

Rehabilitación del interior de la cubierta del depósito de agua tratada de Petritegi. Aprendiendo de reparaciones anteriores. Más allá de lo evidente

Refurbishment of the roof of the Petritegi treated water tank. Learning from experience and looking beyond the obvious.

Fernando Rodríguez García ^a, Iñaki Jaime Azpiazu ^b, Javier Martínez González ^c,
Pablo Alonso Medina ^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, FHECOR, Director de Departamento, frg@fhedor.es

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, INJELAN, Jefe de Proyecto, ija@injelan.com

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, FHECOR, Ingeniero de Proyecto, jmg@fhedor.es

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, FHECOR, Ingeniero de Proyecto, pam@fhedor.es

RESUMEN

El depósito de Petritegi contiene el agua tratada en la ETAP del mismo nombre que potabiliza el agua procedente del embalse de Añarbe y da servicio a San Sebastián y otros nueve municipios de la zona. En este depósito es donde se produce la cloración del agua (última de las distintas fases de tratamiento que se realizan en la ETAP), lo que configura un ambiente especialmente agresivo para la durabilidad. Construido en el año 1989, ya fue objeto de una reparación anterior durante el año 2001. Sin embargo, en el año 2017, Aguas de Añarbe decidió abordar una nueva intervención ya que se habían detectado nuevos síntomas de daño en la cubierta del depósito. Por ello, FHECOR-INJELAN llevaron a cabo el estudio de las causas de los daños y el correspondiente proyecto de rehabilitación.

ABSTRACT

Petritegi's tank stores the water treated in the DWTP of the same name, which purifies the water from the Añarbe reservoir and serves San Sebastián and other nine municipalities in the area. Water is chlorinated in the tank which is the last of the different phases of treatment that are performed in the DWTP. This process generates a particularly aggressive environment and affecting durability. Built in 1989, it had already undergone a previous restoration in 2001. However, Aguas de Añarbe decided to undertake a new intervention in 2017, as new signs of structural damage had being detected on the roof of the tank. Therefore, FHECOR-INJELAN conducted a study aiming to identify the causes of this damage and the most suitable refurbishment method.

PALABRAS CLAVE: depósito, mantenimiento, rehabilitación, agresividad, patologías, inspección.

KEYWORDS: tank, maintenance, refurbishment, environmental aggressiveness, pathologies, inspection.

1. Introducción

En 1989 se construye la ETAP de Petritegi (que incluye el depósito de agua tratada) en Astigarraga, Guipúzcoa.

Se trata de un depósito donde se produce la cloración del agua, que proviene del embalse de Añarbe, antes del suministro a la red de distribución

En 2017, los problemas que presentaba la estructura se concentraban en la cubierta prefabricada de hormigón, de sección nervada, y que ya fue objeto de una reparación hace aproximadamente 18 años. Un porcentaje elevado de los nervios que conforman la cubierta presentaban fisuras en sentido longitudinal. Por otra parte, también se observaron desprendimientos de algunas zonas del mortero con el que se reparó la sección en su momento. Además, existían algunas manchas de óxido que pudieran denotar, en principio, la corrosión de las armaduras pasivas.

En este artículo, se presenta el análisis llevado a cabo para identificar las causas del daño y la estrategia de reparación que se desarrolló en el correspondiente proyecto de rehabilitación.

2. Descripción de la estructura

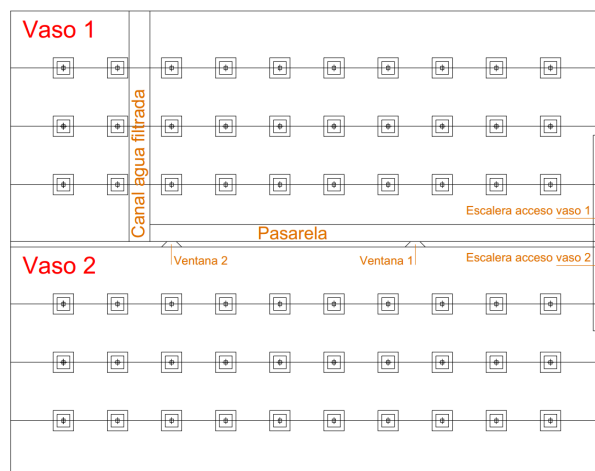
El depósito de Petritegi es de planta rectangular y está compuesto por dos vasos con planta de 70×27 m² cada uno, con capacidad de contener una altura de 5.50 m de agua. El vaso 1 se identifica como el situado más al norte de los dos.

La cubierta del depósito está formada por vigas prefabricadas en pi de hormigón armado y canto 0.30 m sobre la que descansa una capa de compresión de 5 cm de espesor. La sección nervada de la cubierta se apoya en los pórticos formados por vigas prefabricadas de 0.50 m de

canto y pilares de hormigón armado de sección 0.40×0.40 m².



El acceso a cada uno de los dos vasos, situados a la cota +80.00 se realiza a través de unas escaleras. En el vaso 1 cruza una pasarela desde la entrada al depósito (cota +86.00) hasta el canal que suministra el agua a los dos vasos. Por medio de dos ventanas situadas sobre la pasarela, queda comunicado el vaso 1 con el vaso 2.



3. Intervenciones previas en el depósito

En los últimos años, la estructura ha sido objeto de algunas reparaciones. A continuación, se presentan los momentos más relevantes:

1. 1989. Proyecto constructivo, redactado según la Instrucción entonces vigente, EH-88.
2. 2001. Proyecto de reparación en el que se define el proceso general de la reparación estructural en vigas y pilares:
 - Eliminación del material hasta descubrir árido sano.
 - Eliminación del hormigón en todo el contorno de la armadura en proceso de oxidación.
 - Eliminación del óxido de las barras. En el caso de que la pérdida de sección de armadura sea más del 30%, se refuerza mediante un solapamiento de una barra de capacidad mecánica similar.
 - Aplicación de imprimación anticorrosión a las armaduras.
 - Aplicación de una resina epoxi a la superficie de hormigón
 - Relleno mediante un mortero expansivo.



En el caso de las placas, la actuación de reparación se extiende a la totalidad de los nervios.

3. 2003. Colocación de dren perimetral e impermeabilización de la cubierta con tela asfáltica.
4. 2008 y 2009. Limpieza con chorro de agua y tratamiento de filtraciones en el depósito para, posteriormente, aplicar un revestimiento elástico con resina de poliuretano. A continuación, se retiró la capa vegetal de la cubierta y se colocó una impermeabilización mediante láminas de caucho EPDM. Finalmente se pintó la cubierta.
5. 2012. Fisuración en los nervios.



6. A partir de 2014. La Propiedad encarga diferentes estudios para profundizar en el diagnóstico.

4. Inspección y análisis de daños

Entre los meses de marzo y septiembre de 2017, los autores de este artículo realizaron los trabajos de inspección de la totalidad de la estructura, a partir de los cuales se elaboraron mapas de daño que permitieron cuantificar y valorar la extensión de todos los daños.

Los principales daños observados se extendían por la cubierta, identificando fisuras longitudinales y manchas de óxido. Inicialmente el primer caso se asoció al desarrollo de la corrosión y para identificar las posibles causas de las manchas, se realizaron varias comprobaciones. En algunos casos, resultó ser

un alambre suelto y en otros, la armadura del cerco. Probablemente, en el primer caso, es debido a una mala limpieza antes de hormigonar, y en el segundo, a un recubrimiento bajo.

Por otro lado, al comparar la parte del daño que le corresponde a cada elemento, la viga en pi fue el elemento estructural que presentaba un mayor porcentaje de daño.

5. Auscultación y ensayos

Como es bien conocido, en este tipo de elementos de hormigón armado, las causas que normalmente pueden provocar la corrosión son la carbonatación del hormigón y la existencia de iones cloruro.

Dadas las características de la instalación, destinada a almacenar agua con un cierto nivel de concentración de cloro, el plan experimental se planteó para valorar la situación frente al ingreso de cloruros en las zonas más dañadas. Asimismo, considerando que en el año 2002 se había detectado una profundidad de carbonatación superior al recubrimiento, también se consideró este tipo de determinaciones en esta fase de los trabajos.

Por lo tanto, el plan de ensayos tuvo como finalidad conocer la situación actual de la estructura en relación con algunos parámetros que permitan explicar los daños observados. Los 20 testigos extraídos fueron representativos de cada uno de los elementos estructurales del depósito así como de la frecuencia de aparición de daños. Se utilizaron para realizar ensayos de resistencia a compresión del hormigón, determinaciones del contenido de iones cloruro y de profundidad de carbonatación. Además, se llevaron a cabo mediciones in situ para determinar el espesor de recubrimiento, la medición de los diámetros de armadura y la profundidad de carbonatación.

Los resultados de resistencia fueron superiores a la definida en el proyecto y en todos los casos en los que se conocía el

recubrimiento, la profundidad de carbonatación fue inferior a dicho valor. Por último, en el caso de los cloruros, el contenido de cada una de los distintos puntos de los perfiles ensayados, fueron sorprendentemente bajos, inferiores al 0.25% s/c.

A la vista de los resultados de los ensayos, podría parecer que el origen de los daños no haya sido ninguno de los anteriores debido a los valores relativamente bajos de carbonatación y cloruros. Por lo tanto, se consideró adecuado realizar una campaña adicional para confirmar los datos de contenido de cloruros. Sin embargo, aunque los nuevos valores fueron superiores a los anteriores, las concentraciones fueron sensiblemente por debajo de los umbrales para el inicio de la corrosión de las armaduras que define la Instrucción EHE-08 [1].

Por consiguiente, como podría interpretarse que, en principio, dichos valores no justifican el desencadenamiento de los procesos de corrosión que presenta la cubierta, fue conveniente abrir nuevas hipótesis de trabajo, que podrían denominarse “menos habituales”, pero que permitan explicar lo ocurrido.

6. Análisis de las posibles causas del daño

A la vista de que los criterios “convencionales” no parecían dar explicación inmediata a lo ocurrido en este caso, fue conveniente considerar como posibles algunas de las siguientes hipótesis:

- a) Que la corrosión se hubiera producido por la presencia de iones cloruro y que se hubiera podido desencadenar para un valor umbral inferior al definido en el Instrucción EHE-08.
- b) Que la fisuración existente no se haya provocado como consecuencia de la corrosión de las armaduras sino que dicha fisuración haya sido originada por

otras causas y que, en este caso, la corrosión sea el efecto y no la causa de la misma.

- c) Que el proceso de reparación de los nervios de la cubierta en el año 2001 pudiera haber presentado alguna deficiencia que hubiera colaborado posteriormente al deterioro.

Por otra parte, dado que no se trata de un caso convencional, fue importante conocer si el proceso de corrosión estaba activo en el momento del estudio o si por el contrario, lo hubiera estado en algún momento, pero pudiera estar neutralizado. Esto fue determinante para plantear el grado de intervención en la cubierta.

6.1. Mecanismo de daño más probable que ha provocado las patologías

A continuación, se explica que el mecanismo más probable que habría provocado los daños sería el resultado de varios procesos a lo largo del tiempo.

En el año 2002 los nervios de la cubierta presentan una serie de daños cuyo origen se identifica en su momento como corrosión. Dicha patología, afectaba fundamentalmente a la armadura longitudinal inferior de los nervios, aunque no exclusivamente.

Sin embargo, pese a la diversidad de situaciones presentes en las armaduras de los nervios, el proyecto de reparación especificaba que se actuase de igual forma sobre la totalidad de las armaduras, descarnando en su totalidad el hormigón que lo rodea.

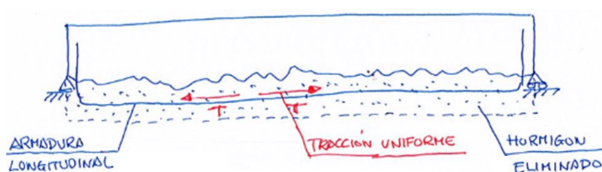


Figura 6. Comportamiento como tirante de la armadura longitudinal inferior.

Esta prescripción ha supuesto una modificación del comportamiento mecánico de la armadura principal, que ha pasado a trabajar

como un tirante sometido a tracción uniforme en toda su longitud. Figura 6.

Además, entre las armaduras que presentaban síntomas de corrosión en el año 2002, no todas presentaban el mismo grado de deterioro. A la vista del reportaje fotográfico al que se tuvo acceso, en algunos casos, la pérdida de sección debida a la corrosión provocaba una disminución importante de la geometría de las corrugas.



Figura 7. Comparación de la geometría de corruga en diferentes armaduras según grado de corrosión.

Mientras que en la imagen superior de la Figura 7, se observan claramente las corrugas de la armadura, no ocurre lo mismo en la imagen inferior. Además, una observación más detallada permite diferenciar dos situaciones:

- a) la de la armadura más próxima, que presenta unas corrugas difícilmente perceptibles, como consecuencia de la corrosión, y
- b) la de la armadura más alejada, que presenta una situación algo mejor pudiéndose percibir la geometría, si bien con algo de desgaste respecto a las barras no dañadas.

Dentro de los procesos contemplados para la reparación, se incluyó la protección de la armadura mediante aplicación de un revestimiento de resina epoxi.



Figura 8. Armadura protegida con resina epoxi.

Las consecuencias de la aplicación de dicha capa de protección fueron:

- a) Donde la geometría de corruga estaba bastante deteriorada, contribuyó a “alisar” más la superficie de la barra.
- b) La aplicación de la resina parece que no fue uniforme alrededor de las barras. En la Figura 8 se aprecia que la resina escurrió en su momento formando goterones. Cabe deducir por lo tanto, que el espesor de la capa de protección es menor en la zona superior de las barras. De hecho, la mancha de óxido que se advierte en el mortero, parece denotar que, por alguna razón, en esa zona la protección no fue suficiente y se ha producido corrosión.
- c) La propia aplicación del revestimiento de resina epoxi, una vez endurecida la misma puede provocar un descenso en la capacidad de adherencia con el mortero, pues disminuye su coeficiente de rozamiento en relación con el que se tendría en el caso de armaduras no protegidas con epoxi.
- d) Dado que el tratamiento se efectuó únicamente, como no podía ser de otra manera, sobre las armaduras que quedaron a la vista tras el descarnado del hormigón que las rodeaba, la

protección afecta solo a una parte de las armaduras del nervio.

- e) Por otra parte, todas las armaduras del mismo están conectadas eléctricamente a través de los cercos, pues la resina epoxi sólo recubre el contorno exterior del conjunto barra longitudinal-cerco, pero no impide el contacto entre la cara interior del codo de los cercos y la superficie exterior de la armadura longitudinal. De hecho, puede comprobarse que estas “zonas de contacto” son especialmente sensibles en su comportamiento frente a la corrosión.



Figura 10. Estado de la capa de protección durante la inspección de 2017.

Además, a la vista de los daños existentes en algunas de las barras longitudinales de los nervios, no parece existir ninguna seguridad de que la protección de resina se hubiera efectuado en su momento tras una limpieza adecuada de los productos de corrosión. En ese caso, aun cuando la adherencia mortero-epoxi fuera

adecuada, de no haberse eliminado bien todos los productos de corrosión podría haberse producido una zona de debilidad en la adherencia epoxi-armadura debido a, precisamente, dichos productos de corrosión no eliminados. Este mecanismo explicaría definitivamente la existencia de situaciones con las ya indicadas y que muestra la Figura 10.

Una vez protegida la armadura con epoxi, se procedió a la recuperación de la sección con un mortero de reparación poroso, tal y como acreditan las imágenes de las Figuras 8 y 9.

En consecuencia, a la vista de lo anteriormente expuesto sobre la merma de la sección de corrugas en algunas armaduras corroídas, sobre la calidad final del mortero colocado y sobre la protección de las armaduras con epoxi, cabe concluir que la capacidad de adherencia resultante entre el mortero de reparación y las barras longitudinales inferiores de los nervios pudiera haber sido sensiblemente inferior a la normal entre el hormigón y las armaduras de acero.

Hay que llamar aquí la atención que la referida disminución de adherencia sería mucho mayor en aquellas zonas donde la pérdida de la corruga hubiera sido más acusada. En consecuencia, las zonas de mayor probabilidad de adherencia inadecuada serían las zonas que presentaban mayores daños de corrosión en el año 2002.

También parece haberse producido, tal y como se ha indicado, zonas de debilidad entre la armadura y la protección epoxi.

Por otro lado, el procedimiento de reparación mediante eliminación del hormigón alrededor de toda la armadura inferior sin un apeo que descargara estructuralmente las cargas de la cubierta, implica que, una vez recuperada la nueva sección, ésta no pudo trabajar estructuralmente hasta que no hubiera una modificación de las acciones que actuaban sobre la cubierta.

Así, desde el año 2002 hasta el año 2009, el mortero que recubría la armadura inferior no

trabajó estructuralmente, limitándose a ser únicamente una protección de la armadura inferior, que seguiría trabajando como tirante.

Al no haber trabajo mecánico en esta zona de la sección recuperada, no se necesitó movilizar la capacidad de adherencia armadura-epoxi-mortero durante este período, por lo que una debilidad de ésta no habría tenido ninguna consecuencia durante este período.

Sin embargo, entre las actuaciones llevadas a cabo durante el año 2009, se procedió a eliminar la capa vegetal que existía sobre cubierta. Ello supuso una modificación en las acciones sobre la cubierta reparada en el año 2002, disminuyendo su sobrecarga en 4.5 KN/m².

En consecuencia, en 2009 se intenta movilizar por primera vez la adherencia necesaria entre la barra y el mortero de reparación. Y entonces, pudo ponerse de manifiesto la acumulación de factores antes indicados, por lo que en algunas zonas, dicha adherencia pudo fallar, provocando fisuras en planos alineados con las armaduras. Dichos planos pudieron ser horizontales o verticales, en función de cual fuera la superficie de rotura que requiriera menos energía, dando origen a fisuras sobre el paramento vertical de los nervios o sobre la cara inferior de los mismos, respectivamente.

Esto explicaría que hasta el 2009 no se detectara ninguna patología y que por lo tanto, no se hubiera considerado en la intervención que tuvo lugar entonces. Implicaría además que las zonas que estaban dañadas se correspondían razonablemente con las zonas más dañadas en el año 2002.

Adicionalmente a la aparición de fisuras en el mortero reparado a la altura de la armadura, cabe recordar también que la rotura de la adherencia, habría generado daños locales en el revestimiento epoxi de las armaduras, provocando su agrietamiento o rotura local en algunos casos.

En consecuencia, a partir de lo indicado anteriormente, se pudo plantear la siguiente situación:

- a) Mortero fisurado en planos que pasan por la armadura, debido al agotamiento local de la adherencia, bien entre la armadura y el epoxi o bien entre éste y el mortero.
- b) Dicha fisuración podría haber supuesto el acceso libre de cloruros, oxígeno y agua a la superficie de las armaduras y, por otro lado, la “desprotección química” puntual (menor contenido de iones OH) de la armadura. Esto podría, a su vez, haber explicado un cierto grado de corrosión que se habría desarrollado a partir de dichas fisuras. No obstante, en el caso de haberse producido, parece un proceso actualmente paralizado a la vista de los ensayos de intensidad de corrosión que se han efectuado y que se comentan en el apartado siguiente.
- c) Armadura eléctricamente conectada en su totalidad, incluyendo barras protegidas con epoxi y otras no protegidas.
- d) Armadura protegida con epoxi con una distribución no uniforme, con zonas inferiores con acumulación de producto en forma de goterones, con zonas superiores con espesores inferiores y zonas donde la rotura de adherencia ha provocado la pérdida puntual de la protección.
- e) La pintura aplicada en los nervios en el año 2009 tuvo únicamente una finalidad estética, por lo que no cabe esperar que la haya conferido una protección específica frente al ingreso de sustancias desde el exterior.

Todo ello explicaría el hecho de que se haya producido daños a partir de unas armaduras protegidas con epoxi que, en principio, le proporcionaría impermeabilidad

frente a cloruros, oxígeno y agua. Asimismo, explica que los daños se detectaran poco después de la intervención del año 2009.

6.2. Actividad de corrosión

Antes de concluir definitivamente acerca de las causas de los daños observados en la cubierta, se consideró oportuno analizar también hasta qué punto podría haber corrosión activa, así como la situación en aquellas zonas donde en el momento actual no se observan daños.

En ese sentido, cabe recordar que la existencia de armaduras protegidas y no protegidas, la falta de uniformidad en la aplicación del revestimiento epoxi y la falta de protección superficial frente a la entrada de agentes agresivos podría desencadenar la corrosión en el futuro sin necesidad de la existencia de fisuras por fallo de adherencia.

Por lo tanto, se consideró conveniente medir la posible actividad de corrosión en las zonas no dañadas, al objeto de acotar el alcance de la reparación a efectuar, en su caso. Para evitar el vaciado de los vasos, los ensayos se realizaron en la zona de la pasarela. Esta se dividió en 3 zonas iguales (nervios 1-29, 30-58 y 59-87) y en cada una se seleccionaron 2 nervios según el estado de la armadura:

- a) Nervios aparentemente no dañados: 4, 44 y 80.
- b) Nervios dañados: 15, 46 y 85.

Una vez identificadas las zonas de ensayo, en cada una de ellas se realizaron medidas del potencial de corrosión y resistividad del hormigón mediante el corrosímetro GECOR 8. Previamente, se realizaron catas en el hormigón para conectar eléctricamente el GECOR 8, con la armadura.

La medida del potencial de las armaduras permite determinar la probabilidad de la corrosión y la resistividad, es una medida complementaria que proporciona el riesgo de corrosión al estar relacionada con el contenido de humedad del hormigón [3].

Tabla 1. Resultados de potencial de corrosión, resistividad y velocidad de corrosión.

Nervio	Ecorr (mV)	Resistividad (kohm.cm)	Vcorr ($\mu\text{m}/\text{año}$)
4	-72	21	14.4
4	-46	24	12.6
4	-107	28	10.8
4	-11	21	14.4
4	-15	28	10.8
4	1	31	9.7
15	-98	27	11.2
15	-148	70	4.3
15	-75	21	14.4
15	-79	23	13.1
44	-176	16	18.9
44	-120	23	13.1
44	-75	28	10.8
44	-66	35	8.6
46	-220	114	2.6
46	-185	115	2.6
46	-199	109	2.8
46	-197	75	4.0
80	-325	972	0.3
80	-343	998	0.3
80	-381	1015	0.3
80	-336	1029	0.3
85	-142	24	12.6
85	-112	31	9.7
85	-129	42	7.2
85	-123	27	11.2

A continuación, se realizaron medidas de intensidad de corrosión en tres nervios para confirmar si la corrosión que se observaba en las armaduras está activa o por el contrario, el riesgo de corrosión bajo obtenido, era acorde a la intensidad medida. En los tres casos, el valor de la intensidad de corrosión fue de $0.00 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Finalmente, para determinar la velocidad de la posible corrosión activa existente, se partió de la ecuación de Faraday, que permitió

estimar dicha velocidad de corrosión a partir de la intensidad de corrosión [4].

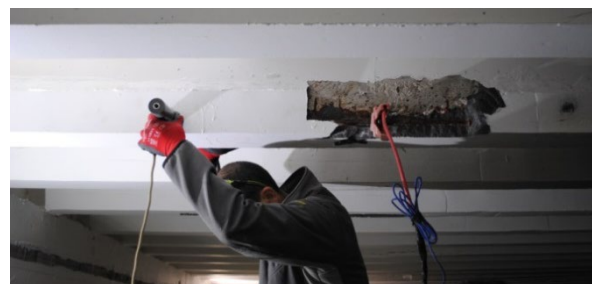


Figura 11. Medida de potencial y resistividad en nervio.

Puede observarse que el orden de magnitud de los valores deducidos en la Tabla 1, se corresponden con los que el Anejo 9 de la Instrucción EHE-08 indica para los ambientes menos agresivos y en donde, por lo tanto, la probabilidad de corrosión es muy baja y, en cualquier caso, se desarrolla con una velocidad muy baja. Por ello, a la vista de los resultados de la velocidad de corrosión obtenidos, puede concluirse que la corrosión activa no es significativa, tal y como también indicaron los ensayos de intensidad de corrosión.

7. Estrategia de reparación

Teniendo en cuenta los resultados de corrosión, la extensión e intensidad de los daños y la dificultad constructiva que entraña la reparación, se realizó un análisis comparativo de las diferentes alternativas de reparación. Asimismo, se consideraron otros conceptos que obedecen a los aspectos funcionales propios del depósito así como otros medioambientales. Todo ello permitió identificar una solución óptima desde el enfoque más global posible del problema.

La alternativa que se desarrolló en el proyecto de rehabilitación fue la reparación de los daños identificados y la protección catódica de las armaduras. Adicionalmente, se consideró conveniente la protección adicional de la cubierta mediante un inhibidor frente a la corrosión de aplicación superficial.

Por lo tanto, para garantizar la durabilidad de la cubierta, se llevó a cabo las siguientes actuaciones de reparación:

1. Limpieza de la cubierta y comprobación con martillo para confirmar la extensión del daño en la cubierta.
2. Eliminación de superficies dañadas mediante hidrodemolición.
3. Protección catódica por ánodos de sacrificio de las vigas en pi.



Figura 12. Implantación del sistema de protección catódica en la estructura.

4. Recuperación de la capa pasiva de las armaduras corroídas con una mezcla de resina epoxi y arena para evitar problemas de adherencia [7] y [8].
5. Reposición de la sección con mortero.
6. Inhibidor de aplicación superficial y pintura anticarbonatación en toda la cubierta.
7. Monitorización del comportamiento de la estructura frente a la corrosión.

El proyecto de protección catódica fue desarrollado por FHECOR-INJELAN según las normativas internacionales.

7. Conclusiones

Para desarrollar un proyecto de rehabilitación adecuado es importante llevar a cabo una metodología previa que permita conocer las causas del deterioro. En este caso, se pudo observar que las condiciones de

ejecución de la pasivación de las armaduras no habían sido capaces de garantizar la adherencia adecuada entre éstas y el hormigón. Por lo tanto, en el proyecto se consideró la reposición de la integridad estructural y la incorporación de una protección catódica.

Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren agradecer a Aguas del Añarbe y particularmente, a Dña. Maider Arregi y a D. Jose Manuel Díaz, la confianza en FHECOR-INJELAN.

Referencias

- [1] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [2] A. Castillo et al., Evaluación y monitorización de la durabilidad de las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela de Madrid, Informes de la Construcción Vol. 63, 524, 33-41, octubre-diciembre 2011.
- [3] ASTM C 876-09. Corrosion Potentials of uncoated reinforcing steel in concrete, American society for testing and materials, 2009.
- [4] State-of-the-art report. RILEM TC 230-PSC. Performance-based specifications and control of concrete durability, 2016.
- [5] A. Byrne, N. Holmes, B. Norton, State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures, Dublin Institute of Technology, 2016.
- [6] Technical Report No. 73: Cathodic Protection of steel in concrete, Concrete Society, 2011.
- [7] P. Jimenez Montoya, Hormigón armado, Dossat, 1966.
- [8] J.J. Chang, W. Yeih, C.L. Tsai, Enhancement of bond strength for epoxy-coated rebar using river sand, Elsevier Science, 2002.