



# Revista ALCONPAT

[http://www.mda.cinvestav.mx/revista\\_alconpat](http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat)

eISSN 2007-6835



Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

## Conservación de puentes atirantados: algunos aspectos particulares de sus planes de mantenimiento y técnicas de actuación.

L. Ortega<sup>1</sup>, A. López<sup>1</sup>, C. Velando<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RETINEO Ingeniería, Madrid, España, e-mail: [lmortegab@retineo.es](mailto:lmortegab@retineo.es), [alopez@retineo.es](mailto:alopez@retineo.es), [cvelando@retineo.es](mailto:cvelando@retineo.es).  
Web: <http://www.retineo.es>

### Información del artículo

Artículo recibido el 30 de Julio de 2013, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 12 de Agosto de 2013. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2014 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2014.

© 2013 ALCONPAT Internacional

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 3, Septiembre - Diciembre 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zammá No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista](http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista).  
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Av. Zammá No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de última modificación: 30 de Diciembre de 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

### RESUMEN

El artículo parte de la necesidad de que se elaboren planes de inspección y mantenimiento de los puentes de una forma rigurosa, centrándose luego en algunos aspectos específicos de los puentes atirantados. La singularidad de estos puentes, por su tipología y dimensiones, hace que planteen problemas desde muy diferentes puntos de vista: tipo de elementos estructurales a conservar, procesos patológicos que les pueden afectar, dificultades de acceso para su inspección y su conservación, y técnicas específicas de, inspección, reparación y mantenimiento. El artículo comenta algunos problemas en puentes atirantados de los que se ha tenido noticia, las actuaciones de reparación desarrolladas y se subrayan las dificultades derivadas de la habitual carencia de medios de acceso pensados para estos puentes. Finalmente, se resumen unas conclusiones básicas sobre aspectos a tener en cuenta al desarrollar sus planes de conservación.

**Palabras clave:** Planes de mantenimiento, puente atirantado, medios de acceso, encintado de vainas, conservación.

### ABSTRACT

The article starts from the need to develop inspection and maintenance plans for bridges in a rigorous way, focusing the attention on some specific aspects of cable-stayed bridges. The uniqueness of the type and dimensions of these structures causes specific problems arising from very different points of view: type of structural elements to maintain, pathological processes affecting them, difficulties of access for inspection and maintenance, and need of specific technics for inspection, repair and maintenance. Some problems detected in cable-stayed bridges are commented, as well as remedial measures developed; difficulties arising from the usual lack of access means specifically designed for these bridges are highlighted. Finally, the conclusions summarize basic aspects to be considered when developing their conservation plans.

**Keywords:** Maintenance plans, cable stayed bridge, access means, stay wrapping, conservation.

Autor de contacto: L. Ortega

## 1. INTRODUCCIÓN. NECESIDAD DE PLANES DE MANTENIMIENTO

Las Instrucciones EHE y EAE actualmente vigentes en España han incorporado al final de sus articulados sendos capítulos dedicados al Mantenimiento donde, entre otras cosas, se establece que en los proyectos de estructuras, de todo tipo en el caso de hormigón, o de clase 4 ó 3 en el caso de acero, será obligatorio incluir un Plan de inspección y mantenimiento, que defina las actuaciones a desarrollar durante su vida útil para mantener su capacidad estructural y funcional (CPH, 2011) (CPA, 2011).

Esta obligatoriedad normativa no viene sino a responder a una necesidad real, evidente para los técnicos involucrados en la conservación de las infraestructuras, pero quizás no tanto para otros muchos (la mayoría) no vinculados a estas tareas. Parece un contrasentido que la actividad del proyecto de estructuras haya estado regulada desde hace bastantes décadas y sin embargo, hasta la fecha, no se haya exigido, en esa misma fase de proyecto, la elaboración en paralelo del “manual de instrucciones de uso” de la estructura. Ese contrasentido quizás obedezca al hecho de que la conservación del patrimonio construido ha sido posiblemente considerada como algo relativamente ajeno por muchos de los profesionales del mundo de la ingeniería civil, más vinculada ésta tradicionalmente a la actividad constructora y no tanto a la conservación, sin que se pueda decir que existiera una mentalidad enfocada al mantenimiento como actividad preventiva. Y ello pese a que las distintas fases de la estructura (concepción, proyecto, ejecución, y vida en servicio) no pueden considerarse totalmente independientes, sino que se encuentran profundamente interrelacionadas ya que las decisiones que se toman en las fases iniciales afectan significativamente a las fases posteriores (ACHE-ATC, borrador pendiente de publicación).

Sin embargo resulta obvio que las infraestructuras se construyen para prestar un servicio a la sociedad y es la conservación la que nutre y mantiene vivo y operativo el patrimonio de las infraestructuras que se han ido construyendo a lo largo del tiempo con el esfuerzo de diferentes generaciones. Aunque muchas de las infraestructuras parezcan eternas, se asemejan más de lo que podría pensarse a un ser vivo: se conciben, nacen, se ponen en servicio, se deterioran y mueren (ACEX, 2010). Y por tanto, resulta inconcebible el limbo regulatorio y sin planificación en el que se han movido las actividades de conservación hasta hace relativamente pocos años. Más aún cuando la actividad de mantenimiento ocupa la práctica totalidad del ciclo vital de la estructura, puesto que las fases de proyecto, construcción y demolición final al terminar esa vida útil, no constituyen sino una pequeña fracción de tal ciclo (CPH, 2011) (ACHE-ATC, borrador pendiente de publicación).

En resumen, la obligatoriedad actual de elaborar en fase de proyecto los planes de mantenimiento de las estructuras, en general, y de los puentes, en particular, no ha hecho sino venir a ordenar y regular una necesidad ampliamente constatada por la minoría de ingenieros que hasta ahora se han venido encargando de las labores de conservación de las mismas.

Es fundamental, además, que esos planes de inspección y mantenimiento se elaboren de una forma absolutamente seria y rigurosa. Como se ha comentado, las fases de concepción, proyecto, ejecución y vida en servicio de una estructura no son independientes, sino que están profundamente interrelacionadas, de manera que muchos de los problemas que se les plantean a los encargados de la conservación podrían haberse evitado o aliviado en buena medida, si tal operación de conservación hubiese sido concebida, pensada y diseñada hasta sus últimos detalles en la fase de proyecto de la estructura.

Más aún, se puede asegurar que si esos planes de mantenimiento son concienzudamente pensados y elaborados con la seriedad que es exigible en la fase de proyecto, muchos detalles de éste

último resultarán condicionados por las necesidades derivadas de garantizar una adecuada conservación. Porque, pese a lo señalado en (ACHE-ATC, borrador pendiente de publicación), en el sentido de que el plan de mantenimiento está supeditado a la obra proyectada y no al revés, el proyecto responsable llevará aparejado, como también se señala en dicha publicación, la obligatoriedad de facilitar y optimizar las tareas necesarias para conservar adecuadamente la estructura a lo largo de toda su vida útil.

Otra forma de ver esta misma interrelación entre las distintas fases a lo largo de la vida de una obra es la derivada del coste de la infraestructura considerando esa vida útil completa. Parece claro que el proyecto y la construcción pueden comprometer seriamente toda la vida de la estructura si, desde el propio proyecto y la obra, no se contempla, facilita y abarata en lo posible su mantenimiento. En esta línea, (CPH, 2011) en su Anejo 13 (índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad) comenta que dicha contribución depende, entre otros varios, del cumplimiento de criterios como la optimización de los costes de mantenimiento (anejo 13 ap.1). En una línea similar, en (CPH, 2011) y (CPA, 2011) se habla de vida útil de la estructura como aquel período durante el que debe cumplir la función para la que fue construida, contando con conservación adecuada pero sin rehabilitaciones significativas (sin precisar qué se entiende por rehabilitaciones significativas). En el mismo sentido, en (DGC, 2012) se recoge entre los requisitos del proyecto de un puente el que éste debe proyectarse para cumplir su función con costes de conservación aceptables (sin aclarar tampoco qué se consideran costes aceptables).

En todo caso, si filosóficamente parece obvio que hay que proyectar con costes de conservación aceptables, ¿no deberían evaluarse éstos en los planes de mantenimiento y, por tanto, en el proyecto? Y consecuentemente, ¿no habría que, a través de éstos, cambiar la forma de proyectar para realmente llegar a una optimización del coste para el ciclo de vida completo de la estructura? El artículo trata de subrayar la trascendencia de estas ideas cuando el tema se centra en los puentes atirantados

## **2. PLANES DE MANTENIMIENTO: PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA DE LOS PUENTES ATIRANTADOS**

Con carácter general el plan de mantenimiento de un puente tiene que contemplar una serie de aspectos tales como (CPH, 2011) (CPA, 2011): descripción de la estructura y de las clases de exposición de sus elementos; estimación de la vida útil de cada elemento estructural; puntos críticos de la estructura, que precisan especial atención a efectos de inspección y mantenimiento; periodicidad de las inspecciones y criterios de inspección recomendados; medios auxiliares para el acceso a las distintas zonas de la estructura y técnicas de mantenimiento recomendadas.

Desde el punto de vista de los planes de mantenimiento de los puentes atirantados interesa subrayar la especial importancia y trascendencia de los aspectos de estimación de la vida útil de los diferentes elementos, identificación de puntos críticos, medios de acceso y técnicas de mantenimiento aplicables.

### **2.1 Estimación de la vida útil de cada elemento estructural. Puntos críticos.**

No parece que plantee dudas que los tirantes y todos sus elementos constituyen uno de esos puntos críticos, posiblemente el fundamental, en esta tipología estructural. Por ello, al establecer la durabilidad de la protección contra la corrosión de estos elementos, se diferencia claramente entre tirantes sustituibles, tirantes no sustituibles pero accesibles y tirantes no sustituibles ni accesibles, de forma que las vidas útiles exigidas a los diferentes elementos y las frecuencias de

inspección y mantenimiento de los mismos varían considerablemente según sea el caso (Tabla 1) (ACHE, 2007). En una línea similar se sitúan las recomendaciones de (FIB, 2005).

Tabla 1. Resumen de criterios de durabilidad y mantenimiento de tirantes (ACHE, 2007)

| Capacidad de sustitución, acceso      | Vida útil de la estructura | Vida útil tirantes sin merma de capacidad | Vida útil del sistema de protección corrosión o contra la degradación, vibración, etc. | Período inspección y mantenimiento             |
|---------------------------------------|----------------------------|---|--|--|
| Tirante sustituible                   | 100 años                   | 50 años                                   | Partes accesibles:<br>10 años;<br>No accesibles:<br>50 años                            | 1ª inspección:<br>3 años;<br>Siguietes: 5 años |
| Tirante no sustituible pero accesible | 100 años                   | 100 años                                  | Partes accesibles:<br>10 años;<br>No accesibles:<br>100 años                           | 1ª inspección:<br>3 años;<br>Siguietes: 5 años |
| Tirante no sustituible ni accesible   | 100 años                   | 100 años                                  | 100 años sin mantenimiento   |  |

Por tanto el proyectista, en concordancia con su decisión de prever o no tirantes sustituibles, deberá asegurar en los planes de mantenimiento los medios de acceso a sus distintos elementos, establecer los criterios para su adecuada inspección y recomendar las técnicas para su conservación y para su eventual sustitución. O, en su caso, proyectar el puente con unos tirantes cuya vida útil sea superior a 100 años sin mantenimiento.

## 2.2 El acceso a los tirantes como elementos estructurales críticos.

Aparentemente se está produciendo una cierta contradicción en el proyecto de muchos puentes atirantados, por cuanto no parece que se esté recurriendo a proyectar con vidas útiles de 100 años para los tirantes que hagan innecesarios su inspección y mantenimiento, pero tampoco que se esté prestando la atención debida al acceso a los tirantes y a todos sus elementos como puntos críticos necesitados de inspección y de, en su caso, eventual mantenimiento. La propia tipología de estos puentes hace que, habitualmente, presenten pilonos de considerable altura, por lo que el acceso a la parte aérea de los cables para su inspección plantea ya un problema considerable (Figura 1).

Un problema similar se presenta en otros elementos de los tirantes como los propios anclajes o los centradores, tanto en pilono como en tablero. En lo que se refiere al pilono, su propia altura hace que el acceso a los anclajes en el mismo presente considerables dificultades si no se ha previsto adecuadamente en proyecto. Y por lo que hace referencia al tablero, es habitual que en puentes atirantados con dos planos de atirantamiento situados en los laterales del tablero, los anclajes inferiores de los tirantes se dispongan bajo el mismo, como se refleja en las fotografías de la Figura 2.



Figura 1. Puentes atirantados: a) sobre el río Tajo en Talavera de la Reina (Toledo, España), con un pilono de 192 m de altura (Sánchez de León et al., 2012); b) sobre el embalse de Barrios de Luna (León, España) con pilonos de 90 m sobre el tablero (Manterola et al., 1984).



Figura 2. Anclajes de tirantes bajo el tablero en los puentes de: a) Talavera de la Reina (Sánchez de León et al., 2012); b) Carlos Fernández Casado (Manterola et al., 1984).

Esto plantea un problema para la inspección, tanto de los anclajes inferiores como del tablero en sí mismo, pues los propios tirantes inclinados hacen imposible la maniobra de despliegue de equipos standard de inspección de puentes (Figura 3)



Figura 3. Maniobras de despliegue de pasarelas standard de inspección de puentes para examen de la cara inferior del tablero.

En esos casos se hace necesario recurrir a equipos como el de la Figura 4. Incluso con estos últimos equipos, aunque su utilización sea posible, no es posible el avance de forma continua con el equipo desplegado en posición de inspección para ir revisando los diferentes anclajes o para la inspección del propio tablero (Figura 4c); la presencia de los tirantes implica la necesidad de

recoger y desplegar el brazo con la canastilla cada pocos metros (Figuras 4a y 4b) con el consiguiente descenso en los rendimientos y el encarecimiento de las tareas de inspección o mantenimiento en las que vayan a utilizarse. Por otro lado, este equipo resulta muy limitado si lo que se pretende es inspeccionar la cara inferior del tablero, puesto que la penetración en horizontal bajo el mismo no es comparable con la alcanzada con una pasarela como las de la Figura 3. De esta forma, tanto la inspección del tablero por su cara inferior como la de los anclajes de los tirantes en el mismo, se transforma en una tarea posible, pero con un coste muy superior al que hubiera podido tener de haber sido concebido el puente pensando en ello.



Figura 4. Utilización de un equipo de brazo articulado con canastilla en inspección de un puente atirantado: a) y b) Maniobras de despliegue; c) inspección de un anclaje.

### 2.3 Técnicas de inspección y mantenimiento específicas para los tirantes.

En concordancia con todo lo anterior, los planes de mantenimiento de puentes atirantados deberán recomendar las técnicas de inspección y mantenimiento que consideren más adecuadas para todos los elementos de los tirantes. E incluso deberán prever su sustitución, puesto que lo habitual es proyectar con tirantes cuya vida útil es inferior a la del puente.

Por lo que se refiere a la inspección, el examen visual con acceso directo al propio tirante es el sistema preferido por los propios técnicos encargados de la conservación de este tipo de puentes (Tabatabai, 2005). Además, esa inspección visual de los tirantes debe hacerse con el operador situado a distancia del tirante lo suficientemente corta como para llegar a tocarlo, de forma que se puedan detectar posibles desperfectos en su vaina externa (fisuras o grietas, manchas de óxido, eflorescencias, curvaturas inusuales o abultamientos) (PTI, 2001) lo que remite de nuevo a la necesidad de previsión de medios de acceso en los planes de mantenimiento.

Además, el plan deberá contemplar la posible aplicación de las diferentes técnicas no destructivas para el examen de los tirantes (control de fuerzas en los tirantes; evaluación ultrasónica de los cables en zona de anclajes; métodos magnéticos; sensores magneto estrictivos; radiografía; etc.) para las que se remite al lector a la literatura existente (ACHE, 2007) (Tabatabai, 2005). En lo que se refiere al control de fuerzas en los tirantes mediante la medición de sus frecuencias propias de vibración, se llama la atención del lector sobre las limitaciones puestas de manifiesto en (ACHE, 2007), derivadas de la necesidad de determinar con precisión parámetros como la masa del cable (especialmente en tirantes de tecnología antigua inyectados), su longitud, la rigidez a flexión, etc. Ello lleva a que, en la mayoría de los casos, sea necesario recurrir a calibrar previamente el método mediante el control directo de la fuerza en algunos de los tirantes mediante el pesaje por despegue. Y todo ello, sin olvidar la necesidad, también subrayada en (ACHE, 2007), de realizar un estudio teórico previo a nivel de proyecto que permita asegurar que la precisión de las mediciones es adecuada para extraer conclusiones útiles de las mismas

teniendo muy en cuenta el rango real de variación de frecuencias esperable en el cable dentro de límites normales.

Por otra parte, si se proyecta con tirantes sustituibles, parece claro que el Plan de mantenimiento debería contemplar con un cierto detalle el propio proceso de sustitución, dada su trascendencia desde un punto de vista económico y de afección al tráfico. Es decir, la propia recomendación existente, desde el punto de vista de cálculo, de comprobar el adecuado comportamiento de la estructura con uno o varios tirantes menos y qué condiciones de restricciones al tráfico son compatibles con esa situación transitoria (PTI, 2001) (FIB, 2005), debería reflejarse en una previsión, a incluir en los planes de mantenimiento, de cómo hacer la sustitución de un tirante.

### 3. MANTENIMIENTO DE PUENTES ATIRANTADOS: EXPERIENCIAS

#### 3.1 La existencia de planes de mantenimiento.

El informe NCHRP Synthesis 353 (Tabatabai, 2005) realizado a partir de una encuesta sobre 27 puentes en EE.UU. y 13 en Canadá revela que mientras el 71% de los puentes de EE.UU. contaban con un plan de mantenimiento, en Canadá sólo 1 de los puentes incluidos en el informe (8%) lo tenía. No se cuenta con información sobre esta situación en otros países. De los puentes en los que los autores han tenido oportunidad de trabajar, curiosamente solo el primero de los construidos en España (Fernández Casado et al., 1979) tenía un manual de conservación, breve pero interesante, que constituía un ejemplo que posteriormente no parece haberse seguido en una mayoría de casos.

#### 3.2 Los medios de acceso para la inspección visual o el mantenimiento.

Como se ha comentado, independientemente de la aplicación de diversas técnicas no destructivas para el examen de los tirantes, ampliamente documentadas en la literatura, la inspección visual es el sistema preferido por los propios técnicos de conservación.

En determinados casos esta inspección puede hacerse con el auxilio de plataformas elevadoras o grúas con canastilla, pero con las limitaciones inherentes a la altura alcanzable con estos equipos y a las características del propio puente a inspeccionar (Figura 5).

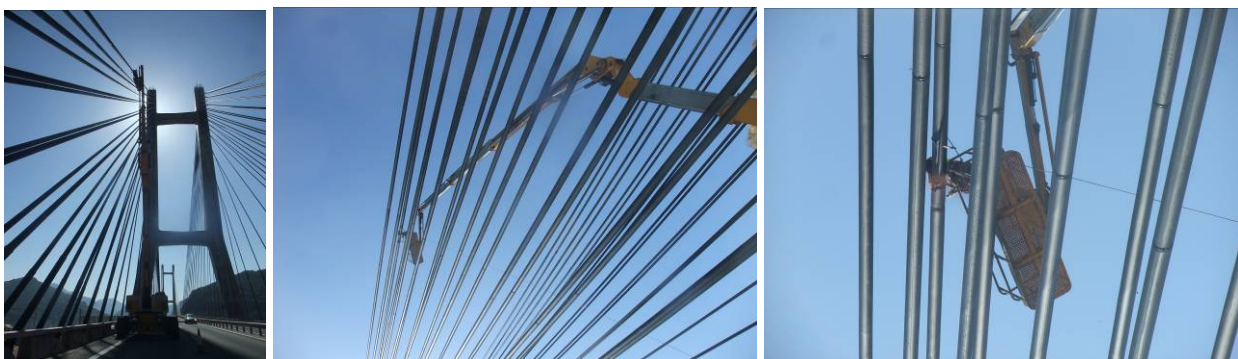


Figura 5. Realización de una operación de conservación en un tirante en el Viaducto Carlos Fernández Casado con auxilio de una plataforma articulada de 30 m de altura.

Pero la tónica general es el desarrollo específico de equipos que circulan bien sobre cada tirante, bien sobre el tirante superior, o sobre un cable auxiliar (Tabatabai, 2005); éste ha sido el caso del equipo desarrollado para la inspección de los tirantes en el puente Carlos Fernández Casado en España (Figura 6). Existen casos excepcionales, como el del Ministerio de Tráfico alemán, que ha

llegado a desarrollar un vehículo adaptable a todos los puentes atirantados alemanes (Saul et al., 1998, 2002 y 2007).



Figura 6. Equipo de inspección de tirantes del Viaducto Carlos Fernández Casado.

El uso de este tipo de canastillas facilita en gran medida una adecuada inspección de los tirantes pero implica considerables costes, de inversión, de mantenimiento y de uso del equipo, al exigir la intervención de especialistas en altura para su montaje en los diferentes planos de atirantamiento del viaducto.

La Figura 7 muestra (izquierda) dos pasarelas provisionales para acceso bajo el tablero empleadas respectivamente en la construcción del Viaducto C. Fernández Casado y en la obra de rehabilitación del puente de Amposta (Del Pozo et al., 2009). Desde un punto de vista del mantenimiento de este tipo de puentes cabe pensar si no merecería la pena invertir algo más en esos equipos provisionales de obra, para convertirlos en equipos permanentes para la inspección y el mantenimiento de la estructura a lo largo de su vida útil, como las de la Figura 7 derecha (Astiz et al., 2011).



Figura 7. Izquierda: pasarelas provisionales de obra para acceso bajo el tablero del Viaducto C. Fernández Casado (cortesía del Ing. D. Pablo Díaz Simal) y del Puente colgante de Amposta. Derecha: Pasarelas de inspección y mantenimiento de los Puentes de Rande y Waterford.

### 3.3 Procesos patológicos de los tirantes. Técnicas de mantenimiento.

Cuando se alcanzan aproximadamente 50-60 años de la aparición de los primeros puentes atirantados, la experiencia acumulada hasta la fecha demuestra la necesidad tanto de la inspección de los tirantes y de sus elementos como del desarrollo de técnicas específicas de reparación de los problemas surgidos hasta la fecha en ellos.

Los procesos patológicos de los tirantes más habituales, por efecto bien de acciones mecánicas, o ambientales o por una combinación de ambas, incluyen fatiga, corrosión, envejecimiento de plásticos, desgaste, deterioro de protecciones superficiales o de los materiales de relleno, vibraciones excesivas, y la dificultad general para confirmar con fiabilidad el estado de conservación de los cables internamente, especialmente en la zona crítica de los anclajes (ACHE, 2007) (Tabatabai, 2005). En este sentido, la propia tecnología de los tirantes ha ido



evolucionando con el tiempo, precisamente para evitar procesos patológicos que el tiempo ha demostrado que se estaban produciendo. Pero existe un cierto número de puentes, no despreciable, con tecnologías más o menos obsoletas en los que, por ejemplo, se han detectado problemas de agrietamientos y deterioros en las vainas de protección como los mostrados en la Figura 8.



Figura 8. Agrietamientos en vainas de protección de tirantes antiguos correspondientes a dos tecnologías diferentes.

En (Tabatabai, 2005) se comenta que se habían detectado problemas de agrietamiento de vainas en hasta un 14% de los puentes atirantados de EE.UU. incluidos en el estudio. Problemas del mismo tipo se han presentado en los puentes de Zárate-Brazo Largo en Argentina o el puente Luling en Louisiana así como fisuraciones en la lechada de cemento con que se inyectó la vaina (Ladret, 2013) (Saul et al, 1998, 2002 y 2007) (Tabatabai, 2005).

Cabe asimismo comentar la presencia de problemas en otras tipologías de tirantes (Gimsing et al., 2012) (Saul et al., 1998, 2002 y 2007) (Tabatabai, 2005), tales como los problemas de roturas de alambres en cables cerrados de puentes (Figura 9 a) como el de Köhlbrand, el de Maracaibo o el Norderelbe. En una línea similar y aunque no se trate de puentes atirantados, también cabe hablar de los problemas de corrosión hallados en las péndolas del puente de las Américas (Ladret et al., 2011) (Ladret, 2013) o en los cables principales y péndolas del puente de Amposta (Figura 9 b y c) (del Pozo et al., 2006).



Figura 9. a) Rotura de alambres en un tirante de cable cerrado; b) Rotura de alambres por corrosión en el puente de Amposta; c) Corrosión en péndolas del puente de las Américas.

Por lo que se refiere a las técnicas de mantenimiento de estos problemas, se transcribe seguidamente lo indicado en (Tabatabai, 2005) señalando que *“muchos de los métodos de evaluación y reparación están todavía en fases incipientes de su desarrollo y no existe suficiente información disponible sobre técnicas fiables y probadas. Prácticamente, los únicos elementos cuya reparación puede plantearse son las vainas de polietileno, los fuelles elastoméricos de*

*entrada de tirantes al tablero y los anillos de neopreno de los centradores. Sin embargo la reparación de daños por corrosión o por fatiga en los cables antiguos, ya sea en la zona aérea de los mismos o en los anclajes, es virtualmente imposible a menos que se sustituya el cable completo. El proceso de sustitución en sí mismo es un reto considerable, especialmente en los puentes más antiguos. El principal cometido de los inspectores e ingenieros de mantenimiento es, por tanto, la prevención. Y si ésta falla el ingeniero debe tener una herramienta fiable que le permita determinar si uno o varios cables deben ser sustituidos y cuándo.”*

Entre esas pocas técnicas que sí parecen suficientemente probadas está la de la reparación de vainas agrietadas mediante encintado helicoidal con una cinta elastomérica tricapa de un material polimérico de polietileno clorosulfonado, reforzada con fibras, que es posteriormente vulcanizada in-situ mediante tratamiento térmico con mantas eléctricas (Figura 10)<sup>1</sup>. El sistema se ha venido utilizando en puentes atirantados o colgantes desde 1992, al parecer con buenos resultados.



Figura 10. Reparación de vainas mediante encintado con banda elastomérica: a) Máquina de encintado; b) Tratamiento térmico de vulcanizado in situ; c) Aspecto de dos tirantes encintados.

Según lo comentado, los planes de mantenimiento en general deben incluir, entre sus contenidos, las técnicas de mantenimiento propuestas para la conservación del puente. En el caso de puentes atirantados esto implica que una de las cuestiones a prever es la sustitución de los tirantes.

Téngase en cuenta que las recomendaciones al uso (PTI, 2001), establecen que el proyecto de estructuras atirantadas debe tener en cuenta la posible sustitución de cualquiera de los tirantes, previendo la reducción de la sobrecarga de uso que sea necesaria en la zona de influencia del cable a sustituir; y en (FIB, 2005) se establece que, particularmente en puentes, los tirantes deben ser sustituibles, subrayando que el proyectista debe especificar si los tirantes son sustituibles o no, si pueden serlo solo de uno en uno o varios al mismo tiempo y si tal operación puede hacerse con carga de tráfico completa o es necesario reducirla o incluso cortar el puente al tráfico. En la misma línea, las propias consideraciones de durabilidad hacen que el tirante tenga que ser considerado un elemento reemplazable o, en caso contrario, deben utilizarse sistemas de atirantamiento con al menos la misma vida útil de la estructura (ACHE, 2007).

Pero esa capacidad del puente para admitir que un tirante pueda ser sustituido, no puede limitarse a que se realicen cálculos de comprobación de la adecuada capacidad del puente para seguir soportando las cargas de tráfico durante tal proceso de sustitución. Resulta absolutamente necesario que en los planes de mantenimiento de este tipo de puentes se incluya un proyecto de ese proceso de sustitución de tirantes.

Por otra parte, la experiencia parece demostrar la necesidad de prever desde el proyecto, incluyéndolo en el plan de mantenimiento, el procedimiento de sustitución de cables, a juzgar por

<sup>1</sup> Sistema Cableguard: <http://www.dsbrown.com/Bridges/CableCorrosionProtection/CableguardElastomeric.aspx>

el número de casos en que tal operación ha sido necesaria y que se han reflejado en la literatura: Amposta, Chaco-Corrientes, Köhlbrand, Las Américas, Luangwa, Luling, Maracaibo, Norderelbe, Zárate-Brazo Largo (Tabatabai, 2005) (Del Pozo et al., 2006) (Del Pozo et al., 2009) (Ladret et al., 2011) (Gimsing et al., 2012) (LDOTD, 2012) (Mehrabi et al., 2010). Y tal proyecto de sustitución debe incluir una valoración realista del coste de la operación. No debe olvidarse que, si tal operación no se ha previsto con un cierto nivel de detalle en la fase de proyecto del puente, las necesidades de medios de acceso y medios auxiliares para realizar esa operación pueden ser considerables y, sobre todo, con una repercusión económica completamente diferente a la que tales medios suponen durante la instalación y tesado de los tirantes cuando el puente se está construyendo. Puede ocurrir que el propio ejercicio de diseñar la operación de sustitución del tirante lleve a reconsiderar determinados detalles del diseño original del puente para hacer económicamente viable la operación.

#### 4. CONCLUSIONES

Con la experiencia acumulada de casi 60 años desde la construcción del puente atirantado de Strömsund, se puede afirmar que siguen existiendo una serie de retos básicos en lo que se refiere al mantenimiento y reparación de este tipo de puentes (Tabatabai 2005). Entre ellos se encuentran varios de los apuntados en este artículo, como acceso adecuado y seguro a los cables para su inspección y mantenimiento y desarrollo de métodos y procedimientos para la sustitución de tirantes (especialmente en puentes con sistemas antiguos de atirantamiento), además de técnicas para evaluar el estado de los anclajes, con coste y fiabilidad razonables, sobre todo en aquellos inyectados con lechada de cemento o epoxi.

Es de esperar que la redacción de planes de mantenimiento en los proyectos de puentes, ahora ya obligatoria en España, hará que tengan que desarrollarse, en el caso de puentes atirantados, nuevas ideas en cuanto a los temas citados en el párrafo anterior o bien que se modifiquen determinados detalles de los proyectos que faciliten la conservación de este tipo de estructuras y abaraten los costes de su conservación.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

ACEX (2010) *El libro verde de la conservación de infraestructuras en España*, ACEX, Madrid, [http://www.acex.ws/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=29&Itemid=70](http://www.acex.ws/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=29&Itemid=70) [citado 19 de febrero de 2013].

ACHE (Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural) (2007), *Manual de tirantes*, ACHE, Madrid – España, Apartado 4.3.3, pp. 164-166.

ACHE-ATC (Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural – Asociación Técnica de Carreteras), (borrador pendiente de publicación), *Guía para la redacción del plan de mantenimiento en puentes* (borrador final pendiente de publicación), ACHE-ATC, Apartado 2.

Astiz M.A., Manterola, J., Tarquis F., Muñoz-Rojas J., Santos A., Blanco L., Fernández S. (2011) *El puente atirantado sobre el río Suir en Waterford*, Hormigón y Acero Vol. 62 nº 262, octubre-diciembre 2011, pp. 7-37.

CPH (COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN) (2011), *EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural*, 5ª ed., Ministerio de Fomento – Secretaría General Técnica - Centro de Publicaciones, Madrid – España, Cap. XVIII – Art. 103, pp. 455-459.

- CPA (COMISIÓN PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO) (2011), *EAE Instrucción de Acero Estructural*, 1ª ed., Ministerio de Fomento – Secretaría General Técnica - Centro de Publicaciones, Madrid – España, Cap. XXIII – Arts. 92 a 94, pp. 495-498.
- Del Pozo F., Arrieta J. M., Cerezo A., Velando C. (2006), *Estudios, inspección especial y proyecto de rehabilitación del puente de Amposta*, Hormigón y Acero Vol. 57 n° 241, julio-septiembre 2006, pp. 5-41.
- Del Pozo F., Arrieta J. M., Cerezo A., Gómez M., Hue A., Vázquez A. (2009), *Obras de rehabilitación del puente colgante de Amposta*, Hormigón y Acero Vol. 60 n° 253, julio-septiembre 2009, pp. 7-42.
- DGC (Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento) (2012), *IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera*, Ministerio de Fomento – Secretaría General Técnica - Centro de Publicaciones, Madrid – España, Capítulo 2.1, p. 11.
- Fernández Casado C., Fernández Troyano L., Manterola J. (1979), *Puente atirantado sobre el río Ebro en Navarra*, Hormigón y Acero n° 130-132, enero-septiembre 1979, pp. 360-369.
- FIB (International Federation for Structural Concrete) (2005), *Acceptance of stay cable systems using prestressing steels*, FIB, Lausana-Suiza.
- Gimsing N.J., Georgakis C.T. (2012), *Cable Supported Bridges, Concept and Design*, John Wiley & Sons, UK, pp. 2.31.
- Ladret P., Pérez C., Vilchez P., Aguilar, O. (2011), *Rehabilitación del puente de las Américas en Panamá*, Hormigón y Acero Vol. 62 n° 261, julio-septiembre 2011, pp. 7-44.
- Ladret P., (2013), *Inspección de tirantes en puentes*, RUTAS n° 155, abril-junio 2013, pp. 12-28.
- LDOTD (Louisiana Dept. of Transportation & Develop.) (2012), *DOTD wraps up Hale Boggs Bridge cable replacement project*, <http://www.dotd.la.gov/pressreleases/Release.aspx?key=2143> [citado 19 febrero 2013].
- Manterola J., Fernández Troyano L. (1984), *Autopista Campomanes-León. Los puentes*, Hormigón y Acero n° 151, abril-junio 1984, pp. 21 a 115.
- Mehrabi A. B., Ligozio C. A., Ciolko A. T., Wyatt S. T. (2010), *Evaluation, Rehabilitation Planning, and Stay-Cable Replacement Design for the Hale Boggs Bridge in Luling, Louisiana*, Journal of Bridge Engineering ASCE, July/August 2010, pp. 364-372.
- PTI (Post-Tensioning Institute) (2001), *Recommendations for stay cable design, testing and installation*, PTI, Phoenix, U.S.A., pp. 49-52.
- Sánchez de León R., Bernal Pérez C., Sánchez de León F. (2012), *Puente atirantado de Talavera de la Reina*, Hormigón y Acero Vol. 63 n° 263, enero-marzo 2012, pp. 7-47.
- Saul R., Svensson H.S., Humpf K. (1998), *Cable-stayed bridges. The German Connection*, Concrete International, febrero 1998, pp. 71-75.
- Saul R., Humpf K. (2002), *Inspection and maintenance of cable-stayed bridges. German experiences*, First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management IABMAS 2002, Barcelona 14-17 julio 2002.
- Saul R., Humpf K. (2007), *Inspection, maintenance and replacement of stay cables*, Concrete International, Munich Bridge Assessment Conference MBAC 2007, Munich 9-12 julio 2007.
- Tabatabai H. (2005), *Inspection and maintenance of bridge stay cable systems. A synthesis of highway practice*, NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), Synthesis 353, Washington D.C., pp. 1-75.