

# **PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS VIARIAS**

20 de septiembre 2007 pm

## **COMITÉ TÉCNICO 4.4 PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS VIARIAS**

### **REPORTE INTRODUCTORIO**

## CONTENIDO

RESUMEN .....	3
MIEMBROS DEL COMITE QUE HAN CONTRIBUIDO AL INFORME PRELIMINAR .....	4
1. INTRODUCción.....	4
1.1. Programa de la session .....	5
2. EL TRABAJO DEL COMITÉ.....	7
2.1. La durabiidad en las fases de diseño y construcción .....	7
2.2. La durabilidad durante la vida en servicio del puente .....	7
2.3. Aproximaciones a la optimización de costes en la gestión de puentes.....	9
3. PONENCIAS INVITADAS.....	10
3.1. Gestión de puentes históricos.....	11
3.2. Ventajas en la gestión de puentes históricos mediante sistemas de base probabilística.....	12
3.3. Plan de Mantenimiento de Puentes Históricos del Departamento de Transporte de Virginia.....	12
3.4. Análisis de puentes históricos utilizando el método mixto de elementos discretos.....	13
3.5. Criterios para asegurar la durabilidad de las cimentaciones de los puentes de fábrica.....	14
4. ACTIVIDADES FUTURAS .....	15
BORRADOR DE CONCLUSIONES .....	15

## RESUMEN

En una cualquier red de carreteras nacional, regional o local, los puentes son eslabones fundamentales en la cadena. Su deficiente funcionamiento, su pérdida de capacidad portante o de conducir el flujo de tráfico sin restricciones, representa costes muy importantes en la economía de una región. Consecuentemente, las administraciones necesitan dedicar los recursos necesarios para asegurar la funcionalidad y la seguridad de los patrimonios de dichas estructuras.

Dependiendo del nivel de desarrollo de cada país y de su historia reciente, sucede que los períodos de gran actividad en la construcción de puentes están concentrados en, quizás una o más décadas. Así, en muchos países europeos el período después de la segunda Guerra mundial fue crítico en la construcción de las redes de carreteras, los puentes incluidos. Otros países han concentrado este gran desarrollo en la construcción de infraestructura coincidiendo con los picos de expansión económica.

El uso intensivo de determinados materiales estructurales como el hormigón y el acero, pero especialmente el primero, en dichas épocas de alto desarrollo de infraestructuras de transporte por carretera, cuando todavía no se conocían todos los aspectos que afectarían a la durabilidad de las obras, ha conducido en muchos casos a situaciones de colecciones de puentes con un alto nivel de deterioro.

El progreso en el conocimiento de las propiedades de hormigón y el acero, la mejora en el control de calidad durante la construcción, los reglamentos y recomendaciones para alcanzar una estructura duradera desde la fase del diseño y los nuevos sistemas automatizados para la gestión de puentes están cambiando en la actualidad ese panorama.

El trabajo del Comité TC4.4 durante los últimos cuatro años ha sido dedicado a explorar la manera en que países diferentes abordan la cuestión de la mejora de la durabilidad de los puentes en todas las fases de su vida: el diseño, la construcción y el servicio, así como a comparar los criterios y procedimientos que administraciones diferentes utilizan en sus sistemas de gestión de puentes (SGP) para priorizar los recursos necesarios para la conservación y la reparación de un conjunto de puentes..

Por otro lado, los puentes históricos constituyen en muchos países un subconjunto importante de los patrimonios de puentes. El Comité decidió hacer una llamada para que técnicos que tienen experiencia en la gestión de este tipo de estructuras expusieran su conocimiento.

La sesión TC4.4 organizada por el Comité de Puentes Estructuras Relacionadas, será estructurada en tres partes con el contenido siguiente:

- **Presentación del trabajo técnico del Comité**
  - Como mejorar la durabilidad en las fases de diseño y construcción
  - Como mejorar la durabilidad en la fase de servicio: técnicas innovadoras frente a métodos tradicionales
  - Aproximaciones a la optimización de costes en la gestión de puentes

- **Ponencias invitadas sobre puentes históricos**
  - Análisis de puentes históricos usando el método combinado de elementos discretos
  - Criterio para asegurar la durabilidad de las cimentaciones de puentes de fábrica
  - Gestión de puentes históricos
  - Plan de mantenimiento de puentes históricos en el Departamento de Transportes de Virginia
  - Beneficios para la administración de los sistemas de gestión basados en criterios probabilísticas – Experiencias prácticas
  
- **Aspectos para debate y trabajo futuro**
  - Durabilidad en la etapa de diseño
  - Durabilidad en la fase de construcción
  - Mantenimiento y durabilidad
  - Sistemas de Gestión de puentes y la mejora de la durabilidad
  - Puentes Históricos
  - Futuras líneas de trabajo

## **MIEMBROS DEL COMITE QUE HAN CONTRIBUIDO AL INFORME PRELIMINAR**

Rafael Astudillo, España	Coordinador del Comité
Brian Hayes, Reino Unido	Coordinador de la tarea 1
John Bjerrum, Dinamarca	Coordinador de la tarea 2
Peter Graham, Australia	Coordinador de la tarea 3
Dimitris Constantinidis, Grecia	Secretario Inglés
Florent Imberty, Francia	Secretario Francés

## **1. INTRODUCCIÓN**

En cualquier país, el transporte de personas y mercancías constituye una pieza clave en la economía, el progreso y el bienestar de la nación, y esta circunstancia es tanto más relevante cuanto mayor es el nivel de desarrollo. La importancia del transporte es fácilmente extrapolable a un entorno o territorio supranacional.

En una cualquier red de carreteras, sea nacional, regional o local, los puentes constituyen eslabones fundamentales en la cadena. Su deficiente funcionamiento, su pérdida de capacidad portante o de conducir el flujo de tráfico sin restricciones, representa costes muy importantes en la economía de una región. Consecuentemente, las administraciones necesitan dedicar los recursos necesarios para asegurar la funcionalidad y la seguridad de los patrimonios de dichas estructuras.

Dependiendo del nivel de desarrollo de cada país y de su historia reciente, sucede que los períodos de gran actividad en la construcción de puentes están concentrados en, quizás una o más décadas. Así, en muchos países europeos el período después de la segunda Guerra mundial fue crítico en la construcción de las redes de carreteras, los puentes incluidos. Otros países han concentrado este gran desarrollo en la construcción de infraestructura coincidiendo con los picos de expansión económica.

Existen muchos ejemplos de la coincidencia de estos períodos intensivos de construcción con los comienzos en el desarrollo de "nuevos" materiales estructurales, como acero u hormigón. El uso intensivo de hormigón, por el ejemplo, en los períodos iniciales cuando sus propiedades con respecto a la durabilidad no eran todavía conocidas han conducido a situaciones actuales en las que el patrimonio de puentes puede estar en un nivel de conservación por debajo de lo deseable.

El progreso en el conocimiento de las propiedades de hormigón y el acero, la mejora en el control de calidad durante la construcción, los reglamentos y recomendaciones para alcanzar una estructura duradera desde la fase del diseño y los nuevos sistemas automatizados para la gestión de puentes están cambiando en la actualidad ese panorama.

La forma en que países distintos, con condiciones ambientales, métodos de construcción. y criterios de mantenimientos diferentes abordan la mejora de la durabilidad se consideró de primordial interés dentro de los objetivos de este Comité.

No obstante, el tema de la durabilidad constituye una disciplina muy extensa, y el TC4.4 se ha centrado en la actividad de recogida de información sobre como distintos países la abordan en todas las etapas de la vida de una obra: desde el diseño a la vida en servicio.

Durante la vida útil de un puente, el mantenimiento necesario para resolver problemas de durabilidad implica múltiples métodos y técnicas, muchos de de ellos han sido ya abordados con anterioridad por comités de PIARC en periodos precedentes. En el periodo en curso se decidió comparar experiencias existentes en el uso de técnicas innovadoras de diseño, construcción o reparación frente a métodos tradicionales.

No se puede decir que los SGP estén disponibles en todas las administraciones, pero se están utilizando intensivamente y constituyen valiosas herramientas para gestionar grandes patrimonios de puentes. Uno de los módulos críticos en un SGP es aquel cuya función es priorizar los recursos disponibles para mantenimiento y reparación del conjunto. No siempre está claramente expuesto el criterio y la metodología utilizada en un SGP. El Comité ha obtenido información de muy diversas administraciones en distintos países con el objeto de proporcionar un análisis específico de este tema.

Este Informe Introductorio pretende dar una visión general los principales temas que se presentarán y discutirán en la sesión de puentes del Congreso.

### 1.1. Programa de la session

La sesión se considera de interés para todos aquellos técnicos relacionados con el mantenimiento de puentes, con los procedimientos para mejorar la durabilidad (proyectistas, constructores) y con la gestión de puentes en todas sus facetas. Aquellos que estén interesados en los puentes de fábrica o históricos, en general, tienen además la oportunidad de atender la presentación de diversas ponencias invitadas sobre este específico tipo de estructuras.

La sesión estará estructurada en tres partes:

- **Presentación del trabajo del Comité TC4.4**

- *Tarea 1: Mejora de la durabilidad en las fases de diseño y construcción*

- Revisión para un cierto número de países de los factores específicos que afectan a la durabilidad de los materiales estructurales: hormigón, acero, nuevos materiales, etc-y las consideraciones que al respecto se incluyen en los reglamentos técnicos o en recomendaciones.

- *Tarea 2: Mejora de la durabilidad durante la fase de vida útil*

- Comparación de métodos novedosos respecto de soluciones tradicionales en el mantenimiento y reparación de estructuras

- *Tarea 3: Aproximaciones a la optimización de costes en la gestión de puentes*

- Revisión y análisis de la información sobre diferentes SGP en relación con la optimización y priorización de acciones de mantenimiento.

- **Presentaciones invitadas sobre puentes históricos.**

Muchos aspectos en relación con la gestión de puentes de fábrica e históricos necesitan una cierta especialización y experiencia de los técnicos a su cargo. Se han seleccionado cinco ponencias para ser presentadas en la sesión TC4.4:

- *Gestión de puentes históricos. Finlandia*

- *Beneficios para la propiedad de los SGP basados en métodos probabilísticos. Dinamarca*

- *Virginia Department of Transportation: Plan de mantenimiento de los puentes históricos. EEUU.*

- *Análisis de puentes históricos utilizando el método combinado de elementos discretos.. Portugal*

- *Criterios para asegurar la durabilidad de cimentaciones de fábrica.*

- **Discusión y propuesta de trabajos futuros**

Tras las presentaciones se realizará un coloquio sobre aspectos críticos detectados en relación con los temas expuestos. Finalmente, se presentará y debatirá una propuesta para futuros temas de trabajo dentro del Comité de puentes de PIARC.

## **2. EL TRABAJO DEL COMITÉ**

### **2.1. La durabilidad en las fases de diseño y construcción**

### **2.2. La durabilidad durante la vida en servicio del puente**

Basado en un cuestionario enviado a todos los miembros del Comité TC4.4, el alcance de este estudio era presentar un inventario de ejemplos sobre distintos métodos de minimizar los costes de mantenimiento o reparación y/o minimizar las restricciones de tráfico mediante el aumento de la durabilidad y vida útil de los puentes existentes o de otras estructuras de carretera.

La forma de aumentar la durabilidad y/o minimizar las restricciones de tráfico se presenta mediante el análisis comparativo de un método tradicional de actuación para resolver un problema respecto de la utilización alternativa de un método novedoso.

El conjunto de ejemplos se completaba con unas recomendaciones a tener en cuenta para el futuro diseño de puentes y evitar los daños o problemas detectados. El método descrito se recoge en la figura adjunta.

Este estudio satisface los objetivos estratégicos del Tema 4 del PIARC en relación con “mejorar la calidad de la infraestructura viaria a través de la gestión efectiva de sus elementos de acuerdo con las expectativas de los usuarios y los requisitos del gestor.

Se han recibido 49 ejemplos de, aproximadamente, el 60% de los países representados en el Comité TC4.4. Los ejemplos provienen de América del Norte, Japón, Europa, África del Sur y Nueva Zelanda.

Los ejemplos cubren la práctica totalidad de los componentes constructivos de un puente (tablero, losas, barreras, etc), y cubren, asimismo, soluciones alternativas, tradicional e innovadora, para diferentes casos de daños debidos a carencias en el proyecto, diseño, construcción y mantenimiento, así como las debidas a impactos, fuego, ambientes agresivos, etc. o, incluso, adaptación a nuevas políticas.

La impresión del Comité es que los ejemplos recibidos son típicos y que cada país ha aportado sus mejores experiencias en como alargar la vida útil, minimizar el coste para las administraciones y/o minimizar la duración de los trabajos de reparación y las restricciones de tráfico.

Todos los ejemplos se han agrupado en categorías para un fácil acceso a la información por tipologías:

Grupo	Sugrupo
1.0 Puente completo	1.1 Insuficiente capacidad portante 1.2 Corrosión 1.3 Necesidad de un nuevo puente
2.0 Superestructura, losa y vigas	2.1 Insuficiente capacidad portante 2.2 Insuficiente anchura 2.3 Pérdidas de material, desconchones y corrosión 2.3.1 Losa 2.3.2 Vigas 2.4 Putrefacción de la madera 2.5 Deformación vertical
3.0 Subestructura, pilas y cimentación	3.1 Asientos 3.2 Deterioro del hormigón 3.2 Insuficiente capacidad portante
4.0 Equipamiento	4.1 Defectos en las juntas 4.2 Barandillas o barreras insuficientes o rotas 4.3 Pavimento deteriorado 4.4 Pintura en mal estado

Los ejemplos analizados demuestran que la consideración de las restricciones de tráfico y la reducción de los costes de reparación constituyen el mayor aliciente para buscar nuevos métodos alternativos para llevar a cabo los trabajos de reparación.

Muchos de los casos prácticos recibidos se refieren al acortamiento de la duración de la reparación y al evitar las restricciones de tráfico, por ejemplo, sustitución de una alcantarilla construyendo otra en su interior, en vez de abrir el pavimento para construir o colocar la nueva. Otros muchos se refieren a la utilización de nuevos materiales, como el refuerzo de vigas o losas con placas de fibra de carbono, en vez de reemplazarlas.

Existen ejemplos en relación con la reducción de costes retrasando la necesidad de los trabajos de reparación o recurriendo a evaluaciones más realistas de la capacidad portante, por ejemplo, utilización de protección catódica para retrasar la corrosión o usando métodos de fiabilidad para evaluar la estructura.

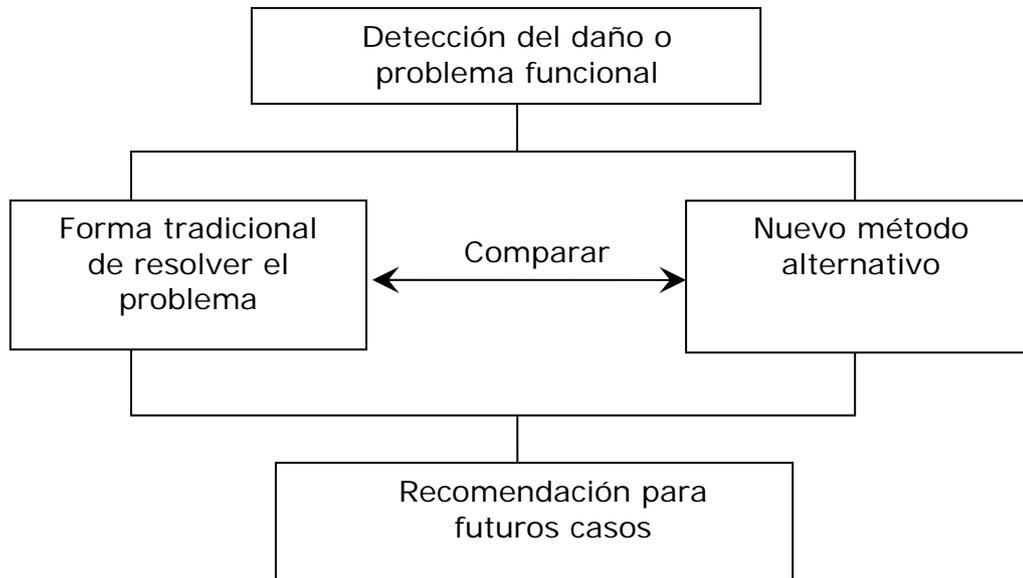
Otros muchos casos se han centrado en la reducción de costes mediante nuevos materiales que además aumentarían la vida útil, por ejemplo, reparando mediante hormigón de fibras proyectado.

En algunos casos se incluye también la recomendación para evitar el daño en el futuro. Algunos ejemplos de recomendaciones esenciales son:

- Evitar las juntas en los tableros
- No usar apoyos a media madera o rótulas en la luz del vano
- Las armaduras deben ser más resistentes a la corrosión
- Hacer cada parte de la estructura accesible para el mantenimiento, la reparación o la sustitución.

El Comité TC4.4 confía en que los ejemplos recogidos puedan inspirar a las agencias, consultores y constructores a que en situaciones similares seleccionen el mantenimiento óptimo o la mas adecuada estrategia de reparación.

I



### 2.3. Aproximaciones a la optimización de costes en la gestión de puentes

El reto en la gestión de puentes es asegurar que todos los puentes de una red de carreteras se mantienen según las previsiones de duración de vida en servicio y con el mínimo de coste del ciclo de vida útil. Dentro de este escenario, el Comité de Puentes del PIARC ha identificado la necesidad de investigar las técnicas usuales a nivel de red para la priorización de las intervenciones de mantenimiento en puentes que se llevan a cabo en un conjunto de países miembros.

El Comité consideró que este análisis realizado para un grupo de países miembros sería útil tanto para aquellos que cuentan ya con sistemas de gestión desarrollados como para los que los tuvieran en fase de implantación. En el primer caso el estudio proveería de un banco de pruebas para los sistemas existentes o un estímulo para su mejora, mientras que para los otros proporcionaría un acceso a información de gran interés y útiles contactos para el diseño de sistemas de capacidades similares.

El análisis de las respuestas de los cuestionarios enviados a más de veinte países ha proporcionado información sobre el mínimo de estructuras de datos y procesos que se requieren para llevar a cabo una priorización dentro de una red. Aunque hay una diversidad de filosofías de priorización en los países encuestados, existe una convergencia en relación con los datos que son necesarios para llevarla a cabo. Estos se refieren básicamente a datos del inventario del puente y de la red de carreteras y también al indicador de deterioro de los elementos, que es donde existe una mayor divergencia debido a las diferentes filosofías de valoración del daño y de prioridad de reparación existentes en los sistemas analizados. No obstante, con independencia de la filosofía adoptada, es esencial para el proceso de priorización contar con un inventario actualizado, coherente y fiable, a fin de facilitar e tratamiento y análisis de dichos datos.

De acuerdo con todo ello, dentro de la Tarea 3 se ha desarrollado un análisis de las diferentes metodologías de priorización llevadas a cabo en los países que han respondido a una encuesta realizada y que concluye con la descripción de los conjuntos de datos y procesos requeridos para abordar una priorización de las operaciones de mantenimiento. Los principales aspectos que contendrá el documento final son:

- Procesos y flujo de datos para priorización
- Análisis de los SGP recibidos
- Análisis de los métodos de priorización
- Retroalimentación al SGP de acuerdo con los resultados de la priorización
- Gestión de prioridades sin fundamento

### **3. PONENCIAS INVITADAS**

Los puentes históricos son estructuras que requieren un tratamiento especial en su inspección , evaluación, reparación, rehabilitación y, en general, en muchos de los aspectos de su gestión. Muchos países cuentan con un importante patrimonio de puentes históricos, algunos de los cuales están actualmente en servicio, soportando intenso tráfico, a la vez que son considerados piezas monumentales. Otros de estos puentes, generalmente en carreteras secundarias, carecen de un mantenimiento adecuado y especializado, o carecen completamente de él, por lo que en el transcurso de los años muchos puentes, quizá no de una importancia elevada, pero, en todo caso, bellas estructuras, van desapareciendo.

El tratamiento de los antiguos puentes de piedra, ladrillo, madera y acero requiere una especial consideración a la hora de analizar su comportamiento estructural, la preservación de su estética, los materiales para su reparación, la protección del entorno, etc. Los puentes históricos serán considerados siempre como una parte especial de la estructura vial.

Los países en desarrollo o de economías emergentes tienen un importante déficit en la gestión de sus estructuras de carácter histórico o monumental. Las inversiones se dedican de forma directa a aumentar y mantener el sistema básico de carreteras y no existe prioridad alguna para las construcciones históricas. La experiencia de otros países en la gestión eficiente de este tipo de patrimonio puede ser de ayuda para mejorar esta situación.

Todas estas razones decidieron al Comité TC4.4 a realizar una invitación para la presentación de ponencias sobre puentes históricos.

### 3.1. Gestión de puentes históricos.

*Jouko Lämsä. Road Administration/ Bridge Committee, HELSINKI. Finlandia*

La Administración de Carreteras Finlandesa (Finnra) gestiona alrededor de 40 puentes clasificados como puentes museo, lo que significa puentes históricos, de acuerdo con el criterio de el Organismo Nacional de Antigüedades que, en Finlandia, es la máxima autoridad museística. Los puentes históricos de Finnra han pertenecido al Museo de la Carretera, que actualmente está gestionado por Mobilia, un museo de tráfico de carretera. Cuando en los años 70 se fundó el Museo de la Carretera, existía un comité especial para los museos que incluía especialistas en los distintos campos de la historia, de los museos y de la tecnología. Actualmente la gestión de los museos se rige por reglamentos especiales y la responsabilidad oficial se ha transferido desde la administración central a la del distrito de Häme.

La reglamentación existente en relación con los el mantenimiento de puentes contiene instrucciones específicas para la evaluación, inspección y mantenimiento de los puentes, considerados como históricos. Los criterios para considerar un puente como histórico son su significancia histórica, en relación con la tecnología constructiva, su importancia en la historia de las carreteras y comunicaciones, los valores de carácter local que pudieran tener y la autenticidad en su conservación actual.

Los puentes seleccionados representan los ejemplos más antiguos de diferentes tipologías de puentes en las carreteras Finlandesas, o bien, puentes más recientes pero que merece la pena preservar para las futuras generaciones. Existe una variada tipología de materiales y corresponden a zonas de todo el país.

Los puentes más antiguos que están todavía en servicio y mantenidos por Finnra son: un puente de piedra de 1777, uno de madera de 1837, un puente metálico de 1856 y uno de hormigón armado de 1911. El mantenimiento y restauración de puentes de madera ha tenido gran importancia en Finlandia, ya que de este material eran casi todos los puentes hasta comienzos de 1.900. La longitud total de los puentes más antiguos de madera, desde 1837, es de 77 m.

Para preservar la documentación sobre los puentes históricos se ha editado un libro que describe la construcción, la estructura y los responsables de cada puente. Se han escrito además libros muy detallados a cerca de algunos puentes específicos. Los puentes históricos se identifican con señales especiales dentro de la red viaria y existen carteles de información sobre estas estructuras en varios idiomas. La información sobre puentes históricos ya desaparecidos, es decir, planos, textos, fotografías y otros documentos, se conservan en el Archivo Nacional y en el Organismo Nacional de Antigüedades.

### 3.2. Ventajas en la gestión de puentes históricos mediante sistemas de base probabilística.

*John Bjerrum, Danish Road Directorate, job@vd.dk, Alan O'Connor & Ib Enevoldsen, Rambøll, alo@ramboll.dk, ibe@ramboll.dk. Dinamarca.*

El crecimiento de las economías nacionales en la segunda mitad del siglo XX produjo un permanente crecimiento de tráfico en las rutas comerciales y, consecuentemente, mayores demandas sobre un patrimonio de puentes ya envejecido. Paradójicamente, este crecimiento de necesidad de prestaciones no ha ido acompañado de un aumento similar en los recursos disponibles para su mantenimiento. La solución adoptada por la Dirección de Carreteras Danesa (DRD) para hacer frente a este reto ha sido intentar explotar los avances de los métodos científicos en la gestión de los puentes históricos. Los puentes antiguos tienen un valor, no solamente dentro de la propia red de transporte, como tales puentes, sino que también representan una herencia histórica. La presente ponencia trata de dar una visión basada en la experiencia práctica.

Se hace en ella una descripción de las soluciones adoptadas, poniendo especial énfasis en los beneficios en relación con los costes obtenidos por las administraciones utilizando estas metodologías. Los métodos probabilísticos, incorporando modelos de incertidumbre, han proporcionado a la DRD significantes ahorros en los costes. El trabajo recoge una guía recientemente publicada por la DRD para la aplicación de los métodos de fiabilidad en la determinación de la capacidad portante de los puentes históricos. Se presentan, asimismo, ejemplos de la utilización de la citada guía para la evaluación y gestión de estructuras reales, así como los beneficios económicos derivados de su uso.

### 3.3. Plan de Mantenimiento de Puentes Históricos del Departamento de Transporte de Virginia

*Malcolm T. Kerley, P.E. Chief Engineer .Virginia Department of Transportation. Virginia. Estados Unidos.*

El Departamento de Transporte de Virginia (VDOT) mantiene la tercera red de transporte por carretera más grande de Estados Unidos. Para preservar la herencia histórica, así como para mantener las necesidades de movilidad, el VDOT ha desarrollado un Plan de Gestión y Mantenimiento de Puentes Históricos. El desarrollo de dicho plan fue un esfuerzo conjunto de las Divisiones de Estructuras y Puentes, de Medio Ambiente y de Investigación del VDOT, así como del Consejo de Investigación del Transporte de Virginia (VTRC).

La ponencia presenta el citado Plan de Mantenimiento de puentes históricos del Departamento de Transporte de Virginia. Desde los años 70, el VDOT, a través, del VTRC, ha documentado la tipología de los puentes más antiguos de Virginia y ha evaluado su rehistórica. Estos estudios han incluido los puentes metálicos en celosía, los puentes de fábrica de piedra, los arcos de hormigón, los puentes cubiertos de madera, puentes de hormigón distintos de los arcos y puentes de vanos móviles. Las estructuras históricamente significativas fueron seleccionadas por el Registro Nacional de Lugares Históricos de Estados Unidos. Una vez catalogado un puente como de valor histórico, el siguiente paso es establecer un plan de mantenimiento específico.

Este Proyecto se basó en los datos ya recopilados por el VTRC, junto con la información proporcionada por el VDOT. Información adicional se obtuvo a través de el Grupo de Trabajo de Estructuras Históricas de Virginia, un comité interdisciplinar e inter-agencias encargado de elaborar recomendaciones sobre las estructuras históricas en la red de transporte de Virginia.

El citado Grupo de Trabajo incluye ingenieros civiles historiadores de la arquitectura, un arqueólogo y un experto medioambiental, que a su vez son representantes de varias agencias estatales y federales: VDOT, VTRC, La Administración Federal de Autopistas y el Departamento de Recursos Históricos de Virginia. Este Grupo de trabajo identificó y tuvo en cuenta los diversos aspectos en relación con los puentes históricos (temas legales, técnicos, regulaciones, financiación, preservación, política, etc).

Se identificaron diversas metodologías de tratamiento, gestión y mantenimiento, evaluándose las diversas opciones y formulándose recomendaciones específicas para cada puente. Asimismo se desarrolló una base de datos de los puentes históricos

Dentro de los 55 puentes en consideración se incluyen, por ejemplo, puentes arco de fábrica de piedra de comienzos del siglo XIX, puentes de madera con cubierta de mediados y finales de dicho siglo, puentes metálicos en celosía del periodo 1.870 a los años 30, y puentes de hormigón de comienzo del siglo XX.

Algunos de estos puentes están ya fuera de servicio o lo van a estar en un próximo futuro, convirtiéndose entonces en puentes peatonales. Algunos de ellos se han cedido para su conservación y cuidado a instituciones oficiales o privadas. Actualmente cerca de un 30% de los puentes históricos han sido ya rehabilitados y existen planes para continuar este proceso.

#### 3.4. Análisis de puentes históricos utilizando el método mixto de elementos discretos

*Gilberto Antunes Ferreira. Polytechnic Institute of Viseu - School of Technology, Department of Civil Engineering DEC-ESTV-IPV,. Viseu. Portugal*

El método mixto de elementos discretos aplicado a un sistema de bloques, originalmente aplicado al estudio de macizos de rocas diaclasadas, fue rápidamente adaptado y generalizado para otros estudios, como el comportamiento estructural de construcciones y puentes de obra de fábrica.

Este método es particularmente adecuado par la representación de estructuras cuyo carácter es predominantemente discreto, como las constituidas por bloques, rígidos o deformables y no tiene la necesidad de representar de forma específica la junta con algún otro tipo de elemento, como sucede en el caso del método de los elementos finitos. Las principales ventajas del método provienen de la posibilidad de que cada bloque sufra desplazamientos y rotaciones finitas, independientemente de los otros bloques, y establecer nuevos contactos.

Las formulaciones existentes consideran modelos constituidos por bloques, rígidos o deformables, o por partículas rígidas, bien en 2 o 3 dimensiones. Para ampliar el dominio de aplicación se desarrolló un modelo rígido mixto de elementos discretos de tipo plano, incluyendo tanto bloques como partículas. Esto posibilita los estudios bidimensionales de puentes de fábrica en arco, modelizando el arco y los tímpanos con bloques y el relleno con partículas.

Este modelo sigue los requisitos clásicos del método de los elementos finitos introduciendo algunos conceptos nuevos, como la nueva definición de los contactos, la adaptación del método de detección a nuevos tipos de contacto, la generación de la malla de partículas entre el extradós del arco y la superficie de la carretera, entre otros. El algoritmo bidimensional generado permite la obtención de los autovalores y autovectores de la estructura, lo que es más útil a la hora de calibrar el modelo numérico. La aplicación del método al análisis cuasiestático de estructuras está indicado también para el cálculo de la capacidad portante y la forma de colapso.

### 3.5. Criterios para asegurar la durabilidad de las cimentaciones de los puentes de fábrica.

*Grupo de Trabajo de Obras de Fábrica de la ATC (Grupo Español de PIARC – Comité de Puentes). Presentad por J. León. Prof. Escuela de Ingenieros de Caminos. Madrid. España.*

El porcentaje de puentes de fábrica con que cuenta España (carretera y ferrocarril) con relación al total representa, en promedio, entre el 30 y el 40%, valor que se sitúa en el entorno del valor medio europeo. Estas nobles estructuras, en servicio desde hace muchas décadas (si no siglos), pueden dar aún mucho juego, en sintonía con “lo sostenible”, tan justamente de moda en estos tiempos.

Sin embargo, para emitir, en su caso, pronunciamiento favorable al aprovechamiento del puente —que es casi siempre la mejor solución—, el ingeniero tiene que decidir qué y cómo hacer para ensancharlo, reforzarlo, repararlo, etc. Generalmente, toda actuación que implique mejorar la capacidad portante pasa por considerar la necesidad de reforzar la cimentación. En otras ocasiones, es la sospecha de que la socavación haya podido debilitar la capacidad del puente, o lo pueda hacer en el futuro, la que lleva al ingeniero a la necesidad de pronunciarse acerca de la cimentación. Además, resulta que la cimentación es el verdadero talón de Aquiles de estas estructuras, habitualmente “sobradas” de capacidad resistente, dando lugar con frecuencia (por socavación) a fallos frágiles, imprevistos, de graves consecuencias.

Añádase también que, desde 2003 aproximadamente, las actuaciones en las cimentaciones de los puentes de fábrica suponen aproximadamente el 50% del importe de las obras de rehabilitación en esta clase de puentes (según datos del Ministerio de Fomento y del ADIF). Además, en torno a un 50% de las obras de reparación en puentes de fábrica están motivadas por patologías en sus cimentaciones, según las mismas fuentes.

El Grupo de Trabajo *Puentes de Fábrica*, del *Comité de Puentes* de la ATC-AIPCR, acometió hace dos años la tarea de redactar un documento que reuniera los criterios con los que los ingenieros deben abordar este problema, plagado *a priori* de incertidumbres: configuración de la cimentación (tipología y geometría), sensibilidad frente a la socavación, criterios analíticos de dimensionamiento de soluciones, técnicas de recalce, etc. Tales trabajos han dado lugar a un documento sin precedentes —en el sentido de que no se han encontrado textos específicos para puentes de fábrica— en el que se muestra un compendio de las tipologías habituales de cimentación de puentes de fábrica (también lo son los de tramos metálicos sobre pilas de fábrica, tan frecuentes), las técnicas más adecuadas para su caracterización geométrica y mecánica, los procedimientos de dimensionamiento de diferentes soluciones de recalce y las técnicas de ejecución asociadas a tales soluciones. Asimismo, se incluye un capítulo dedicado al estudio de cauces, aspecto verdaderamente esencial en los puentes de fábrica.

El documento, redactado por un grupo de expertos, combina el rigor del planteamiento con el carácter pragmático, aplicado, que se le ha querido dar. Como sucede con otras actuaciones en obras históricas, esta actividad sitúa al técnico en la frontera del conocimiento, pues exige de él la búsqueda de soluciones de compromiso entre estructuras ya existentes, de materiales poco conocidos para él, con materiales y técnicas modernas de caracterización y ejecución, propias de la ingeniería más avanzada.

#### **4. ACTIVIDADES FUTURAS**

Es costumbre en el PIARC que cada Comité, al final del periodo de 4 años de actividad en relación con una serie de temas específicos, recomiende para el siguiente periodo continuar el análisis de aquellos aspectos que no hayan podido ser completados, o bien proponer temas nuevos que se consideren de suficiente interés.

El Comité de Puentes es consciente de que la durabilidad es un concepto excesivamente amplio como para poder ser tratado en un solo periodo. El Comité ha centrado su reciente actividad en recabar una primera información acerca de cómo las diversas administraciones tratan de mejorar la sostenibilidad del patrimonio de puentes, que reglas se están aplicando para mejorar el comportamiento de las estructuras y los materiales en la fase de diseño y de la construcción. Hay otras muchas facetas a explorar debajo del paraguas de la durabilidad como, entre otras, podrían ser:

- Factores medioambientales
- Procesos de ataque químico y modelos de progresión del daño
- Patologías físicas y químicas
- Definición del estado de daño de una estructura
- Métodos para la detección de daños
- La durabilidad y los nuevos materiales
- Etc...

Aparte de la durabilidad existen otros temas con suficiente interés para ser considerados en el futuro. El Comité realizó una prospectiva de ellos y, una vez debatida, propuso, entre otros, los siguientes:

- Evaluación estructural de puentes existentes
- Monitorización de puentes: métodos y beneficios
- Gestión de puentes históricos
- Estética de puentes: costes.

#### **BORRADOR DE CONCLUSIONES**

En relación con el trabajo desarrollado por los tres grupos de actividad del Comité TC4.4, se pueden adelantar algunas conclusiones:

En lo referente a la durabilidad en las fases de diseño y construcción:

- Los aspectos de durabilidad están siendo considerados como fundamentales en el diseño de estructuras para carretera. Los ingenieros se han concentrado primeramente en los aspectos resistentes, pero la creciente búsqueda de unas prestaciones económicamente óptimas para la vida total de las estructuras ha elevado el nivel de consideración de la durabilidad.
- El estudio realizado sobre una parte importante del patrimonio de puentes pone de manifiesto el amplio abanico de factores que inciden en este tema; desde el diseño conceptual hasta los detalles constructivos, pasando por la especificación de los materiales a utilizar, el proceso constructivo, el mantenimiento y las estrategias de reparación. Asimismo las condiciones medioambientales del entorno de la estructura juegan un papel fundamental.
- Dado el amplio rango de variables implicadas y la naturaleza subjetiva de algunas de las encuestas, no se puede esperar una panacea simple para los problemas de durabilidad. No obstante, existe un considerable acuerdo sobre la significación de los aspectos básicos de la durabilidad y la combinación de medidas a tomar para mitigar dichos problemas.
- La información recibida constituye una valiosa referencia para los ingenieros de puentes de forma que puedan tener una visión global de la situación en sus propios países comparada con otros.

En relación con alternativas innovativas en el mantenimiento y reparación de puentes

- Los mayores alicientes para la utilización de métodos alternativos son la disminución de costes y de tiempo de alteración del tráfico.
- Una alternativa frecuentemente utilizada en reparaciones es el uso de nuevos materiales orgánicos.
- Algunas de las sugerencias más comunes a la hora de evitar los problemas que se describen en las encuestas es: eliminación de las juntas del tablero, evitar rótulas en la luz del puente y prever accesos adecuados para la reparación y reposición de elementos.

En relación con la optimización de actuaciones en los Sistemas de Gestión de puentes:

- Para identificar las inversiones que proporcionarían mayores retornos hay que trabajar a nivel de red.
- Es esencial disponer de un inventario actualizado y fiable y de los datos del estado de daño de las estructuras.
- Se requieren SGP informatizados para facilitar el tratamiento de datos, el análisis y la funcionalidad.
- Aunque se han utilizado diversas metodologías de priorización en los sistemas analizados, pero el índice de deterioro es el factor más importante.
- Todos los sistemas analizados realizan en la etapa final una revisión manual de la priorización obtenida a partir del sistema automatizado para poder incluir aspectos no considerados en ese análisis: motivos políticos, estratégicos, operativos, sociales o presupuestarios, siendo las restricciones presupuestarias y los aspectos operativos los que más influyen en la consideración de otras estructuras diferentes de las seleccionadas por el SGP