

Diversas Patologías en Sistemas de Hormigón Pretensado. Diagnóstico, análisis y toma de decisiones

Various Pathologies in Prestressed Concrete Systems.

Diagnosis, analysis and decision making

Ignacio PULIDO SÁNCHEZ^a, Carlos JIMÉNEZ SOLANAS^b, Santiago SALAS FERNÁNDEZ POLANCO^c y Carlos MOSCOSO GREDILLA

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Desarrollo de Negocio. ignacio.pulido@tylin.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Jefe de Proyectos. carlos.jimenez@tylin.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Mexico. Jefe de Proyectos. santiago.salas@tylin.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Jefe de Proyectos. carlos.moscoso@tylin.com

RESUMEN

El presente artículo tiene como objeto recoger varios de los casos de patologías por corrosión en el acero del pretensado en diferentes tipologías de tableros y sistemas de pretensado, adherente, con torones aislados en elementos prefabricados o con vainas e inyectados en segunda fase en elementos “in situ”, así como en sistema de pretensado exterior o no adherentes. Como es bien sabido, estos problemas ya se produjeron en Europa y EE.UU. durante los años 80, 90 y principios de los 2000. Generalmente, éstos suelen estar asociados al fallo de los sistemas de drenaje, impermeabilización, así como al uso de sales fundentes de deshielo.

ABSTRACT

The purpose of this article is to report several cases of corrosion pathologies in prestressing steel in different types of panels and prestressing systems, bonded, with isolated strands in prefabricated elements or with sheaths and injected in second phase in ‘in situ’ elements, as well as in external or non-bonded prestressing systems. As is well known, these problems already occurred in Europe and the USA during the 1980s, 1990s and early 2000s. Generally, this damage is associated with the failure of drainage and waterproofing systems, as well as the use of de-icing salts.

PALABRAS CLAVE: Seguridad, puente, patología, pretensado, corrosión, inyección, lechada.

KEYWORDS: Safety, bridging, pathology, prestressing, corrosion, grouting, grout.

1. Introducción

El presente artículo tiene como objeto recoger varios de los casos de patologías por corrosión en el acero del pretensado en diferentes tipologías de tableros y sistemas de pretensado, adherente, con torones aislados en elementos prefabricados o con vainas e inyectados en segunda fase en elementos “in situ”, así como en sistema de pretensado exterior o no adherentes.

Como es bien sabido, estos problemas ya se produjeron en Europa y EE.UU. durante los años 80, 90 y principios de los 2000. En España se están empezando a detectar recientemente, con el lógico desfase temporal teniendo en cuenta el diferente nivel de desarrollo de las infraestructuras entre los países mencionados. En este trabajo se ofrece una visión general de los principales problemas detectados,

frecuentemente asociados al fallo de los sistemas de drenaje y estanqueidad, y al uso de sales de deshielo, que, junto con una inadecuada inyección de lechada, han provocado graves problemas de corrosión en los cables de pretensado.

En el caso de las patologías en elementos prefabricados, las patologías detectadas, no de menor entidad que en el caso de los pretensados inyectados, suelen estar ligadas, de igual forma a los problemas de drenaje, estanqueidad y uso de sales fundentes.

2. Tipologías de sistemas de pretensado más frecuentes en puentes

Si bien existe una gran variedad en cuanto a la tipología y soluciones de los diferentes sistemas de pretensado, el presente artículo se centra en aquellas que se consideran más frecuentes o habituales en puentes:

- **Pretensado adherente postesado.** Se refiere a aquel sistema de pretensado que se aplica tras el hormigonado, en una o varias fases, del elemento estructural correspondiente, utilizando las vainas o ductos instalados en primera fase por donde se introducen los cables. Posteriormente, se realiza el tesado y la inyección del tendón pasando dicha armadura a ser completamente “adherente” y, por tanto, a partir de ese momento, a presentar compatibilidad de deformaciones con el resto de la sección. Suelen ser la gran mayoría de puentes pretensados ejecutados “in situ”: losas cimbradas; cajones ejecutados con cimbras aporticadas; autocimbras; puentes en voladizos sucesivos, etc.



Figura 1. Detalle tipo de alma con pretensado postesado adherente.

- **Pretensado adherente presteso.** Se refiere a aquellos elementos estructurales en los que la acción del pretensado se aplica con anterioridad al hormigonado, como suele ser el caso habitual de las vigas prefabricadas: vigas doble “T”, artesas, cajones, etc.



Figura 2. Ejemplo de puente de vigas prefabricadas doble “T”.

- **Pretensado no adherente.** Este tipo de pretensado se corresponde con aquellos sistemas que, bien por la propia tecnología de los sistemas constructivos iniciales o bien por su implementación en actuaciones posteriores, el pretensado se dispone por fuera de la sección de hormigón resistente, si bien, generalmente, en el interior de la propia sección transversal. En algunos casos, especialmente en el caso de refuerzos de vigas doble “T”, se suele disponer por fuera de la sección resistente. Este tipo de sistema de pretensado es el menos habitual de los analizados.



Figura 3. Vista general de puente con sección cajón y postesado interior no adherente.

3. Reseña histórica de patologías en sistemas de pretensado

Los problemas en los diferentes sistemas de pretensado han sufrido diferentes etapas a lo

largo de los últimos 60 años, durante los cuales, incluso, ha llegado a haber períodos de prohibición de uso. Se indican a continuación los principales hitos o fechas más relevantes al respecto:

- **A lo largo de 1950**, después de la segunda guerra mundial, **se produce el gran desarrollo del hormigón pretensado en el mundo**, desarrollándose numerosos sistemas y patentes de sistemas de pretensado. El conjunto placa-vaina metálica se convierte en un estándar.
- **Prohibición en 1977 en Inglaterra el uso de pretensado exterior en puentes**, como consecuencia de los **daños severos detectados en los puentes “Braidley Road Bridge” en Bournemouth y en el puente “A3/A31 Bridge over the A3” en Guildford**, en los que hubo que proceder al reemplazo completo del pretensado.



Figura 4. Braidley Road Bridge. Vista general del puente y detalle interior del sistema de pretensado [1].

- **1980, colapso parcial del Salón de Congresos de Berlín**. El Palacio de Congresos de Berlín se construyó en 1957. El techo de doble curvatura se realizó con una avanzada técnica y cuidado de hormigón pretensado.



Figura 5. Vista general del palacio de Congresos tras su colapso [2].

En mayo de 1980, el voladizo del techo externo sur se derrumbó. El informe oficial sobre el siniestro indicó fallos en la ejecución del postesado, señalando la rotura del pretensado como causa del accidente.



Figura 6. Detalle del estado del pretensado tras el accidente. Claros defectos en la inyección de vainas [2].

- **1985, colapso del puente Ynys-Y-Gwas en Inglaterra**. En el año 1985 se produce el colapso sin previo aviso del puente Ynys-y-Gwas. El colapso del puente se produjo bajo la acción del peso propio, sin tráfico. Se trataba de un puente de carretera ejecutado con vigas doble “T” postesadas. En el año 1981 fue objeto de una inspección minuciosa no habiéndose detectado patología alguna.

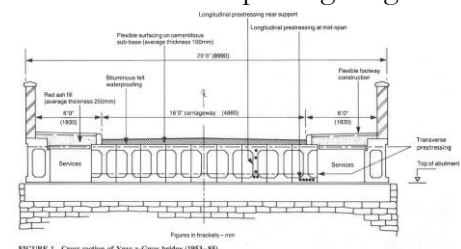


Figura 7. Sección transversal puente Ynys-Y-Gwas



Figura 8. Imagen tras colapso del puente

Tras el incidente se realizó una exhaustiva investigación sobre las causas del colapso, concluyéndose que la

principal causa del colapso fue la corrosión de las armaduras del pretensado, acentuada por la presencia de cloruros procedentes del uso de sales durante las campañas de vialidad invernal. Adicionalmente, se destaca la ineffectividad del sistema de impermeabilización del tablero como causa coayudante al colapso.

- **1992, colapso del puente Malle sobre el río Schelde (Bélgica).** Nuevamente el colapso de la estructura se achaca a la



Figura 9. Vista general del puente Malle tras el colapso [1].



Figura 10. Detalle de la rotura de cordones de postesado descubiertos tras el colapso del puente [1].

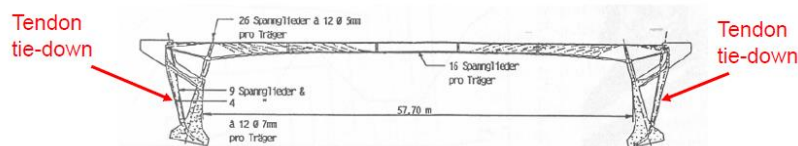


Figura 11. Esquema estructural del puente. Rotura del tirante de empotramiento en estribo [1].

- **1992 prohibición de la construcción de puentes postesados en Inglaterra tras la publicación de la investigación oficial del colapso del puente Ynys-Y-Gwam, en donde se constataron las conclusiones anteriormente citadas.**

En paralelo a esta prohibición se procedió a la investigación y desarrollo de nuevos sistemas y materiales de ejecución de los trabajos de postesado de estructuras de hormigón pretensado, levantándose la prohibición instaurada tras la publicación del informe TR47 Durable bonded post-

tensioned concrete bridges en 1996.

No obstante, los trabajos de investigación y estudio a nivel local (UK) e internacional no cesaron, siendo conscientes de la necesidad de seguir avanzando en la problemática detectada. Los principales aspectos en los que incide dicho documento son:

- Procedimientos de trabajo que aseguren la completa inyección de las vainas.
- Uso de lechadas de inyección sin retracción ni segregación. No hay cambio en el procedimiento de ensayo

- Implementación de capas múltiples de protección: impermeabilización de puentes, vainas de plástico, capóts de protección, protection caps, puntos de purga, etc...
 - Realización de ensayos de estanqueidad de vainas previo a su inyección.
- **1995 demolición y reconstrucción del puente Taf Fawr Bridge (1964).** Estructura postesada inglesa en donde se detectó el deterioro y corrosión del pretensado por efecto de las filtraciones de agua y del arrastre de sales de deshielo.

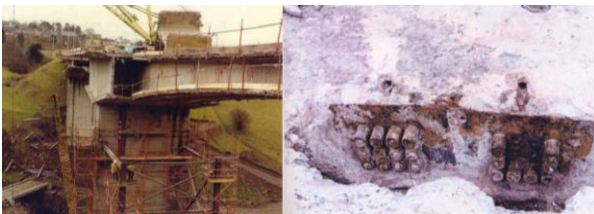


Figura 12. Vista general del puente durante el desmontaje (izquierda) y detalle de placas de anclaje con claros síntomas de corrosión [3].

- **1996: Desarrollo de un ensayo normalizado para comprobar la estabilidad de las lechadas de pretensado por el SETRA (Francia).** Este ensayo consiste en el uso de un tubo inclinado de 5 m de longitud con una serie de cables. Este ensayo fue incorporado posteriormente en la norma EN-445 “Lechadas para tendones de pretensado. Métodos de ensayo”.

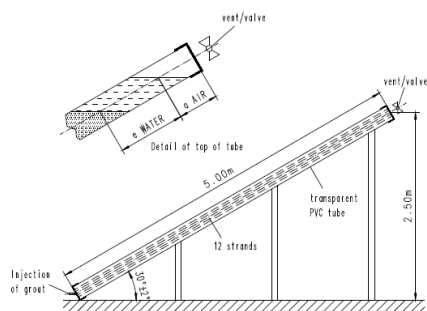


Figura 13. Esquema general del procedimiento de ensayo de estabilidad de lechadas SETRA

- **En el año 1999 se publicó el libro “Post-tensioned concrete bridges/ Ponts en béton précontraint par post-tension”** siendo éste el resultado de un amplio estudio técnico desarrollado en conjunto por la agencia de autopistas del Reino Unido y por el laboratorio de puentes de Francia. En total se estudiaron 163 puentes, de los cuales se pudo comprobar que el 12% presentan graves defectos de inyección.
- **En el año 2002 se publicó el boletín nº 20 de la fib “Grouting of tendons in prestressed concrete”** recogiendo la problemática existente y proponiendo nuevas especificaciones para las lechadas de inyección de postesados, metodología de ensayos y frecuencias de control. Gran parte de dichos estándares fueron adoptados por el Comité Europeo de Normalización (normas EN) en la revisión de la norma EN-445 “Lechadas para tendones de pretensado. Métodos de ensayo” en el año 2007.
- **En el año 2005 la fib publicó el boletín nº 33 “Durability of post-tensioning tendons”** en donde se introduce el concepto del nivel de protección “PL1 a PL3” en función del ambiente en que se encuentren las estructuras.
- **En el año 2010 se detectó el fenómeno “Soft Grout”** en diferentes puentes en Italia y Suiza, consistente en la corrosión muy localizada y agresiva que es iniciada dentro de la propia matriz de lechada, sin factores externos. El “soft grout” consiste en la falta de curado de una parte de la lechada, generando un producto menos consistente que la lechada cementosa curada, con apariencia de masilla gelatinosa.

- **Septiembre de 2018.** Se produce la rotura de un cable de postesado interior en el puente de “l’île de Ré” en Francia a los 30 años de su vida útil.



Figura 14. Vista general del puente l’île de Ré



Figura 15. Imagen del cajón interior en donde se puede observar el cable roto

Tal y como ha quedado anteriormente documentado, los problemas y patologías asociadas a los puentes pretensados han tenido un importante desarrollo y evolución a lo largo de los últimos años a lo largo de todo el mundo. En este, sentido y como se ha comentado previamente, resaltar el desfase existente en España en la aparición/detección de estos defectos atribuible, al mayor retraso en el desarrollo de las infraestructuras, tanto en lo relativo a su edad como a la utilización de sistemas de pretensado más avanzados que en sus comienzos como ocurrió en centro Europa.

3. Patologías, asociadas a cada sistema de pretensado

3.1. Pretensado adherente “preteso”

En las soluciones de elementos pretensados pretesos más habituales, los torones de pretensado quedan embebidos en la sección de hormigón desnudos y de forma aislada como si de una armadura pasiva se tratara.

Los daños más frecuentes de este tipo de sistemas de pretensado van asociados a los mecanismos de degradación y corrosión del hormigón armado, si bien, generalmente, se pueden destacar como agravante el propio proceso de corrosión bajo tensión.

Los daños que generalmente se manifiestan en este tipo de elementos, no suelen tener un origen en el propio sistema de pretensado en sí mismo, sino que suelen estar motivados por la circulación de agua con sales fundentes por los paramentos de las vigas afectadas, lo que supone que se produzca una concentración de daños en dichas zonas. Dichas humedades, ricas en sales fundentes, acaban produciendo la degradación superficial del hormigón que, unido a los ciclos de hielo-deshielo, producen una degradación acelerada del hormigón en dichas zonas. Además, hasta pocos años, era frecuente no considerar los hormigones de las vigas pretensadas como elementos que pudieran estar sometidos a las sales fundentes, diseñándose para ambientes mucho más favorables a los que los que realmente se acaban sometiendo, así como con recubrimiento reducidos como consecuencia del mayor control de fabricación. En consecuencia, se puede afirmar que los daños de carácter durable que manifiestan este tipo de sistemas de pretensado suelen estar más asociadas a un fallo en la impermeabilización y drenaje de los tableros que al fallo del sistema de pretensado en sí mismo. Las zonas de daño, por tanto, se pueden establecer, generalmente, en 3 casos diferenciados:

- **Vigas con daños puntuales,** generalmente fruto de la inadecuada disposición de los sumideros o fallos en el sistema de evacuación. En estos casos, los daños suelen ser bastante acusados, aunque de forma acotada en el alzado de las vigas, no más de un par de metros generalmente.



Figura 16. Ausencia de bajante en sumidero de tablero, produciendo la circulación del agua por los paramentos de losa y viga, produciendo graves daños en el pretensado de la viga

Será función de la ubicación de los daños y, lógicamente, de su alcance, las posibles decisiones y soluciones a adoptar, puesto que, por la propia naturaleza de la estructura, los torones sanos vuelven a anclarse y, por tanto, a ser efectivos, lo que permite adoptar diferentes soluciones técnicas de reparación y refuerzo que irían desde su sustitución hasta el refuerzo puntual con armadura pasiva.

- **Vigas con daños de gran longitud**, generalmente fruto del fallo del sistema de impermeabilización, que permite la circulación de agua con fundentes a través de la junta constructiva losa-zuncho/pretil, de forma que la circulación de agua se produce de forma más uniforme y, por tanto, con menor caudal.



Figura 17. Grave afección al pretensado de las vigas laterales por afección directa de agua con fundentes sobre los paramentos de hormigón

En general, en estos casos, si bien nuevamente las soluciones a implementar dependerán del nivel de daño existente, las soluciones deben plantearse de carácter más general, que abarque la

totalidad de la viga, al extenderse dichos daños en longitudes mucho mayores. Como soluciones habituales suele plantearse la implementación de un pretensado adicional de refuerzo que, en función del estado de la viga podrá ser exterior si no se requiere grandes saneos o interior mediante recrecido de la sección si se requiere de grandes zonas de saneado del hormigón. En determinados casos, se podría llegar, incluso, a plantear el cambio completo de viga.

- **Extremos de vigas**, fruto, generalmente, de la circulación de agua a través de las juntas de dilatación de los tableros, con una mayor incidencia en las vigas de borde, produciendo daños puntuales en el hormigón, así como en la zona de anclaje del pretensado. Generalmente se produce la lajación y corrosión tanto de los cercos como de la zona extrema de los torones, afectando a la capacidad de anclaje de la biela comprimida y, por tanto, poniendo en riesgo la estabilidad de la viga, con carácter frágil.

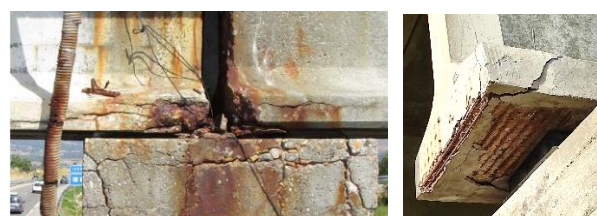


Figura 18. Ejemplos de afección puntual del pretensado en zonas de culata de viga.

La solución en estos casos suele pasar por realizar un refuerzo local con armadura pasiva adosado al ala inferior de forma que suplemente la pérdida de área y, sobre todo capacidad de adherencia/anclaje del presentado original de la viga.

3.2. Pretensado adherente “posteso”

Las patologías del pretensado adherente posteso suelen ir ligadas, fundamentalmente, a los

problemas de ejecución ya citados anteriormente, en donde los defectos de inyección del pretensado suelen acabar derivando en problemas de corrosión del pretensado. En general, estos problemas suelen presentarse en las siguientes zonas:

- **Zonas de anclaje/acopladores.** Estas zonas suelen ser las más delicadas, tanto si han sido utilizadas como puntos de inyección como de purga. Cualquier tipo de asiento o defecto de la lechada (“soft grout”) podría dejar los cables del pretensado al descubierto que, unido a la presencia de los propios tubos de purga, supone un claro punto débil de cara al comportamiento durable de este sistema de pretensado.

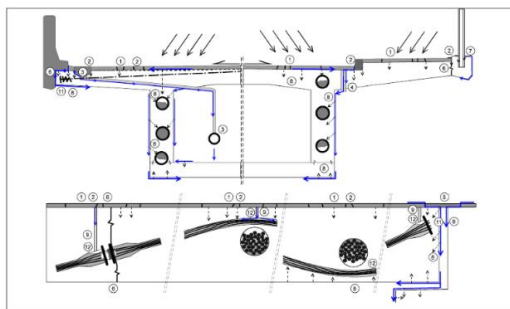


Figure 10 Hazard scenarios for prestressing steel in a typical box girder bridge: Indication of potentially “weak points” where water (possibly contaminated with chlorides) can gain access to the tendons and cause corrosion

- | | |
|---|---|
| <p>Non-structural elements:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Defective wearing course (e.g. cracks) 2. Missing or defective waterproofing membrane incl. edge areas 3. Defective drainage intakes and pipes 4. Wrongly placed outlets for the drainage of wearing course and waterproofing 5. Leaking expansion joints 6. Cracked and leaking construction or element joints 7. Inserts (e.g. for electricity) | <p>Corrosion protection system:</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Defective concrete cover 9. Partly or fully open grouting in- and outlets (vents) 10. Leaking, damaged metallic ducts mechanically or by corrosion 11. Cracked and porous pocket concrete 12. Grout voids at tendon high points |
|---|---|

Figura 19. Esquema de zonas críticas del pretensado en una sección cajón tipo de hormigón [6]



Figura 20. Ejemplo de tablero de puente seccionado en donde se diferencian diferentes defectos de inyección de los tendones del pretensado.

- **Puntos altos del trazado del pretensado.** Para garantizar la salida del

aire durante la inyección del pretensado, deben disponerse puntos de purga en los puntos altos del trazado del pretensado. De igual forma que en el caso anterior, ante cualquier tipo de defecto en el sistema de pretensado, unido a la proximidad de los cables al paramento superior del tablero, suponen un punto bastante crítico de cara a la corrosión del pretensado, especialmente en las estructuras sin impermeabilizar y situadas en zonas de uso de sales fundentes.



Figura 21. Inspección de tendón de pretensado en punto alto de trazado. Relleno inadecuado del tendón, con corrosión y rotura de torones.

- **Pretensado transversal.** En los primeros puentes de hormigón pretensado, especialmente, se disponían una serie de familias de pretensado transversal en losas y/o cajones, de trazado muchas veces cuasi horizontal y, por tanto, de difícil garantía de garantizar el completo relleno de las vainas. Este hecho, unido a las habituales fisuraciones de losa, tanto por retracción como por esfuerzos, produce una fácil entrada de los agentes corrosivos al pretensado ante una deficiente impermeabilización del tablero.

En general, en todos estos casos, se han de destacar los siguientes aspectos:

- **Son daños difíciles de inspeccionar/diagnosticar** por sí mismos, salvo que se haga una inspección expofeso. Únicamente, en algunos casos, si el nivel del defecto es muy grande, se

pueden a producir defectos externos como la salida de agua por los bloques de anclaje o por los propios paramentos del del hormigón.



Figura 22. Eflorescencias en paramento de hormigón como consecuencia del agua filtrada desde el interior de la vaina al exterior.



Figura 23. Humedades en interior de cajón como consecuencia del agua que circula desde la plataforma al interior a través de los tendones.

En cualquier caso, llegar a conocer el estado de conservación de un pretensado interior adherente al 100% resulta muy complejo y económicamente costoso.

- **Reanclaje de cables.** Al igual que en los puentes pretensados prefabricados, el fenómeno del reanclaje de los torones se produce igualmente, si bien en este caso, no es fácil de evaluar ni de garantizar. A este respecto, existen estudios a nivel de investigación [7] en donde se confirma dicho efecto.
- **Análisis y toma de decisiones.** El análisis y toma de decisiones en este tipo de estructuras requiere de un estudio detallado y pormenorizado, ligado tanto a las patologías y defectos que manifieste la estructura como al conocimiento de la misma siendo conocedores de las limitaciones existentes. Generalmente, en

base a los datos certeros que se hayan podido obtener de las inspecciones realizadas, se deberá realizar un cálculo de sensibilidad de la problemática de forma que se valorar y plantear adecuadamente las medidas correctoras adecuadas. En este sentido, las soluciones a adoptar ante este tipo de patologías suelen requerir de soluciones importantes como la disposición de pretensados exteriores de refuerzo, el cambio de la configuración estructural (pilas adicionales) cuando fuera posible o, incluso, proceder a la sustitución de la estructura en cuestión.

- **Concomitancia de daños.** En aquellas estructuras que se pudieran producir daños concomitantes que afecten a la integridad del hormigón, como pudiera ser el ataque por árido-álcali, defectos del sistema de impermeabilización, o cualquier otro daño asimilable que pudiera afectar al monolitismo del hormigón y, por tanto, a su capacidad protectora, se deberán extremar las precauciones y adoptar hipótesis de valoración más conservadoras, fruto de la mayor incertidumbre asociada.

3.3 Pretensado no adherente

El pretensado no adherente, en general, presenta defectos muy similares a los indicados para el pretensado adherente, teniendo en cuenta, lógicamente, las diferencias del sistema. Generalmente los daños suelen concentrarse en los bloques de anclaje del pretensado, nuevamente por posibles defectos en la lechada y/o por efecto del “soft-grout”, en donde la decantación de la lechada y la formación de “espumas” de alta porosidad permitirían, ante la una eventual entrada de agua, su circulación por el interior del bloque y del tendón del pretensado, permitiendo la corrosión del pretensado.

Las zonas interiores de los tendones, si bien son igualmente susceptibles de presentar oquedades y zonas con defectos de inyección, lo que podría acabar generando la corrosión del acero sin necesidad de aportación de agua externa, puesto que el hermetismo de las vainas haría que el agua de la lecha se acumulara en dicha oquedad, pudiendo llegar a producir la corrosión del pretensado.

La ventaja de este sistema de pretensado frente al adherente es que, al quedar totalmente exento por el interior de la sección, resulta más fácil de inspeccionar, si bien la zona de los bloques de anclaje, suelen ser complejos de inspeccionar y requieren de realización de ensayos destructivos, aunque suelen estar situados en zonas accesibles de la sección.

La mayor accesibilidad en este caso al pretensado, permite su inspección más pormenorizada, así como suele permitir detectar eventuales indicios de circulación de agua por el interior de los bloques del pretensado, tal y como se muestra en la figura siguiente.



Figura 24. Indicios de circulación de agua en los bloques de anclaje del sistema de pretensado no adherente.

Como se ha comentado, este sistema de pretensado se puede considerar totalmente inspeccionable. En las zonas exentas se puede realizar desde su inspección visual, pasar la sonda capacitiva o flujo magnético para la detección de defectos de inyección, ensayos de cuerda vibrante para confirmar la carga de los tendones, etc. Los bloques del pretensado junto con la zona de los mamparos o desviadores de anclaje suelen ser las zonas más complejas de inspeccionar, si bien mediante taladros puntuales y el endoscopio se pueden llegar a inspeccionar con bastante precisión, pudiendo realizar su valoración con un grado de precisión muy elevado.



Figura 25. Tendones de pretensado en interior de bloque con ausencia de lechada y con indicios de corrosión.

En cuanto a las soluciones a implementar ante este tipo de daños, suele ser relativamente sencillo, puesto que son sistemas que, de forma más sencilla, o más compleja, permiten la completa sustitución de los tendones.



Figura 26. En la izquierda, gato mono torón de reducidas dimensiones (30 cm). A la izquierda, proceso de tesado de cables durante una operación de cambio de tendones postesados.

Referencias

- [1] Durable Post-Tensioned Concrete Structures. Concrete Bridge Development Group, July 2011
- [2] Partial collapse of the Berlin Congress Hall on May 21st, 1980
- [3] Full-Scale Testing Of Prestressed Concrete Structures/Durable Post-Tensioned Concrete Structures
- [4] Note d'information 21. SETRA
- [5] <https://www.notre-ile-de-re.com/actus/les-cables-du-pont-de-lile-de-re/>
- [6] MATT, Peter & Hunkeler, Fritz & UNGRICH, Heidi. (2000). Durability of Prestressed Concrete Bridges in Switzerland. IABSE Congress Report. 16. 1097-1104. 10.2749/222137900796313654.
- [7] Zghayar, Elie El. "Transfer And Development Length Of Strands In Post-tensioned Members After Anchor Head Failure." (2010).