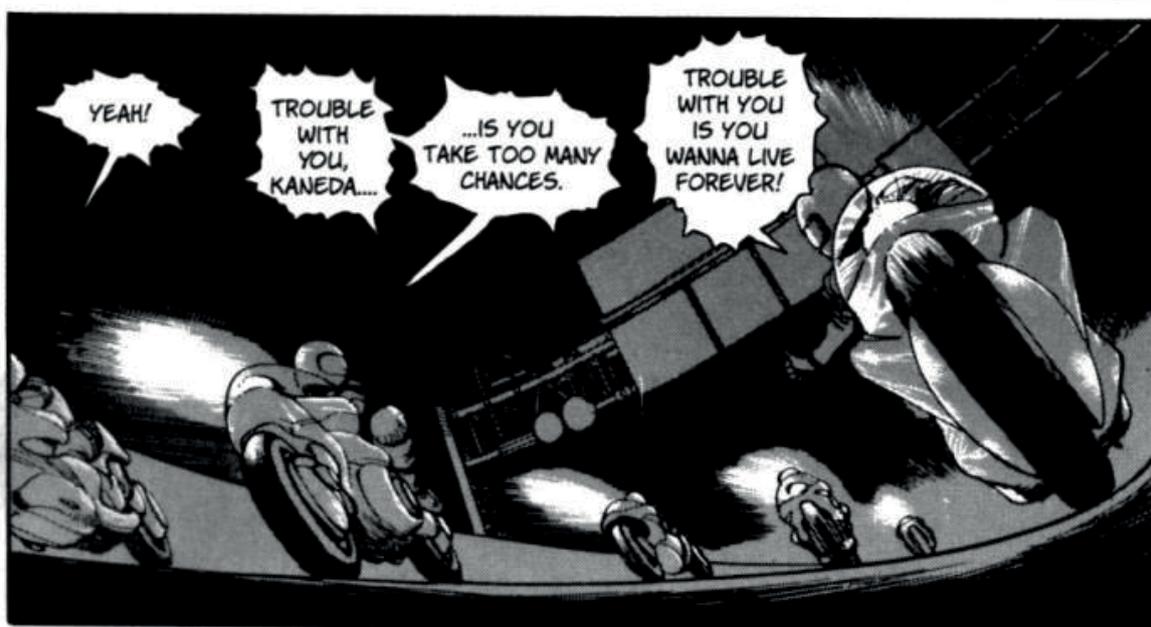


pante dibujan el fresco de un país que arde en los fuegos de la violencia y la locura.

Nuestra segunda propuesta es un clásico del manga: "Akira", de Katsuhiro Otomo. Esta es una historia de ciencia-ficción post-apocalíptica cuyos protagonistas son una banda de moteros adolescentes que recorren a toda velocidad las autopistas abandonadas de una Neo Tokio en plena reconstrucción tras la devastación de la Tercera Guerra Mundial.

"Akira" es el prototipo de distopía futurista que nos muestra la carretera como vestigio de un mundo y una cultura arrasados.

La tercera invitación a la lectura se titula "Gipsy", de Thierry Smolderen y Enrico Marini. Este es otro cómic de ciencia-ficción que nos transporta a un futuro cercano donde el hemisferio norte del planeta se encuentra totalmente cubierto de hielo, mientras el hemisferio sur sufre las terribles consecuencias del gran agujero en la capa de ozono. Todo ello lleva a una severa limitación del tráfico aéreo mundial. En este contexto nace la Circumpolar Tricontinental (C3C), una inmensa autopista que conecta tres continentes: Eurasia, África y América. En la C3C vive nuestro protagonista, Tsagoi, un camionero gitano,





mujeriego y camorrista que se encarga de transportar un cargamento de armas al corazón de Siberia.

Y, por último, os recomendamos un cómic de superhéroes de tono crepuscular: “Lobezno: el viejo Logan”, de Mark Millar y Steve McNiven.

La historia nos traslada cincuenta años en el futuro. EEUU ha caído en manos de unos supervillanos que se lo han repartido por sectores. La mayoría de los antiguos superhéroes ha muerto. Lobezno es ahora un granjero anónimo. Su antiguo amigo, Ojo de Halcón, debe entregar un misterioso paquete para salvar a su familia. Logan acepta acompañarlo a cambio del dinero para saldar una deuda que también amenaza la vida de su mujer y sus hijos. Los viejos superhéroes se embarcan en un viaje que los llevará a cruzar EEUU de costa a costa. En la carretera tendrán que enfrentarse a los peligros nacidos del vientre de un país corrupto hasta la médula, e irán tropezando con los vestigios de un mundo de fantasía consumido por el caos.

Hay muchos más cómics de carretera, y seguro que estos cuatro no serán los mejores. Nuestra intención es animaros a echarles un vistazo. Tal vez encontréis en ellos una perspectiva diferente desde la que observar la carretera.

Cómics citados:

“Dixie Road”, 4 tomos. Autores: Jean Dufaux y Hugues La-biano. Editorial: Norma (en castellano).

“Akira”, 6 tomos. El festival Internacional de Angoulême concedió su Gran Premio 2015 a Katsuhiro Otomo, su creador; únicamente en cinco ocasiones el galardón ha ido a parar a manos de un autor no europeo, y es la primera que lo recibe uno de los grandes nombres del cómic Asiático. Se puede consultar una crítica en : <http://www.laespadaenlatinta.com/2015/06/akira-articulo-katsuhiro-otomomanga.html>. (última consulta 29.01.2017).

“Gipsy”, 6 tomos. Autores: Enrico Marini y Thierry Smolderen. Editorial Norma (en castellano), Dargaud (en francés).

“Lobezno: el viejo Logan”. Autores: Mark Millar y Steve McNiven. Editorial: Panini (en castellano). La serie continua con dos tomos más de distintos dibujantes y escritores, como puede consultarse en: https://en.wikipedia.org/wiki/Old_Man_Logan.

Ilustración de la faja: “Tartessos. La ruta del estaño”. De una serie de dos tomos. Paco Nájera y Santiago Girón. Ed. Almuzara, 2005. La viñeta representa el acceso a Cástulo, situada durante el periodo del Bronce Medio junto al río Guadalimar.



Ayesa comenzó operando en India en una pequeña oficina sita en Gurgaon. Se presentaron varias ofertas a diferentes entidades contratantes, principalmente en el campo de las infraestructuras de carreteras. En febrero del año 2010, en UTE con Louis Berger, se logra el Contrato "Supervisión de las operaciones de Mantenimiento del Puente Sister Nivedita en Kolkata" para la Autoridad Nacional de Autoportistas de India. La longitud total objeto de supervisión es 6,1 km incluyendo el puente principal, los viaductos de acceso de los lados Howrah y Kolkata y la playa de peaje.

El puente es atirantado central, con los cables no anclados en los pilonos (extradorsal) y pasando por unas sillas que anclan el tablero a ambos lados, con una longitud de 880 m. (distribución de vanos 1·55 + 7·110 + 1·55 m) y ancho del tablero 29 m con 3 carriles por sentido.

La sección transversal es un cajón de hormigón prefabricado simple situado sobre pilas octogonales en sección, las cuales, vistas en alzado del puente, tienen sección lineal decreciente con la altura. Al llegar al tablero las esquinas achaflanadas del octógono se pierden convirtiéndose en un rectángulo.

Las cimentaciones son cajones circulares metálicos que, una vez hincados, se rellenan de hormigón y se cierran con una losa superior circular de la que arrancan las pilas.

El alcance de los trabajos incluye: revisión del informe mensual, revisión del informe de cobro del peaje, revisión del informe de accidentes y propuesta de medidas de mejora de la seguridad viaria, revisión del informe de operación y mantenimiento, revisión de la calidad, desarrollo de una rutina de mantenimiento e inspección, realización de un informe sobre el estado del puente (patologías), resolución de consultas legales y financieras, revisión de la gestión del tráfico, apoyo en la realización de reparaciones, realización de auditorías de seguridad y revisión mensual de la cuenta de de-



Figura 3: Foto del Puente Sister Nivedita en la ciudad de Kolkata

pósito en garantía y de los gastos de operación y mantenimiento. Este contrato sigue vigente hoy en día.

A partir del año 2010 se inicia la entrada en el mercado de las infraestructuras ferroviarias y de metro, redactándose Proyectos Constructivos y PMC de túneles, de tramos de tren de alta velocidad y de trabajos arquitectónicos, civiles e instalaciones de tramos de líneas de metro. A partir de este momento se produce el lanza-

miento definitivo de Ayesa como consultora de ingeniería "nacional", lo que le permitió comprender su problemática y disponer los cimientos necesarios para su consolidación como empresa de confianza. Fue necesario combinar el know-how de su historia en temas de infraestructuras diversas con el trabajo y los conocimientos de personal del propio país, que daría como resultado un producto de máxima calidad y altamente competitivo.



Figura 4: Planta general de la Línea 8 Metro Delhi entre Janakpuri (Oeste) y Botanical Garden



Figura 5: Foto de una estación elevada de la Línea 8 Metro de Delhi entre Janakpuri (Oeste) y Botanical Garden



Figura 6: Foto del equipo combinado español-indio que trabajó en el Proyecto Constructivo de la Línea 8 del Metro de Delhi, en la oficina de Gurgaon

Como consecuencia de esto, en abril del año 2012 se abre la filial AYESA INDIA PRIVATE LIMITED.

En marzo del año 2015 se logra otro concurso destacado: "Supervisión de los trabajos de construcción de la vía rápida Agra-Lucknow", la más importante de India, con más de 300 km de longitud, 3 carriles por sentido y estructuras singulares tales como el Ganga Bridge y Yamuna. La fecha de finalización prevista es febrero del año 2021.

Esta infraestructura de nuevo trazado no sólo permitirá una rápida y fácil conexión entre dos ciudades muy importantes (4 horas para llegar

de Agra a Lucknow), sino que también podrá atraer inversores que generen un mayor desarrollo industrial y económico de la región. Atraviesa los distritos de Firozabad, Mainpuri, Etawah, Auraiyya, Kannauj City, Unnao y Hardoi, además de los de origen y destino previamente mencionados. La construcción se ha iniciado simultáneamente en cinco distritos: Lucknow, Unnao, Firozabad, Kunnaij y Agra.

Tal y como se ha expresado con anterioridad, esta vía rápida de tres carriles por sentido (con previsión de ampliación a cuatro en el caso de las estructuras) y 302,2 km de longitud se

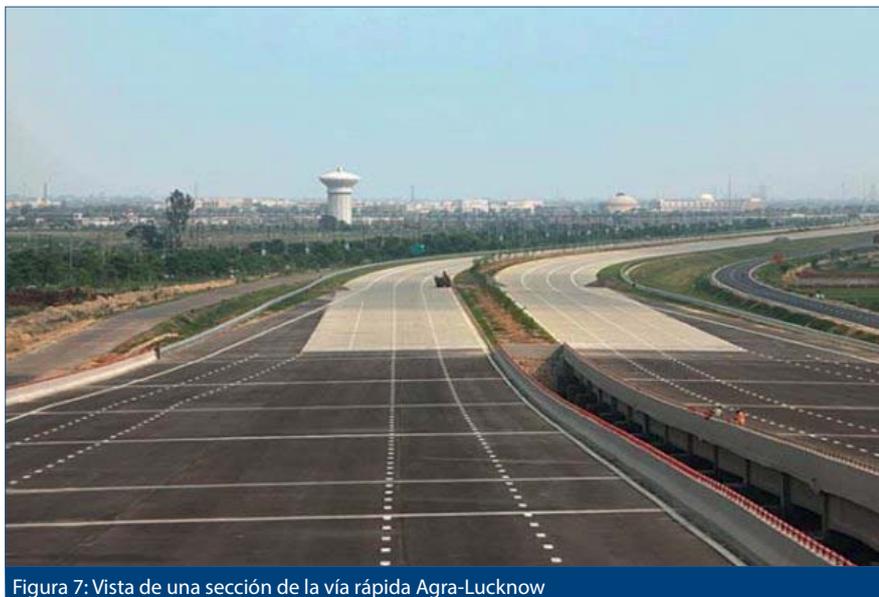


Figura 7: Vista de una sección de la vía rápida Agra-Lucknow

ha dividido en cinco tramos, con las longitudes y empresas constructoras que se indican en la tabla adjunta:

Tramo	Longitud aprox.	Contractor
Agra-Firozabad	56,13 km	PNC Ltd.
Firozabad-Etawah	62 km	Afcons Ltd.
Etawah-Kannauj	57 km	NCC Ltd.
Kannauj-Unnao	91 km	Afcons Ltd.
Unnao-Lucknow	63,1 km	L&T Ltd.

El importe total de la inversión es de 1 131 875 000 euros.

La velocidad de proyecto es 120 km/h. La mayor parte del firme es flexible (en un 97% de su longitud), con algún tramo de firme rígido (3%). El tramo incluye un total de ocho enlaces, trece estructuras singulares, cincuenta y dos viaductos y ciento noventa y cinco pasos inferiores.

El alcance de los trabajos comprende: revisión del informe mensual, control de calidad, revisión del diseño estructural, revisión del diseño del trazado y de los firmes de la vía rápida, Project Management y supervisión de la construcción, gestión de las labores de inspección con su correspondiente informe sobre el estado de los firmes y de las estructuras, apoyo en labores financieras y legales, revisión de la gestión del tráfico y realización de la auditoría de seguridad.

En ese mismo año 2015 Ayesa resulta adjudicataria del contrato "Diseño y Dirección de Obra de la mejora de la carretera de unión de Yelahanka con la frontera" (PK 13+800 al PK 89+417), con una longitud total de 75 km, consistente en una conversión en autovía de una carretera convencional de un carril por sentido.

En el año 2016 Ayesa consiguió varios contratos muy destacados relacionados con infraestructuras de metro en las ciudades de Lucknow y Mumbai. Como resultado se están desarrollando contratos de metro en siete de las ciudades más importantes de India, tal y como se muestra en la Figura 9.

Y esto no ha hecho más que comenzar. Después de casi 8 años



Figura 8: Vista de la carretera convencional de Yelahanka a la frontera objeto de conversión en autopista 2+2

de desembarco en India, Ayesa se ha convertido en una empresa de ingeniería “nacional” con una importante cartera de contratos, un conocimiento exhaustivo de su

idiosincrasia y una gran experiencia en la gestión de recursos humanos indio-españoles que aseguran una oferta competitiva con un producto de calidad. Hay mucha infraestruc-

tura por hacer, y ahí es donde se va a estar. Así somos los españoles y en concreto, así actuamos algunos ANDALUCES por el mundo.



Figura 9: Imagen de la ceremonia de inauguración de Línea 3 de Metro de Mumbai

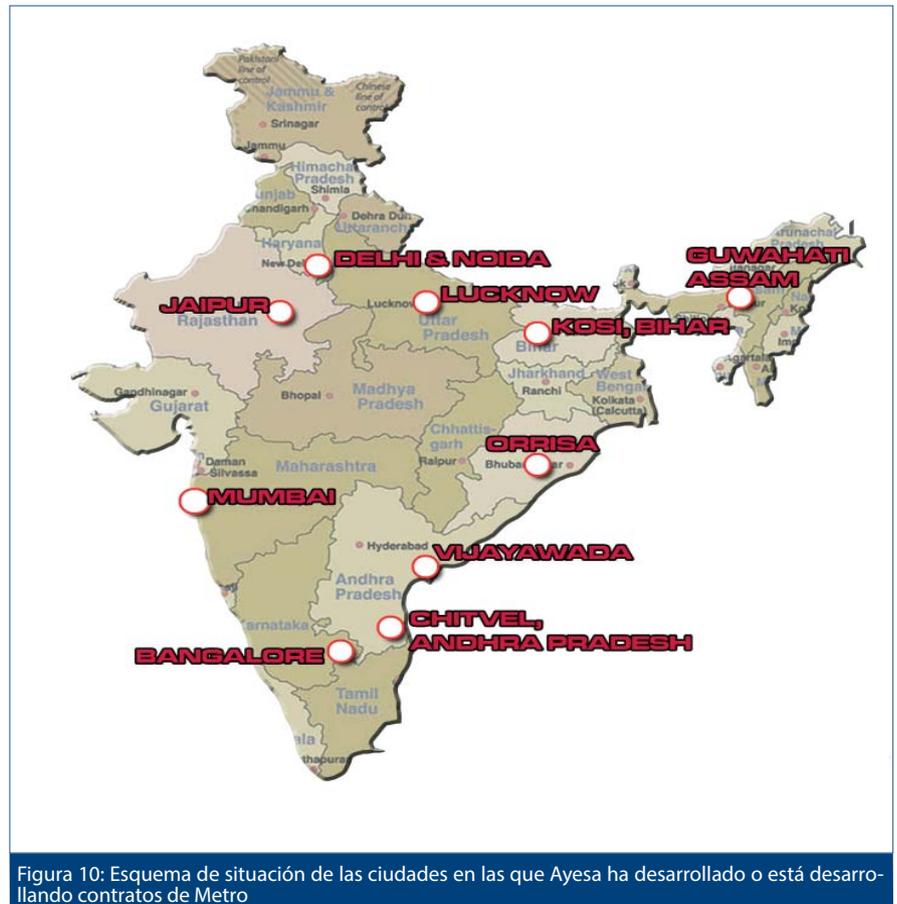


Figura 10: Esquema de situación de las ciudades en las que Ayesa ha desarrollado o está desarrollando contratos de Metro

Seminario “Gestión de Activos Viales para carreteras rurales y de volumen bajo”

Entre los días 24 y 26 de mayo de 2017 se va a desarrollar en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia) el seminario “Gestión de Activos Viales para carreteras rurales y de volumen bajo”, como parte de los programas internacionales organizados por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

En el período 2016-2019, la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC-AIPCR) dentro de su Plan estratégico, tiene el tema estratégico D, el cual tiene como objetivo mejorar la calidad y eficiencia de la infraestructura de caminos a través de la Gestión de Activos, tomando en cuenta las expectativas del usuario, los requisitos gubernamentales y el desarrollo sostenible de la población. Dentro de este tema se encuentra el comité técnico D.1 que es el de “Gestión del Patrimonio Vial” y el comité técnico D.4, “Caminos Rurales y Obras de Tierra”.

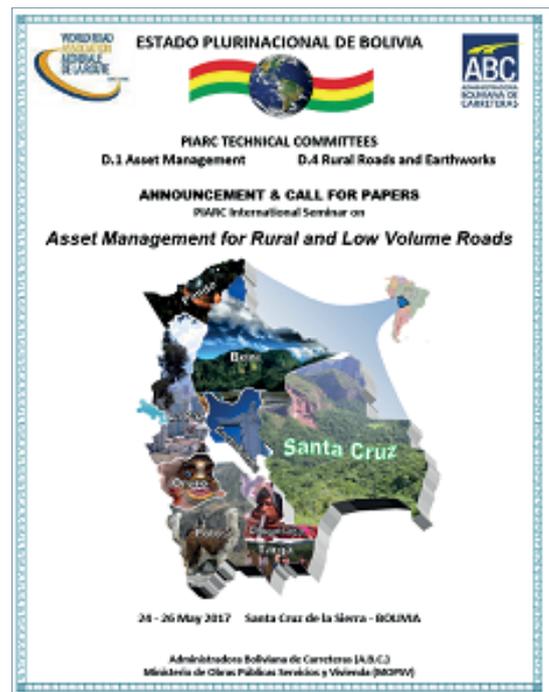
Evaluar el presupuesto necesario para proporcionar mantenimiento óptimo a la infraestructura de caminos y balancear entre las necesidades y las limitaciones presupuestarias es un factor importante en el trabajo de los administradores. Esto se refleja en el trabajo del comité técnico D.1. Gestión del Patrimonio Vial. En el campo de Carreteras Rurales y Obras de Terracería, el comité D.4 investiga la respuesta de esta infraestructura a condiciones adversas como resultado del cambio climático. Para esto, toma en cuenta el uso de materiales locales, marginales, y materiales secundarios en la construcción de caminos pavimentados y rurales.

Dentro del programa de trabajo de los comités técnicos D.1 y D.4 para el período 2016-2019, los lineamientos en cuanto a tópicos serán los siguientes:

- D.1 Gestión del Patrimonio Vial
- D.1.1 Manual de Gestión del Patrimonio Vial

Para más información:

<https://www.piarc.org/ressources/documents/ACTAS-SEMINARIOS-INTERNACIONALES/25851,Seminario-Internacional-D1-D4-Gesti-n-de-patrimonio-de-las-carreteras-rurales-y-de-bajo-volumen-de-tr-fico-Mayo-2017-Bolivia.pdf>



- D.1.2 Difusión y Educación
- D.1.3 Enfoques innovadores a la Gestión del Patrimonio Vial.

D.4 Carreteras Rurales y Obras de Terracería

- D.4.1 Exposición de los caminos al cambio climático
- D.4.2 Materiales locales, prácticas y técnicas
- D.4.3 Gestión de obras de terracería

El principal objetivo del seminario es intercambiar experiencias y transferir tecnología sobre la gestión del patrimonio vial y carreteras rurales. El comité identificará áreas para investigación y abordará los temas en los que se tengan falta de conocimiento a través de la presentación de estudios de caso y estado del arte.

El Comité Técnico A.1 “Funcionamiento de las administraciones de transporte” de la Asociación Mundial de Carreteras Reunión celebrada en Madrid

José Manuel Blanco Segarra

*Presidente del CT A.1 de la AMC – AIPCR/PIARC
Ingeniero Jefe de la Demarcación de
Carreteras del Estado en Extremadura*

El Comité Técnico A.1 “Funcionamiento de las Administraciones de Transporte” de la Asociación Mundial de la Carretera (AMC) - también conocida como AIPCR/PIARC - ha mantenido en Madrid (España), durante los días 14 a 17 de noviembre de 2016, su segunda reunión del ciclo 2016-2019, el cual se culminará en el Congreso Mundial de AMC a celebrar en 2019 en Abu Dabi (Emiratos Árabes Unidos). La reunión del CT A.1 se ha celebrado con la colaboración del Ministerio de Fomento y de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC – AIPCR/PIARC) y en la misma se ha incluido una presentación de Transparencia Internacional – España y se ha visitado el CITRAM (Centro de Gestión del Transporte Público) del CRTM (Consortio Regional de Transportes de Madrid) y el intercambiador multimodal de la Estación de Príncipe Pío.

El Comité CT A.1 de la AMC se ocupa del funcionamiento – rendimiento - tanto de los organismos monomodales de carreteras como también

de aquellos otros multimodales que integren el modo carreteras, de ahí que se emplee en su título el término “Transporte”.

Presentación general del CT A.1 en el marco del Plan Estratégico de la AMC y de su Tema Estratégico TE A “Gestión y Finanzas”

Antes de pasar a exponer lo tratado en dicha segunda reunión del CT A.1, tal vez convenga una previa presentación general:

El Plan Estratégico de la AMC que rige el ciclo 2016-2019 contempla, como primero de sus cinco grandes “Temas Estratégicos” (TE), el TE A relativo a “Gestión y Finanzas” que es continuación del TE 1 “Gestión y Funcionamiento” del anterior ciclo 2011-2015. Su objetivo es fomentar el desarrollo de políticas y estrategias que redunden en administraciones de carreteras que tengan buen funcionamiento – su rendimiento -, lo

midan, e incorporen mecanismos innovadores de financiación, todo ello para satisfacer las necesidades, siempre cambiantes, de la amplia comunidad del transporte por carretera.

Para el desarrollo del mencionado TE A “Gestión y Finanzas” se han establecido los siguientes tres Comités Técnicos: **CT A.1 “Funcionamiento de las Administraciones de Transporte”**, **CT A.2 “Desarrollo Económico Social del Sistema de Transporte por Carretera”**, y el **CT A.3 “Gestión de Riesgos”**; asimismo se han establecido dos Grupos de Estudio específicos: el **GT A.1 “Financiación innovadora”** y el **GT A.2 “Coordinación entre las Autoridades Nacionales y Subnacionales”**.

La creación del CT A.1 “Funcionamiento de las Administraciones de Transporte” refleja la creciente necesidad - en el actual marco global de limitaciones de financiación y de gran competencia entre los sectores económicos por lograr los recursos de financiación - de que las adminis-



traciones de carreteras establezcan y desarrollen prácticas y herramientas para medir su propio rendimiento y que, al mismo tiempo, sirvan de apoyo a la obtención de la necesaria financiación y a la fundamental previa toma de decisiones políticas en apoyo de la carretera. Ello es cada vez más importante pues, a las mencionadas limitaciones de financiación, se añaden el creciente escrutinio por la sociedad en general, los medios de comunicación y las redes sociales, así como la también creciente influencia de las diferentes partes interesadas en la carretera.

Sirva todo lo anterior para subrayar la importancia mundial de ir avanzando, en el sector de las carreteras, en todo cuanto se refiere a las materias objeto del CT A.1, es decir: en su buen gobierno – su gobernanza – ; el lograr un buen funcionamiento, y que éste se mida y se dé a conocer; en atender proactivamente las necesidades de los usuarios, clientes y partes interesadas en general, de la carretera; y en establecer y fomentar medidas eficaces de lucha contra la corrupción y de fomento de la cultura y valores de la transparencia y la responsabilidad. Cuanto se avance por esta vía en mejorar la “visión” de las administraciones de carre-

teras y de cómo éstas cumplen su “misión”, y puede ser comprobado, y que lo hacen con integridad institucional, transparencia y responsabilidad, servirá para apoyar las decisiones políticas que a su vez apoyen a las carreteras.

Para ello, el propósito del CT A.1 es: recabar y analizar información internacional acerca del “estado del arte” en países en distintos niveles de desarrollo y con diferentes organizaciones; ofrecer ejemplos de buenas prácticas de gobernanza y de gestión del funcionamiento y de métodos de evaluación; revisar las últimas tendencia de cambios que, a nivel internacional se están produciendo; y, por supuesto, difundir el conocimiento adquirido pues no es otra la causa primera y la finalidad de la Asociación.

En este esfuerzo por difundir el conocimiento, durante este ciclo se quiere incrementar el uso del español, prueba de ello es que los informes técnicos de los tres Grupos de Trabajo del anterior Comité 1.1 han sido traducidos al español por quien suscribe, con la colaboración del Coordinador de Tema, Alberto BULL y están ahora disponibles en la página web de la AMC. <https://www.piar.org/es/Biblioteca-Virtual/informes-tecnicos/>.

Dichos informes se titulan:

- Guía de buenas prácticas para marcos del funcionamiento
- Buena gobernanza y medidas anticorrupción
- Evolución de la estructura y funciones de las administraciones de transporte

Misión y organización del CT A.1

Entrando un poco más en el detalle de la misión encomendada al CT A.1, reflejada en los “términos de referencia” o mandato que se le ha impartido, se distinguen los siguientes tres grandes campos de trabajo (denominados “Cuestiones” por el Plan Estratégico):

- **Cuestión A.1.1: Marco para medir la eficacia y la eficiencia de las administraciones de carreteras:** su estrategia consiste en definir conceptos y medidas empleadas para establecer un enfoque estratégico con el fin de lograr los objetivos de funcionamiento. Se incluye aquí el uso de la información para la toma de decisiones políticas y la realización de inversiones.
- **Cuestión A.1.2: Evaluación de la transformación de las administraciones de carreteras:** su estra-

tegia consiste en revisar los principales cambios que, en el nivel internacional, se aprecian en las administraciones de carreteras, entre los que se incluyen la gestión de sistemas multimodales de transporte, y “el enfoque basado en el usuario/cliente”, y analizar los beneficios y desafíos relacionados con su aplicación.

- **Cuestión A.1.3: Buen gobierno y medidas anticorrupción y de respuesta:** Su estrategia es continuar la labor desarrollada durante los dos ciclos pasados e investigar acerca de la aplicación de medidas anticorrupción y de respuesta así como el fomento de la cultura y los valores de transparencia y la responsabilidad.

La labor de los CT y Grupos de Estudio del TE A es objeto de supervisión por el Consejero Técnico Woo Chul KIM (Corea del Sur) y el Coordinador del Tema Estratégico es Alberto BULL SIMPFENDORFER (Chile).

La Presidencia del CT A.1 está encomendada a José Manuel BLANCO SEGARRA (España) con el apoyo de los Secretarios de lengua inglesa: Christos XENOPHONTOS (EE.UU.), lengua francesa: Michel DÉMARRE (Francia), y española: Enrique BARRERA GAJARDO (Chile), así como del administrador del sitio web: Andreas FROMM (Austria).

El total de miembros, incluyendo los corresponsales, en la actualidad es de 45, representando a un total de 30 países de los cinco continentes, entre los que se incluye un representante, Tariq AL-FALAH, del país que será el anfitrión del Congreso de la AMC en 2019. Todos los miembros son destacados profesionales en sus respectivos países y se les ha invitado a formar parte de uno o dos Grupos de Trabajo del Comité y muchos de ellos formaron parte del anterior CT 1.1 “Funcionamiento de las Administraciones de Transporte” del pasado ciclo 2011-2015, que estuvo presidido por Brendan NUGENT (Nueva Gales del Sur, Australia).

En la reunión de lanzamiento del CT A.1, celebrada en París los días 17 y 18 de febrero de 2016, tras una previa reunión el día 16 de la totalidad de los Comités integrados en el TE A “Gestión y Finanzas”, se decidió la creación de tres Grupos de Trabajo, cada uno de los cuales atenderá su respectiva “Cuestión”.

Así, el GT nº1 está dirigido por Ilaria COPPA (Italia) y Francine SHAW-WHITSON (EE.UU.), el GT nº2 por Jonathan SPEAR (Reino Unido) y Alexander WALCHER (Austria) y el GT nº3 por Michel DÉMARRE (Francia) y Logashri SEWNARAIN (Sudáfrica).

Otro de los acuerdos adoptados por el CT A.1, y que está resultando muy exitoso, ha sido el fomento de las reuniones de los GT mediante videoconferencias lo que ayuda en alto grado al intercambio de información y opiniones y una rápida toma de decisiones además de colaborar en la formación de espíritu de equipo.

La 2ª reunión del CT A.1, celebrada en Madrid

La segunda reunión del GT A.1 se ha celebrado en Madrid, concretamente en el Palacio de Zurbano, histórico edificio que es propiedad del Ministerio de Fomento.

La reunión del plenario del Comité fue precedida por la reunión, el lunes 15, del “grupo de dirección” compuesto por el Presidente, los Secretarios y los líderes de los Grupos de Trabajo, en la cual participó el mencionado Consejero Técnico de la AMC, Woo Chul KIM. Los asistentes fueron recibidos por María del Carmen PICÓN CABRERA (Dirección General de Carreteras, y miembro del Comité Ejecutivo de la AMC) quien les dio la bienvenida en representación del Ministerio de Fomento.

Durante la reunión, entre otros asuntos, se hizo un primer estudio acerca de posibles Seminarios y reuniones a celebrar a lo largo del ciclo, documentos a elaborar, necesidad de elaboración de encuestas interna-

cionales y recabar Estudios de caso concretos, y elaborar las ediciones de todos los documentos en inglés, francés y español. Se repasaron las diferentes actividades realizadas desde la pasada reunión, lo adecuado de las videoconferencias y la posible colaboración con el CT A.3 “Gestión de Riesgos”.

El plenario del Comité se celebró en sesión continua de mañana y tarde a lo largo del martes 16 y miércoles 17, celebrándose los almuerzos de trabajo en uno de los salones del Palacio. Asistieron un total de 16 miembros representando a 12 países, entre ellos dos representantes de China, país en el que hace poco se ha previsto que se celebre, en el primer semestre de 2018, el primero de los Seminarios a organizar por el Comité.

Durante la jornada del martes 16, Manuel NIÑO GONZÁLEZ, Secretario General de Infraestructuras (Ministerio de Fomento) tras saludar a los asistentes y desearles una fructífera reunión y agradable estancia, hizo una presentación acerca del “Funcionamiento de la Administración de la Infraestructura y el Transporte en España”, en la que expuso una sinopsis acerca de las principales magnitudes de las infraestructuras del transporte en España, estadísticas y acerca de la misión, visión y organización de ello, evolución de las inversiones y la planificación existente y sus objetivos. Fue seguida por la presentación que hizo María del Carmen PICÓN acerca de la Dirección General de Carreteras. en la que expuso las grandes magnitudes referentes a carreteras, los criterios de priorización, las principales áreas de inversión y los logros obtenidos en los últimos años tanto en lo referente a crecimiento y mejora de la infraestructura, la evolución de la seguridad viaria y la mejora de la eficiencia y de la transparencia.

Posteriormente, los miembros del CT A.1 visitaron las cercanas oficinas de la ATC donde fueron recibidos por Jesús SANTAMARÍA ARIAS (Director Técnico de la DGC), quien les dio la



bienvenida, y por Alberto BARDESI ORÚE-ECHEVARRÍA (Director Técnico de la ATC-AIPCR/PIARC) y Óscar GUTIÉRREZ-BOLÍVAR (Coordinador de los Comités de la ATC y Coordinador del TE D “Infraestructuras”) quienes presentaron, respectivamente, la organización y tarea de la ATC por un lado, y la organización y funcionamiento de los Comités Técnicos nacionales en España, por otro y respondieron a las preguntas de los asistentes.

De regreso en el Palacio de Zurbarano, los miembros del CT A.1 trataron acerca de diferentes asuntos tales como el próximo ITF (International Transport Forum) en Leipzig (Alemania) dedicado a la “Gobernanza del Transporte”, la comunicación recibida del Coordinador del TE A, la coordinación entre los tres GT, a lo que siguió la presentación realizada por Michel DÉMARRE acerca del IISS (International Infrastructure Support System) y un debate sobre tal sistema y la posibilidad de participar en su chequeo de funcionamiento.

Tras presentarse y revisarse conjuntamente los programas de trabajo, campo de estudio, metodología y labores realizadas por cada uno de los tres Grupos de Trabajo, se perfilaron varios aspectos y conceptos y se acordó que en encuestas de los GT nº1 y nº2 se incluyan preguntas relativas a las complicadas materias del GT nº3. Asimismo se trató acerca de los documentos a ela-

borar y de la publicación de artículos en la revista ROUTES/ROADS.

A este último respecto es de señalar que, a la fecha de redacción de este artículo, está previsto que en el número correspondiente al primer trimestre de 2017 se publique en ROUTES/ROADS un artículo acerca del compendio de Estudios de caso estudiados por el GT nº1 “Evolución de las estructuras y misiones de las administraciones de carreteras”, del anterior CT 1.1, relativos a estructuras de gobernanza multimodal de diferentes organismos (monomodales, de coordinación de modos, o integrados).

Cada uno de los tres Grupos de Trabajo pasó a desarrollar, por separado, su respectivo programa de trabajo para los cuatro años del ciclo. La jornada fue rematada por una cena, patrocinada por la ATC, en la que en ambiente distendido continuó tratándose materias del Comité e intercambiándose opiniones y experiencias, y la labor continuó al día siguiente, avanzando los GT en la elaboración de los Cuestionarios de posibles encuestas a realizar y tratando acerca de la posible colaboración con el CT A.3.

Reunido nuevamente el plenario del Grupo, se repasó la labor realizada; cada uno de los GT presentó el desarrollo de su plan de trabajo y previsiones; y se debatió acerca de las futuras reuniones y Seminarios.

Al final de la jornada del miércoles, David MARTÍNEZ GARCÍA, miembro de Transparencia Internacional-España hizo una presentación acerca de “Prevención, Detección y Lucha contra la Corrupción en el Sector de la Construcción de Carreteras” a la que siguió un debate sobre la materia.

Finalmente, el jueves 17 se realizó una visita técnica, previamente seleccionada por los miembros del CT A.1 entre diversas opciones, al CITRAM (Centro de Gestión del Transporte Público) del CRTM (Consortio Regional de Transportes de Madrid) donde fueron recibidos por Javier SASIAMBARRERA. Tras una presentación acerca de la Integración del Sistema de Transporte Público en la región de Madrid y del funcionamiento del CITRAM y de atenderse a las numerosas preguntas de los miembros del CT A.1, se visitó la instalación multimodal consistente en el intercambiador de la Estación de Príncipe Pío, que les fue explicada por Ramón SOUBRIER, y que suscitó un gran interés.

Como terminación de su estancia en España, los miembros del Comité visitaron El Escorial, donde fueron transportados mediante un autobús puesto a disposición por el Ministerio de Fomento y antes de despedirse todos se emplazaron para las próximas videoconferencias y para la próxima reunión del plenario del CT A.1 a celebrar en Providence (Rhode Island, EE.UU.) del 3 al 6 de Abril de 2017. ❖

Herramienta de detección precoz de anomalías en estaciones de toma de datos de tráfico

Jaime Antona Andrés
Ingeniero Civil
Ganador del IV Premio de la ATC
para jóvenes profesionales

1. Introducción

Con el presente trabajo, se pretende mostrar el desarrollo de una herramienta que permite detectar la presencia de datos anómalos conseguidos a través de una cierta espira o grupo de espiras.

Tradicionalmente el trabajo de mantenimiento sobre una estación de medida de tráfico se desarrolla de dos maneras diferentes:

- Acciones preventivas. Consisten en revisar periódicamente una estación de datos. En dicha revisión principalmente se comprueba que cada vez que un vehículo pasa sobre la espira éste es detectado por el sistema. No se comprueba normalmente la fidelidad de medidas de velocidad y ocupación.
- Acciones correctivas. Son aquellas que se producen cuando, una vez que se extraen los datos de la Estación, se comprueba que hay datos erróneos, principalmente porque sean inexistentes. En estos es necesaria la renovación de alguno o algunos componentes de la Estación.

Con la finalidad de optimizar el tiempo, los recursos y la mejora de calidad de los resultados, se ha creado la Herramienta de Detección Precoz de Anomalías en Estaciones de Toma de

Datos, basada en el estudio de datos históricos disponibles de cada espira y su modelización, que nos van a permitir saber si los valores que nos facilita cada estación de medida entran dentro de lo que se podría considerar lógico, en comparación con los datos registrados a lo largo del funcionamiento de la estación.

Esta herramienta entra a formar parte de un enfoque de *mantenimiento predictivo*, en el que existe un algoritmo que se ejecuta con la periodicidad deseada analizando si los datos que la Estación está suministrando son coherentes o no.

De esta manera puede prescindirse de la mayoría de las acciones de mantenimiento preventivo, pues no hay necesidad de ir a comprobar un sistema si de antemano sabemos que los datos que suministra son correctos.

Esta herramienta permite centrarnos exclusivamente en las espiras con datos anómalos y estudiar las posibles causas que lo provocan (obras realizadas en el tramo, trabajos en vías próximas que causen desvíos del tráfico, averías en la estación, problemas de comunicación con la espira, accidentes...), poniendo en conocimiento de los equipos de mantenimiento, en caso necesario, la necesidad de supervisión o reparación. El hecho de que en el contrato de mantenimiento de la M-30

existan 367 puntos de medida de tipo lazo inductivo hace que la herramienta cobre importancia en la optimización de los recursos a la hora de planificar las acciones preventivas y correctivas.

Por otro lado, se tiene la certeza de que los datos que se ajusten a lo indicado por el modelo obtenido con los registros históricos son correctos, y a su vez van a pasar a engrosar la base histórica.

Como se verá al final del desarrollo de la Herramienta de Detección de Anomalías en Estaciones de Toma de Datos, ésta se puede aplicar a cualquier tipo de carretera, incluso antes de la puesta en funcionamiento de la vía, puesto que se pueden considerar parámetros de secciones parecidas ya contrastadas, permitiendo poder estimar el funcionamiento de los parámetros de tráfico antes y después de su apertura al mismo, facilitando la toma de decisiones.

A continuación se expone de manera sucinta y resumida la descripción conceptual del modelo matemático que sirve para contrastar los datos suministrados por la ETD.

2. Parámetros básicos

En primer lugar, se procede a exponer la definición de los parámetros básicos de tráfico:

- Intensidad (I): nº de vehículos en un período de tiempo (veh/h, veh/día (IMD))
- Velocidad (V): espacio recorrido en un período de tiempo (km/h)
- Densidad (D): nº de vehículos en un tramo de carretera (veh/km)

La Densidad es suministrada por la Estación de Toma de Datos (ETD) mediante el valor de Ocupación Temporal (Ot): porcentaje de tiempo que un Punto de Medida está ocupado por una masa metálica.

La Densidad se encuentra relacionada con la ocupación temporal mediante la siguiente relación:

$$D = \frac{10 * Ot}{L + l}$$

D (veh/km) = Densidad (en un carril)

L (m) = Longitud media de los vehículos que pasan por la sección.

l (m) = Dimensión de la espira en sentido del tráfico

3. Desarrollo teórico

Para la exposición gráfica se van a utilizar los datos reales cada 5 minutos en el período del mes de febrero de 2016 de un Punto de Medida en la M-30, con código PM10561, ubicada en superficie. Los resultados del modelo han sido realizados con los datos de los años 2009 y 2010. El período utilizado no es importante, aunque sí lo es la cantidad de datos utilizados.

3.1 Datos de Puntos de Medida

En las siguientes gráficas se muestran la relación intensidad/ocupación y velocidad/ocupación, para la espira PM10561 de tres carriles.

En las anteriores gráficas, se muestran representados todos los datos facilitados para la espira PM10561 a través de una dispersión, lo que permite observar entre qué valores se va a mover la *intensidad máxima* y la *velocidad crítica*, así como el valor de la ocupación crítica.

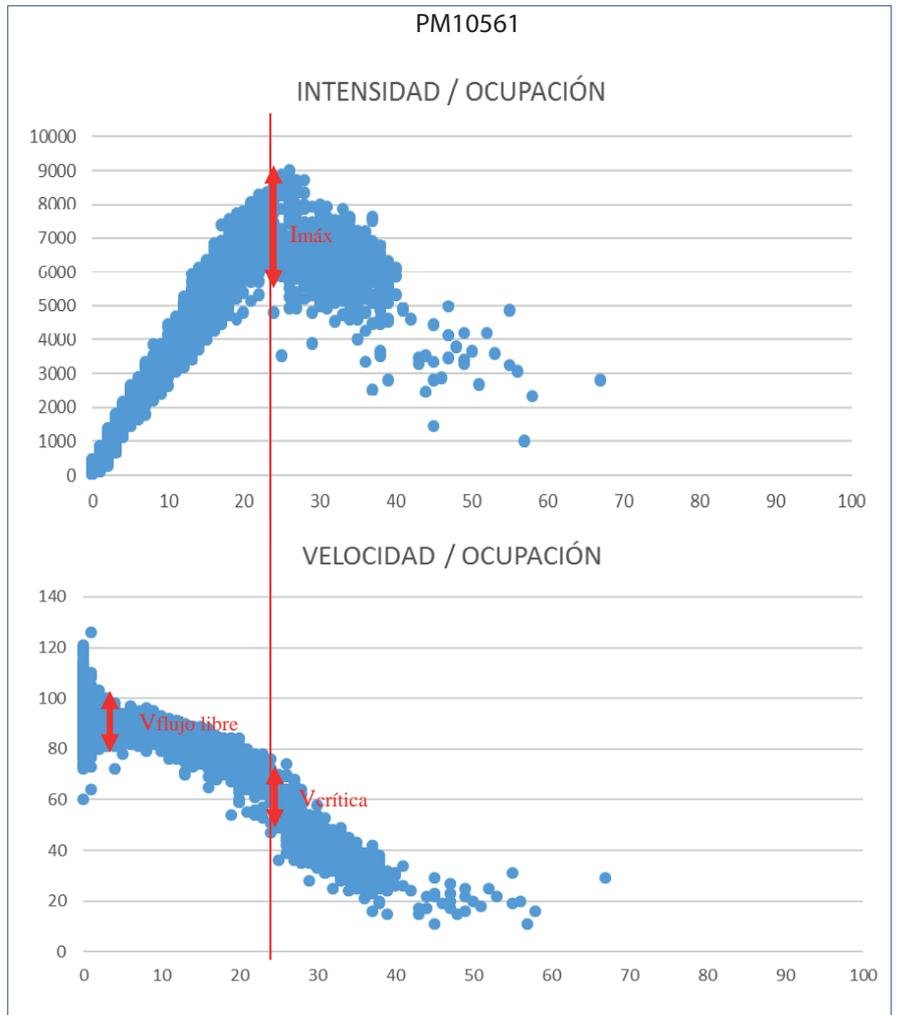


Gráfico 1. Dispersión Intensidad/Ocupación y Velocidad/Ocupación para PM10561

Tabla 1. Valores gráficas dispersión Intensidad/Ocupación y Velocidad/Ocupación				
	Ot crítica (%)	I máx (veh/h)	V crítica (km/h)	V flujo libre (km/h)
PM10561	≈ 22	5500-9000	50-70	70-100

3.2 Curva de ajuste

Como se aprecia en los anteriores gráficos, los valores se encuentran en unas horquillas más o menos amplias, por lo que se van a realizar unas curvas de ajuste teniendo en cuenta las medias aritméticas de las velocidades registradas para cada valor de ocupación, sabiendo de esta forma los datos con mayor peso para cada ocupación, puesto que se puede estar viendo algún valor máximo o mínimo que no sea representativo.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas de la anterior tabla para la espira PM10561, así como

observaciones que se pueden realizar de las mismas.

Analizando los gráficos se obtiene que la *Intensidad Máxima* ($I_{máx}$) de la vía es de 7000 veh/h, lo que indica la *capacidad* de la misma, que se alcanzará con una *Ocupación Temporal* (O_t) de entorno al 22%, que sería la *Ocupación Temporal Crítica* (O_{crit}). Al mismo tiempo para esta *Ocupación Crítica* tendremos una *Velocidad Crítica* (V_{crit}) de aproximadamente 60 km/h.

Por otro lado, el tráfico se encontrará en flujo libre para *Ocupaciones Temporales* inferiores al 3% (O_{libre}), con una *Intensidad en flujo Libre* (I_{libre}) por debajo de 500 veh/h, y una *Velocidad*

Tabla 2. Valores promedio de Intensidad y Velocidad para cada Ocupación

			PM10561					
Ocupación	Promedio de INTENSIDAD	Promedio de VELOCIDAD	Ocupación	Promedio de INTENSIDAD	Promedio de VELOCIDAD	Ocupación	Promedio de INTENSIDAD	Promedio de VELOCIDAD
0	206	92	20	6795	75	40	5850	30
1	460	91	21	7146	74	41	4890	30
2	865	90	22	7093	70	42	4620	24
3	1286	90	23	7471	69	43	3390	16
4	1668	89	24	7294	66	44	3000	20
5	1971	89	25	7014	60	45	3015	21
6	2281	89	26	6921	55	46	2880	19
7	2484	89	27	6937	53	47	4185	22
8	2846	89	28	6490	47	48	3780	15
9	3193	88	29	6283	44	49	3640	21
10	3525	87	30	6347	43	50	3660	20
11	3899	86	31	6290	41	51	2700	18
12	4220	85	32	6382	40	52	4200	25
13	4543	84	33	6401	39	53	3600	22
14	4892	84	34	6441	38	55	4050	25
15	5244	83	35	6173	35	56	3060	20
16	5597	82	36	6039	33	57	1020	11
17	5929	81	37	5898	32	58	2340	16
18	6231	79	38	5601	30	67	2820	29
19	6578	78	39	5242	27			

media en Flujo Libre (V_{libre}) alrededor de los 85 km/h.

Para ocupaciones entre el 12% y la *Ocupación Crítica*, se está en una situación de tráfico condicionado (intensidades entre 3000 y 7000 veh/h y velocidades promedio entre 60 y 80 km/h). Una vez superada la *Ocupación Crítica* el tráfico se encontrará en situación inestable, es decir, cualquier variación pequeña de la densidad de tráfico puede suponer variaciones importantes de los valores de la intensidad y la velocidad, siempre a la baja. Es decir, se puede pasar de un nivel de servicio de tráfico condicionado a situaciones de *stops and goes* (retenciones) e incluso congestión.

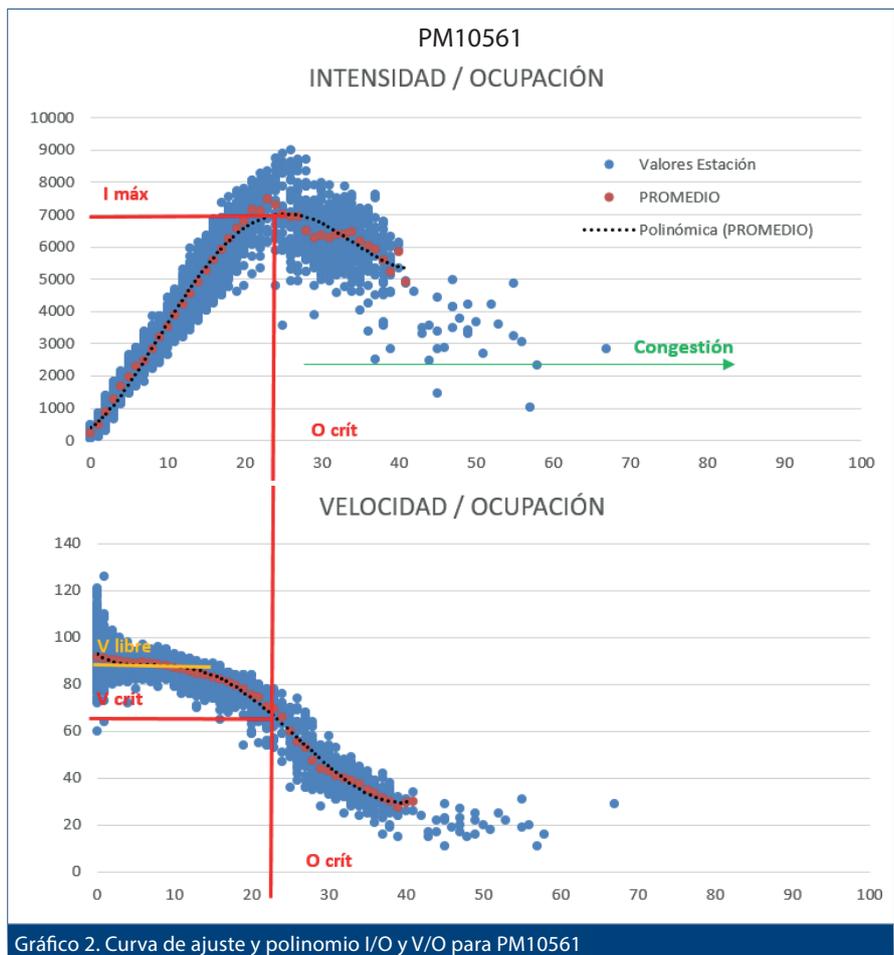
A continuación se efectúan una serie de comentarios obtenidos a partir de los gráficos anteriores:

- Para un mismo valor de intensidad se puede estar en nivel de servicio de flujo libre o en congestión, por lo que siempre es necesario tener en cuenta el valor de ocupación para saber en cuál de los casos nos encontramos.
- En caso de tener una ocupación del 0% el valor de la intensidad también será cero.
- La ocupación ha de ser mayor o igual a cero. En caso de tener una

ocupación del 0% el valor de la intensidad también será cero.

- Cuando aumenta la ocupación baja la velocidad

- Se puede decir que en un primer tramo de ocupación la velocidad es casi constante y en el mismo tramo la intensidad es proporcio-



nal a la ocupación. Esta velocidad será la velocidad media en flujo libre (que será diferente para cada tramo de carretera).

3.3 Modelización del tráfico

El objetivo de la modelización de los parámetros del tráfico es conseguir aquellas relaciones (funciones) de dichos parámetros de tal forma que conociendo uno de ellos (en este caso utilizaremos la ocupación como variable independiente) conozcamos el valor de los otros dos. Además, los parámetros que aparezcan en el modelo sería de desear que tuvieran un significado físico, que no sea una simple fórmula matemática. Además, en todo momento se ha de cumplir la *Ecuación Fundamental del Tráfico*, en la que el flujo (veh/hora) ha de ser el producto de la velocidad (Km/hora) y la Densidad (veh/Km).

La base del modelo que se está presentando aquí es la siguiente hipótesis: **“La variación de los valores de la velocidad en el entorno de unos valores de densidad ha de ser proporcional,**

y en sentido contrario, a los valores del flujo en ese entorno de densidad”.

Es decir:

$$\frac{\partial v}{\partial D} = - F * I(D)$$

¿Por qué nos atrevemos a hacer esta afirmación?. Pues con una simple observación en la representación de los datos, como se explica a continuación.

Si hacemos una tabla en la que se han calculado, sobre los valores medios, los incrementos de velocidad para cada unidad de incremento en la ocupación:

La forma que tiene el gráfico que relaciona los incrementos de velocidad con las variaciones en la ocupación es la siguiente (afectada de un múltiplo cualquiera para que la escala permita una mejor visualización).

Observando este gráfico, se aprecia un gran parecido al gráfico obtenido anteriormente de intensidad/ocupación, lo único que se encuentra simétrico respecto al eje de ocupación y multiplicado por un coeficiente.

A continuación, se muestra la gráfica obtenida de hacer $- F * (\Delta v_i - \Delta v_{i-1})$ y la de intensidad/ocupación:

Al ver que las gráficas obtenidas son semejantes es lo que nos lleva a concluir:

$$\frac{\partial v}{\partial D} = - F * I(D)$$

Y teniendo en cuenta la Ecuación Fundamental del Tráfico

$$I = v * D$$

Se obtiene:

$$\frac{\partial v}{\partial D} = - F * v * D$$

Resolviendo la ecuación diferencial:

$$v = A * e^{-\left(\frac{D}{B}\right)^2}$$

Donde A y B son constantes. Para saber si tienen algún significado físico hacemos un análisis de la función, mediante la obtención de máximos y mínimos relativos, concavidades, puntos de inflexión, etc. Como este análisis no es objeto del presente documento y ocuparía bastante espacio sólo exponemos algunas conclusiones.

Cuando la Densidad tiende a ser cero (pocos vehículos en la carretera), la velocidad tiende a ser el valor de A.

Ocupación	Velocidad	$\Delta v = v_{i+1} - v_i$	$\Delta v_i - \Delta v(i-1)$	$F \times (\Delta v_i - \Delta v(i-1))$	Ocupación	Velocidad	$\Delta v = v_{i+1} - v_i$	$\Delta v_i - \Delta v(i-1)$	$F \times (\Delta v_i - \Delta v(i-1))$
0	88,82	0,63	-	-	24	62,63	-2,54	-3,18	-7308,89
1	89,45	0,51	-0,13	-291,55	25	60,09	-2,58	-3,21	-7381,91
2	89,96	0,37	-0,27	-610,39	26	57,51	-2,59	-3,23	-7425,58
3	90,33	0,22	-0,41	-951,94	27	54,92	-2,60	-3,23	-7439,95
4	90,55	0,06	-0,57	-1311,81	28	52,32	-2,59	-3,23	-7425,29
5	90,61	-0,10	-0,73	-1685,80	29	49,72	-2,58	-3,21	-7382,02
6	90,51	-0,27	-0,90	-2069,91	30	47,15	-2,54	-3,18	-7310,79
7	90,25	-0,44	-1,07	-2460,34	31	44,60	-2,50	-3,14	-7212,42
8	89,81	-0,61	-1,24	-2853,46	32	42,10	-2,45	-3,08	-7087,94
9	89,21	-0,78	-1,41	-3245,86	33	39,65	-2,38	-3,02	-6938,55
10	88,43	-0,95	-1,58	-3634,31	34	37,27	-2,31	-2,94	-6765,67
11	87,48	-1,11	-1,75	-4015,77	35	34,96	-2,22	-2,86	-6570,89
12	86,37	-1,27	-1,91	-4387,39	36	32,74	-2,13	-2,76	-6356,02
13	85,10	-1,43	-2,06	-4746,54	37	30,61	-2,03	-2,66	-6123,03
14	83,67	-1,58	-2,21	-5090,74	38	28,58	-1,92	-2,55	-5874,11
15	82,09	-1,72	-2,36	-5417,74	39	26,66	-1,81	-2,44	-5611,63
16	80,37	-1,86	-2,49	-5725,47	40	24,85	-1,69	-2,32	-5338,16
17	78,51	-1,98	-2,61	-6012,06	41	23,17	-1,56	-2,20	-5056,46
18	76,53	-2,09	-2,73	-6275,81	42	21,60	-1,44	-2,07	-4769,48
19	74,44	-2,20	-2,83	-6515,23	43	20,16	-1,31	-1,95	-4480,37
20	72,24	-2,29	-2,93	-6729,04	44	18,85	-1,19	-1,82	-4192,46
21	69,95	-2,37	-3,01	-6916,13	45	17,66	-0,63	-1457,95	30
22	67,57	-2,44	-3,08	-7.075,58	75	5850	40	5850	30
23	65,13	-2,50	-3,13	-7206,67	75	5850	40	5850	30

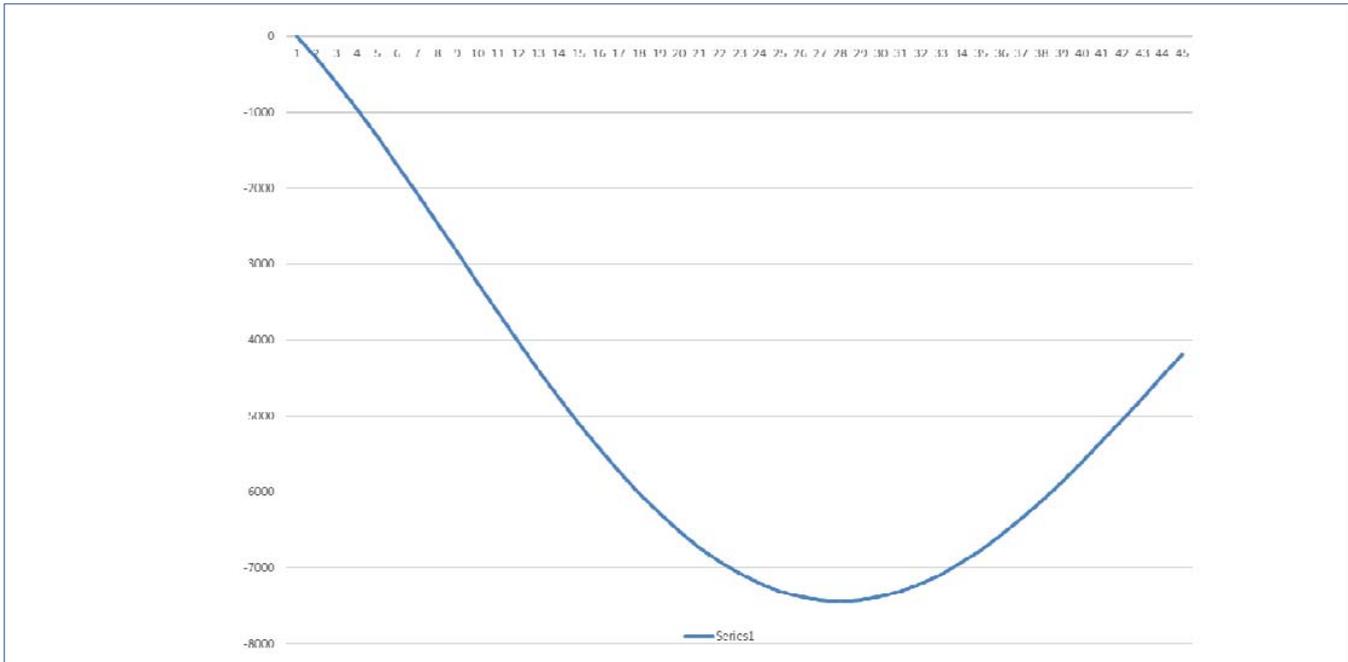


Gráfico 3. $\Delta v_i - \Delta v_{i-1} / \text{Ocupación}$

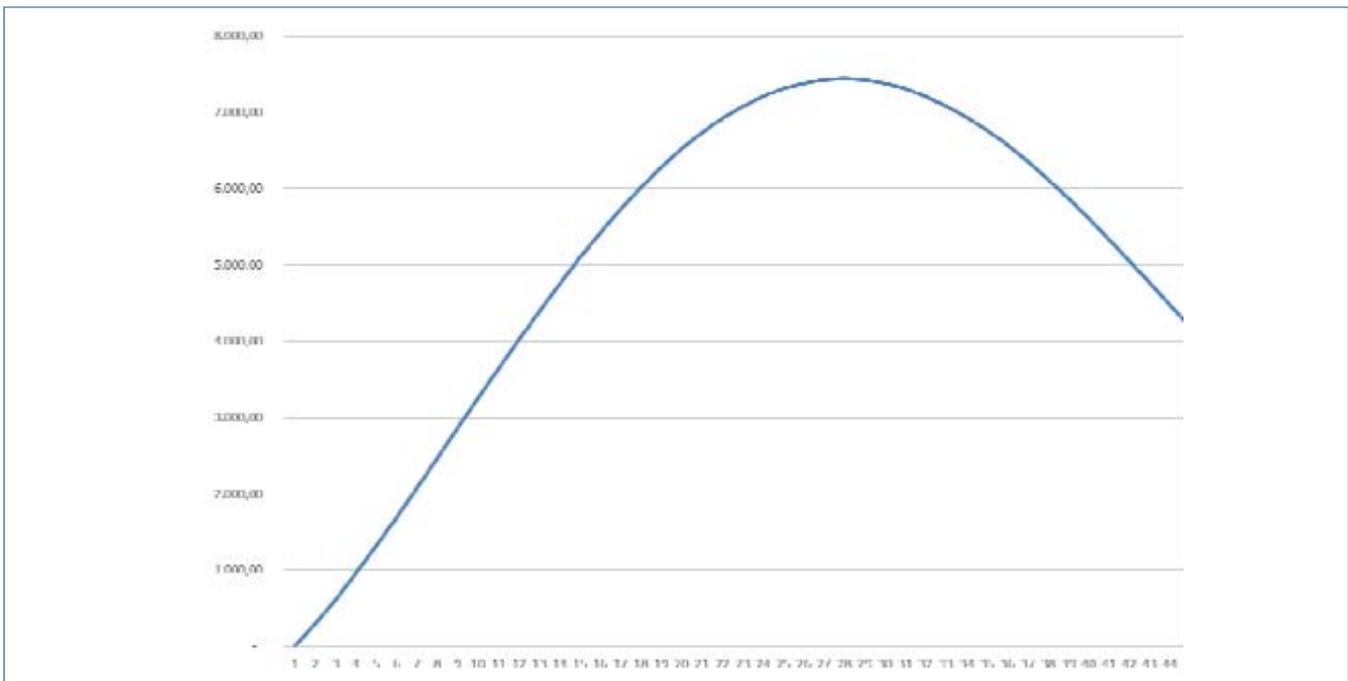


Gráfico 4. $F * (\Delta v_i - \Delta v_{i-1}) / \text{Ocupación}$

Por tanto, el significado de A es el de la Velocidad Media en Flujo Libre.

Aplicando la Ecuación Fundamental de Tráfico, y para un carril:

$$I = D * A * e^{-\left(\frac{D}{B}\right)^2}$$

Si calculamos el valor de la densidad donde se produce el punto de inflexión de la gráfica de la velocidad obtenemos que la densidad es B. Es decir, B es la densidad que hace que la

velocidad sea la crítica, o sea, la densidad crítica, que a su vez es el valor que da la máxima intensidad (Capacidad).

Si sustituimos la densidad por su correspondencia con la ocupación temporal y teniendo en cuenta en qué se mide cada variable (metros, veh/Km y Km/hora):

$$I = \text{carriles} * \frac{10 * O_t}{l + L} * A * e^{-\frac{50}{B^2} \left(\frac{O_t}{L+l}\right)^2}$$

$$V = A * e^{-\frac{50}{B^2} \left(\frac{O_t}{L+l}\right)^2}$$

En las siguientes gráficas se muestra la variación de *velocidad crítica*, la *ocupación crítica* y la *velocidad*:

A partir de estas gráficas se puede concluir que:

- La *velocidad crítica* sólo depende de la *velocidad media en flujo libre* y es proporcional a ella.

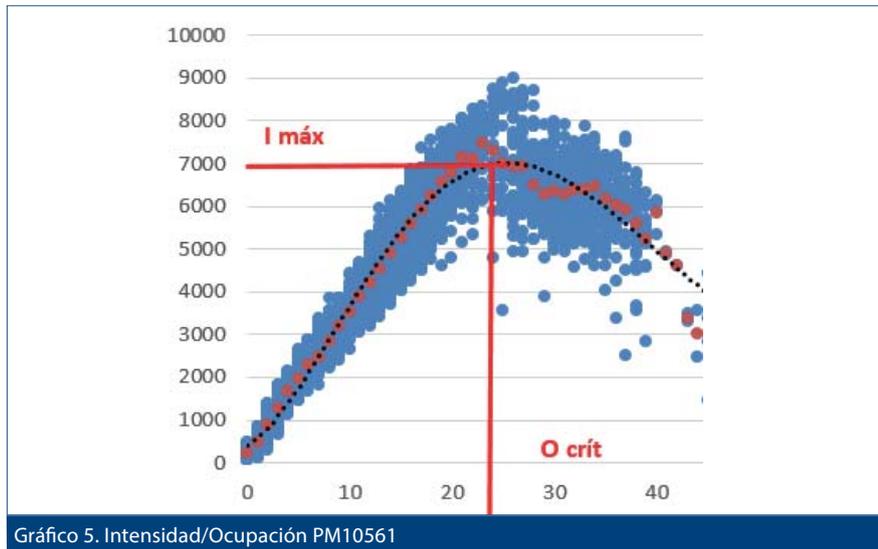


Gráfico 5. Intensidad/Ocupación PM10561

$$V_{crítica} = \frac{A}{\sqrt{e}}$$

- La ocupación crítica es inversamente proporcional a la raíz cuadrada

- de la *velocidad media en flujo libre*. La *capacidad es proporcional* a la raíz cuadrada de la *velocidad media en flujo libre*. El valor de la dimensión de la espira

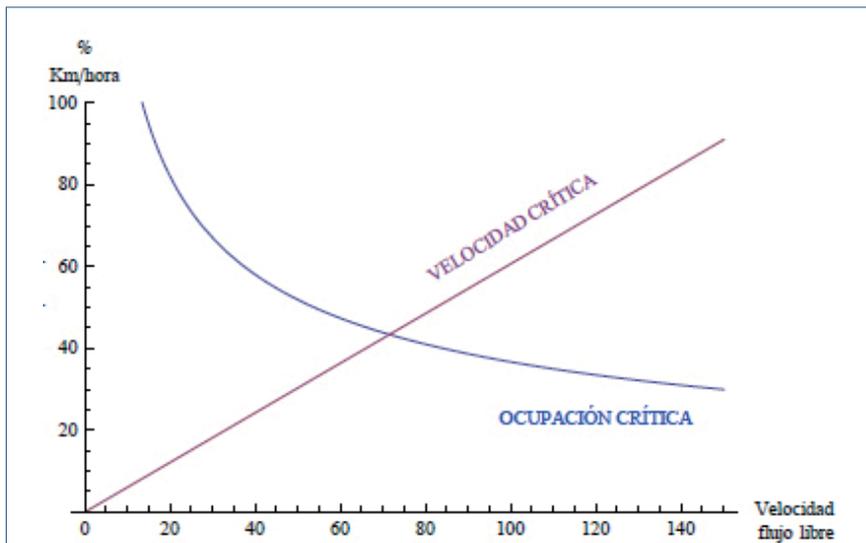


Gráfico 6. Velocidad crítica-Ocupación crítica respecto Velocidad en flujo libre

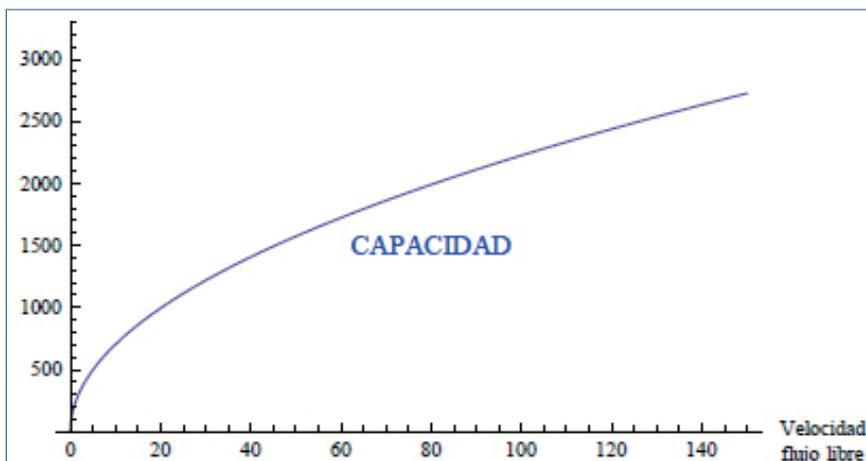


Gráfico 7. Capacidad respecto Velocidad en flujo libre

en sentido del tráfico “l” dependerá de la espira en cuestión, habrá que saber el valor específico de la que estamos analizando. En la M - 30 las espiras colocadas en superficie tienen un valor de 1 m y las de túnel de 2 m.

Pero no sólo tenemos los parámetros de la O_t y I , al ver las fórmulas anteriores puede surgir la duda de que valores tomar para cada una de las incógnitas, a continuación se indica alguna de las preguntas que podrían surgir sobre cada uno de los parámetros:

- L : ¿Qué longitud de vehículos considerar? No es lo mismo tener la espira en un tramo próximo a un polígono industrial que en otro en el que no se permita la circulación de vehículos pesados.
- A : ¿Qué velocidad en flujo libre considerar? Podríamos pensar en considerar la velocidad máxima legal fijada para el tramo, pero se sabe que existen diversos factores que pueden influir, entre otros:
 - o La existencia de radares ubicados en las proximidades de las espiras. Los conductores van a pasar con una velocidad inferior a la máxima, igual que si los conductores perciben que en el tramo no hay velocidad controlada es muy probable que parte de los vehículos superen la velocidad máxima de la vía.
 - o La percepción del firme de la vía por parte del conductor. Sabemos que la percepción de un firme deslizante hace aumentar la distancia media entre los vehículos y disminuir la velocidad. También ocurre lo mismo con la existencia de irregularidades.
 - o El conocimiento que los conductores tengan de una determinada vía. Cuantas más veces se pasa por una vía más confianza se tiene y por tanto la percepción es de mayor confort que para aquellos conductores que pasan por primera vez.
 - o El perfil y las características del conductor y del vehículo.

Tabla 4. Ejemplo de parámetros

		A	L	I	B
Nombre PM	Nº de carriles	Velocidad flujo libre	Longitud vehículo	Dimensión espira	Densidad crítica
PM10013	2	80,62	4,22	1,000066236	45,99
PM10092	2	82,34	4,00	1	25,00
PM10142	2	99,30	4,22	1,000056189	27,74
PM10211	3	92,22	4,74	1,000077193	37,55
PM10241	3	98,86	4,14	1,000005749	42,48
PM10342	3	89,18	4,23	1,000058612	39,44
PM10442	3	87,01	4,16	1,000021823	42,43
PM10501	3	89,72	4,69	1,000035913	36,26
PM10561	3	90,15	5,18	1,00004926	36,84
PM10562	4	87,17	4,49	1,000055892	33,94
PM10611	4	86,59	4,56	1,000046442	38,03
PM10711	4	90,24	5,01	1,000031594	33,42
PM10754	4	69,32	4,02	1,000008826	42,90
PM11071	4	92,57	4,49	1,000010053	37,79

- **B:** ¿Qué densidad crítica se va a tener? Este parámetro no va a ser un valor fijo, va a verse influido por el trazado de la vía, del número de entradas y salidas existentes, de la pericia de los conductores y de muchos factores más.

Para obtener el valor de las incógnitas se va a usar el histórico de datos que tengamos de cada espira, resolviendo los valores de los parámetros "L", "A" y "B" a partir de los valores de ocupación, intensidad y velocidad facilitados por las espiras a lo largo de su existencia. De esta forma se obtendrán los valores de los parámetros tabulados para cada una de las espiras que tengamos a través de los datos que hayan arrojado históricamente.

A modo de ejemplo, los valores de los parámetros indicados anteriormente pueden variar, adjunto la tabla de la obtención de los mismos para varias espiras:

Estos valores calculados para cada Punto de Medida los utilizaremos en nuestra herramienta de comparación de los valores reales con los calculados por el modelo, que no es otra cosa que un compendio de valores históricos.

Sin embargo, para un uso general del modelo en otras carreteras, podemos considerar que el valor de la densidad crítica es de 40 veh/km.

En cuanto a la dimensión de la espira lo habitual es que sean de 2x2 m. En cuanto a la longitud media de los vehículos dependerá del porcentaje de pesados que soporte la sección. Generalizando, y para un porcentaje de pesados de un 10 %, podemos decir que $L+I = 6,55$ metros.

El modelo con estas aproximaciones quedaría:

$$I = 1,53 * carriles * A * e^{-7,283 * 10^{-4} * O_i}^2$$

$$V = A * e^{-7,283 * 10^{-4} * O_i}^2$$

4. Aplicación: "herramienta de detección precoz de anomalías en estaciones de toma de datos de tráfico"

Con el modelo de tráfico desarrollado el punto anterior, se pueden desarrollar gran variedad de aplicaciones. Pero nos vamos a centrar en su aplicación en la "Herramienta de Detección Precoz de Anomalías en Estaciones de Toma de Datos de Tráfico".

Para cada una de las espiras, se tienen de forma automática los valores obtenidos de la *modelización del tráfico histórico, velocidad e intensidad* para distintos valores de *ocupaciones temporales*, puesto que a través de la

base histórica disponemos los valores de *A, B, L, I y número de carriles*, específicos para la espira.

Esta herramienta de verificación se hace correr con periodicidad diaria. Se toman los valores promedio de la velocidad y la intensidad para cada ocupación y se comparan con los valores obtenidos mediante el modelo. Lógicamente siempre se producen desviaciones en la comparación. Lo único que hay que determinar es el valor admisible de estas variaciones. Como tenemos una amplia base de datos de cada punto de medida, se han determinado para cada valor de ocupación el valor medio de las velocidades e intensidades así como su desviación típica, de tal forma que consideramos correctos los valores reales que están dentro de la horquilla del valor que da el modelo afectado por $\pm 1,5$ veces la desviación típica calculada con anterioridad. Si el valor real se sale de esta horquilla se produce una alarma (en este caso es el envío de un correo electrónico) con las anomalía encontradas en la relación de los parámetros.

La aplicación determina que espiras no están funcionando correctamente, saltando una notificación que llegará a las siguientes personas:

- Al ingeniero encargado de la gestión del tráfico, que verificará si ha habido alguna circunstancia extraordinaria que pueda haber afectado a la espira en cuestión (obras en la vía, cierre de accesos por obras próximas, accidentes, labores de mantenimiento), o en caso de no existir alguna determinará las posibles intervenciones a realizar.
- Al jefe de mantenimiento, para que programe la intervención de

mantenimiento necesaria para el correcto funcionamiento de la espira en el menor tiempo posible. Una vez realizada la intervención por el equipo de mantenimiento, esta espira entrará en el chequeo automático diario, verificando de esta forma que la actuación ha sido satisfactoria y no es necesario tomar ninguna medida más, cerrando la incidencia.

4.1 Esquema de funcionamiento

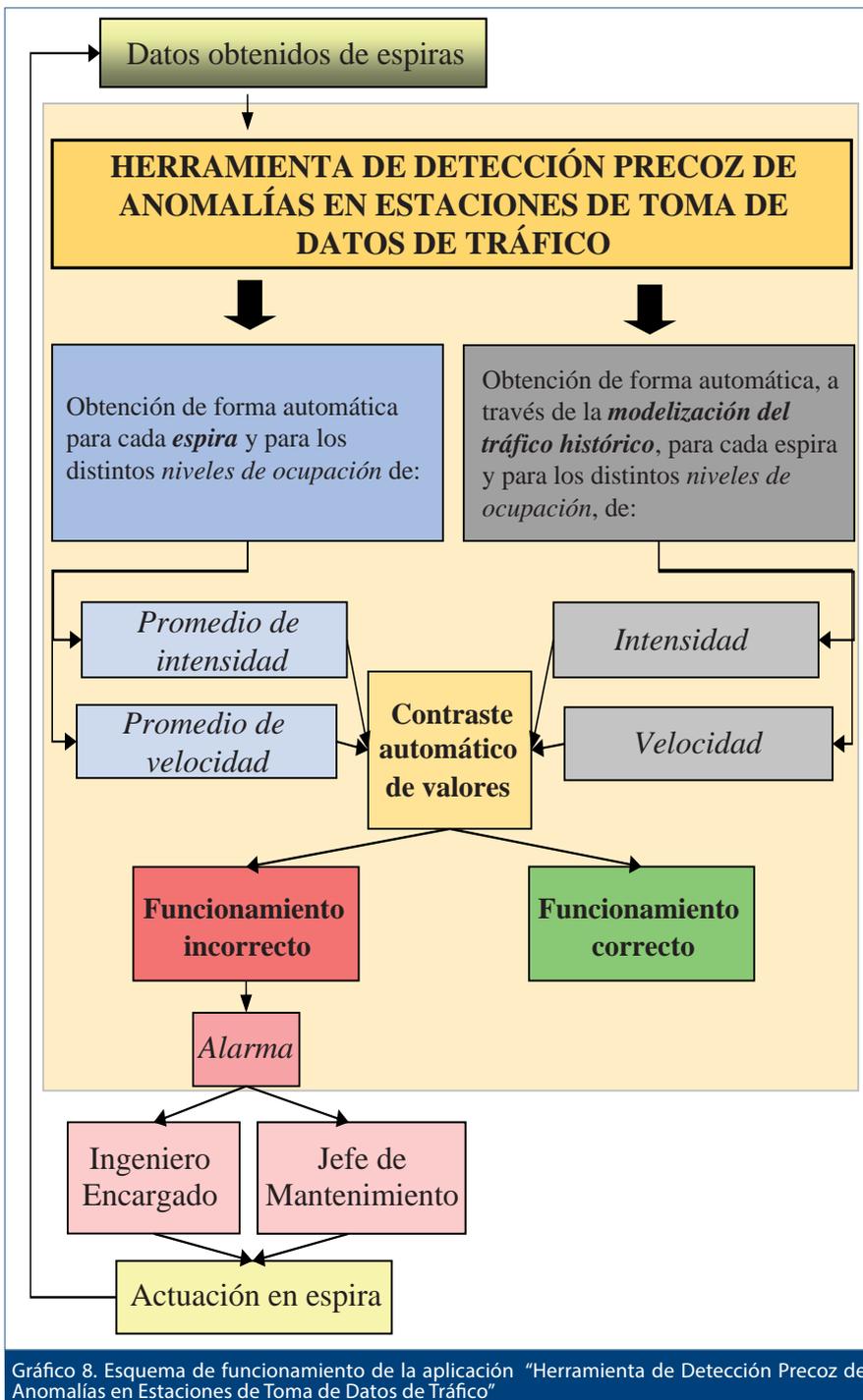


Gráfico 8. Esquema de funcionamiento de la aplicación "Herramienta de Detección Precoz de Anomalías en Estaciones de Toma de Datos de Tráfico"

Referencias

- Dpto. de Tecnología del Transporte de EMESA. Documentación del Modelo Matemático de EMESA (Empresa de Mantenimiento y Explotación de la M-30 S.A)
- Dpto. de Tecnología del Transporte de EMESA. Base de datos histórica de las Estaciones de Toma de Datos de EMESA (Empresa de Mantenimiento y Explotación de la M-30 S.A)
- AENOR. Comité AEN/CTN 199. Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos. Métodos de Prueba y Ensayo
- UNE 135421-4-1:2007. Documentación Técnica ETD. Área Sistemas de EMESA.
- Nortech Detection PTY LTD. Short form User Manual. PD232 / PD234 Enhanced Vehicle Detector
- Louviral Augusto Tabares, 1999. Administración Moderna de Mantenimiento Academia.edu
- Santiago García Garrido, 2010. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. ISBN: 9788479785772
- Cuaderno Tecnológico de la PTC. Sistemas de adquisición de información de tráfico: Estado actual y futuro. Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC). ISBN: 9788461539642
- Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón, Cataluña, Comunidad Valenciana y Madrid. Pliego de Prescripciones Técnicas para la contratación por procedimiento abierto con varios criterios de adjudicación del mantenimiento de equipos e instalaciones de toma de datos de tráfico. Sector III. 28 de septiembre de 2012
- Stephen Wolfram , Wolfram-Media, 2002. A New Kind of Science ISBN: 9781579550080
- Stephen Wolfram , Wolfram-Media, 2015. An Elementary Introduction to the Wolfram Language ISBN: 1944183000

Composición de la Junta Directiva de la ATC

PRESIDENTE:	- D. Luis Alberto Solís Villa
CO-PRESIDENTES DE HONOR:	- D. Jorge Urrecho Corrales - D. Gregorio Serrano López
VICEPRESIDENTES:	- D. Carlos Bartolomé Marín - D. José María Pertierra de la Uz - D. Jesús Díaz Minguela
TESORERO:	- D. Pedro Gómez González
DIRECTOR:	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
SECRETARIO:	- D. Pablo Sáez Villar
VOCALES:	



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



- Presidente Saliente:
 - D. Roberto Alberola García
- Designados por el Ministerio de Fomento:
 - D. Carlos Bartolomé Marín
 - D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
 - D. Jesús Santamaría Arias
 - D. José Manuel Cendón Alberte
 - D. Ángel García Garay
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D. Jaime Moreno García-Cano
 - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
 - D.ª Garbiñe Sáez Molinuevo
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Luis Alberto Solís Villa
 - D. José Trigueros Rodrigo
 - D. Xavier Flores García
 - D. José María Pertierra de la Uz
 - D. Carlos Estefanía Angulo
 - D. Juan Carlos Alonso Monge
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
 - D. Ángel Castillo Talavera
 - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
 - D. Rafael Gómez del Río
- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. José Polimón López
 - D. Casimiro Iglesias Pérez
 - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Aniceto Zaragoza Ramírez
 - D. Francisco Javier Lucas Ochoa
 - D. Sebastián de la Rica Castedo
 - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. Jorge Lucas Herranz
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados:
 - D. Anselmo Soto Pérez
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Jesús Díaz Minguela
 - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
 - D. José María Morera Bosch
 - D. Pedro Gómez González
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D. Sandro Rocci Boccaleri
- Nombrado a propuesta del presidente:
 - D. José Luis Elvira Muñoz

Comités Técnicos de la ATC

COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidente	D. Luis Azcue Rodríguez
- Secretaria	D.ª Lola García Arévalo

COMITÉ DE FINANCIACIÓN

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

PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y TRÁFICO

- Presidente	D. Fernando Pedraza Majarrez
- Secretario	D. Javier Sáinz de los Terreros

TÚNELES DE CARRETERAS

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

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

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

FIRMES DE CARRETERAS

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

PUENTES DE CARRETERAS

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

GEOTECNIA VIAL

- Presidente	D. Álvaro Parrilla Alcaide
- Secretario	D. Manuel Rodríguez Sánchez

SEGURIDAD VIAL

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

CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente	D. Antonio Sánchez Trujillano
- Secretaria	D.ª Laura Crespo García

CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

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

Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

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

Socios de Honor

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

Socios de Mérito

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

Socios Protectores y Socios Colectivos

Administración General del Estado

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

Comunidades Autónomas

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

Ayuntamientos

- AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
- MADRID CALLE 30

Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

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

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

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

Asociaciones

- AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
- ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASE-METRA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB
- FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
- FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

Sociedades Concesionarias

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

Empresas

- 3M ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACCIONA INGENIERÍA, S.A.
- ACENTO INGENIERIA, S.L.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALVAC, S.A.
- API MOVILIDAD, S.A.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- AUDECA, S.L.U.
- AZUL DE REVESTIMIENTOS ANDALUCES, S.A.
- BARNICES VALENTINE, S.A.U.
- BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.
- BETAZUL, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CEPESA COMERCIAL PETROLEO, S.A.
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- CINTRA SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COMPOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.
- CONSERVACIÓN INTEGRAL VIARIA, S.L. (CONSVIA)
- CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
- CLOTHOS, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- ELSAMEX, S.A.
- EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
- ESTEYCO, S.A.P.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- EUROCONSULT, S.A.
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
- FREYSSINET, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
- GETINSA - PAYMA, S.L.
- GINPROSA INGENIERÍA, S.L.
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
- IDEAM, S.A.
- IDOM CONSULTING, ENGINEERING, ARCHITECTURE, S.A.U.
- IKUSI, S.L.U.
- IMPLASER 99, S.L.L.
- INCOPE CONSULTORES, S.L.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
- INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOSA)
- KAO CORPORATION, S.A.
- KAPSCH TRAFFICOM TRANSPORTATION S.A.U.
- KELLER CIMENTACIONES S.L.U.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PROSEGUR SOLUCIONES INTEGRALES DE SEGURIDAD ESPAÑA, S.L.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
- S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
- SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
- SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
- SERBITZU ELKARTEA, S.L.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SGS TECNOS, S.A.
- TALHER, S.A.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPASA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TECYR CONSTRUCCIONES Y REPARACIONES, S.A. (TECYRSA)
- TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
- ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
- VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales

Personas físicas (49) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



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



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa y digital, cuyo importe 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



Revista RUTAS / [RUTAS digital](#) / Artículos



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

Para más información:
puede dirigirse a:

Asociación Técnica de Carreteras
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
info@atc-piarc.com
www.atc-piarc.com

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



SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

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

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

Antes:



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

Crecimiento basado en la Innovación

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

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

