

La importancia de la puesta en obra de espaldones de diques

The importance of a good installation of concrete in breakwater walls of ports

Pilar Alaejos Gutiérrez^a, Víctor D. Lanza Fernández^b, y Ana Lope Carvajal^c

^a Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. CEDEX. Directora del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales.

pilar.alaejos@cedex.es

^b Dr. Ingeniero Químico. CEDEX. Jefe de Área de Ciencia de Materiales. victor.lanza@cedex.es

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Puertos del Estado. Jefa de Área de Planificación de Infraestructuras. alope@puertos.es

RESUMEN

En la ponencia se exponen los resultados alcanzados en un estudio realizado en 5 espaldones de diques que han mostrado problemas de corrosión antes de finalizar la vida útil de 50 años para la que fueron diseñados. En particular se muestran ejemplos de los defectos encontrados asociados al diseño y la ejecución (geometría, espesor de recubrimiento, compactación y curado), concluyendo con unas recomendaciones para evitar su aparición en obras futuras.

ABSTRACT

This paper presents the results achieved in a study carried out on 5 breakwalls that have shown corrosion problems before the end of the 50-year service life for which they were designed. In particular, examples of the defects found during the inspection are shown, related to the design and execution of the work (geometry, cover depth, compaction and curing). As a conclusion, recommendations to avoid these defects in future works are explained.

PALABRAS CLAVE: Durabilidad, corrosión, ambiente marino, puesta en obra, curado

KEYWORDS: Durability, corrosion, marine environment, installation of concrete, curing

1. Introducción

En el año 2016, el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales comienza el estudio de espaldones de diques de hormigón armado que han mostrado intensos problemas de corrosión tras menos de 17 años de servicio, no cumpliendo con la vida útil de 50 años para la que fueron diseñadas estas estructuras.

El espaldón es el elemento estructural emergido que recibe el impacto del oleaje en los diques de abrigo de los puertos. Se trata, por tanto, de una estructura que resulta ser clave para garantizar las condiciones operativas y de seguridad del puerto, al evitar que los efectos del oleaje sobrepasen la infraestructura del dique y afecten a las zonas protegidas por el mismo. De ahí la importancia de garantizar su funcionalidad en el tiempo, para que durante la vida útil de la infraestructura el comportamiento del dique en su conjunto sea el previsto en su diseño.

Los espaldones se ejecutan habitualmente con hormigón, inicialmente en masa y más recientemente armado. Además, son elementos muy expuestos a las adversas condiciones ambientales existentes en la zona desde su propia ejecución. Por ello, su durabilidad requiere especial atención, cuidando todos y cada uno de los aspectos de hormigonado, por la influencia en la calidad final obtenida.

En la ponencia se exponen los resultados alcanzados en un estudio realizado en 5 espaldones de diques que han mostrado problemas de corrosión antes de finalizar la vida útil de 50 años para la que fueron diseñados.

En particular, y por la importancia demostrada en la práctica, en el texto se recogen los defectos de ejecución detectados en las obras estudiadas, cuya valoración global permite dar explicación a los problemas de durabilidad por corrosión que de forma generalizada se han presentado en estas estructuras, así como también establecer recomendaciones para evitar en el futuro estos problemas.

Las inspecciones in situ realizadas y los resultados de los ensayos de campo (ultrasonidos, corrosímetro y medidas de recubrimiento) dejan patente la importancia que han tenido las deficiencias de ejecución sobre la corrosión prematura desarrollada en estas estructuras.

Estas deficiencias se asocian a fallos en los recubrimientos que, si bien no son generalizados, aparecen de forma puntual, siendo más frecuentes cuando la geometría de la obra resulta más complicada: superficies curvas, zona de botaolas.

El curado se manifiesta como un fallo grave en estas obras, con la aparición de superficies deficientes y fisuradas, que han permitido el ingreso del agua del mar hasta el nivel de las armaduras en un tiempo corto.

Otro aspecto crítico ha sido la compactación insuficiente del hormigón, en muchos casos debido a una consistencia del hormigón inadecuada, así como a una insuficiente vibración.

En los apartados siguientes se detallarán todos estos aspectos.

2. Espesor del recubrimiento

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie de hormigón más cercana. El recubrimiento mínimo es aquel que debe cumplirse en cualquier punto del elemento estructural, que debe garantizarse con la adecuada utilización de separadores. La Tabla 1 recoge los recubrimientos mínimos del espaldón de un dique fabricado con hormigón armado, de acuerdo con el Código estructural.

La Figura 1 recoge los valores de recubrimientos medidos en los espaldones estudiados.

Tabla 1. Recubrimiento mínimo en función del tipo de cemento (Código Estructural)

Recubrimiento mínimo (mm) para el espaldón de un dique: XA2 XS3 XM3. Artículo 44 del Código Estructural			
Tipo de elemento	Cemento	Años de vida útil	XA2 XS3 XM3
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM III/A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	60
		100	65
	CEM II/B-S, B-P	50	80
		100	85
	Resto de cementos utilizables	50	*
		100	*

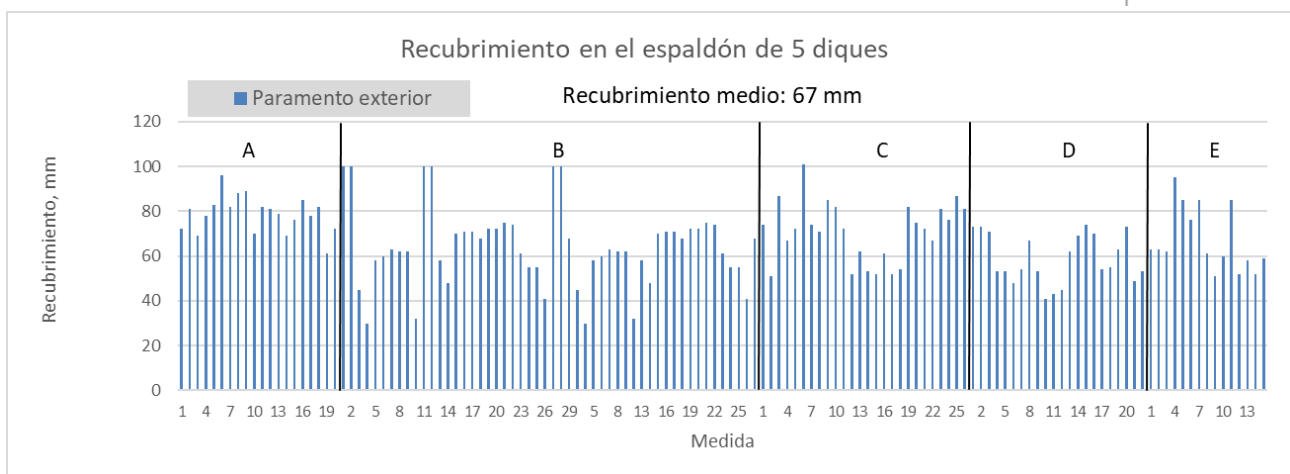


Figura 1. Valores de recubrimiento

Como norma general, el espesor de recubrimiento es un parámetro que se ha cuidado en la ejecución de los diques. Así, como se observa en la Figura 1, en todas las estructuras estudiadas se han medido valores medios en obra muy por encima de lo mínimo que le exigía la normativa.

Ahora bien, en aquellas zonas puntuales de los espaldones en que se ha observado falta de recubrimiento, se ha desarrollado corrosión en un corto plazo de tiempo (Figura 2).



Figura 2. Falta de recubrimiento

Especial mención merecen los casos en los que la falta de recubrimiento se produce en patillas, ganchos y alambres de atado (Figura 3), ya que el recubrimiento debe estar garantizado en todos los elementos de acero.



Figura 3. Falta de recubrimiento en las patillas

3. Consistencia y compactación del hormigón

Seleccionar la consistencia adecuada para el hormigón del espaldón de un dique facilita su puesta en obra y este hecho, junto a una correcta compactación, permitirá conseguir la necesaria impermeabilidad del recubrimiento y, por tanto, la durabilidad del espaldón frente a los procesos de corrosión.

La falta de compactación se ha manifestado de forma grave en algunos casos, con la presencia de tongadas insuficientemente vibradas (Figura 4).



Figura 4. Tongada mal compactada

Otro defecto de compactación observado ha sido la presencia de regueros en el paramento

del espaldón (Figura 5), que coinciden con la posición del armado vertical, más externo. El defecto es importante ya que disminuye sensiblemente la durabilidad del espaldón, al focalizar el fallo de ejecución justo sobre la armadura a proteger.

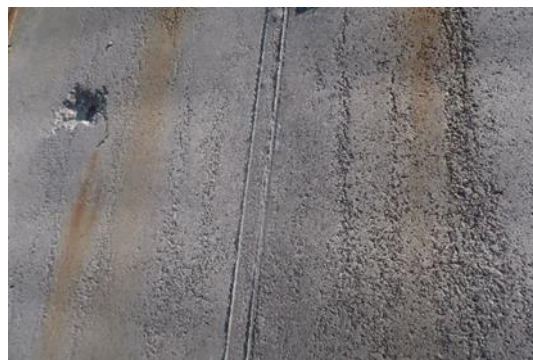


Figura 5. Regueros

Aunque estos defectos tienen su origen en no haber realizado una correcta compactación del hormigón, está claro que la consistencia del hormigón colocado tiene gran influencia en el resultado final obtenido. Para mostrarlo, la tabla Tabla 2 muestra la consistencia del hormigón colocado y la frecuencia con que estos defectos de compactación se presentan en cada espaldón. Se observa en la tabla anterior que, cuanto menos fluida es la consistencia, más intensos son los problemas de compactación, aspecto que se hace extensivo a la presencia de regueros.

Incluso en aquellos casos en los que el aspecto superficial del hormigón no revela ningún defecto, una compactación insuficiente da lugar a una pérdida de durabilidad que puede constatarse a través de ensayos de penetración de agua.

Tabla 2. Defectos de compacidad y consistencia del hormigón colocado

FALTA DE COMPACIDAD DEL HORMIGÓN		
Espaldón	Consistencia	Grado de afectación
A	Blanda-fluida	Zonas puntuales con mal vibrado superficial
B	Blanda	Aunque no es un defecto generalizado, sí se han observado algunos puntos del paramento exterior de hormigón con mala compactación.
C	Fluida	Tan sólo un nido de grava puntual por falta de vibrado en el recubrimiento
D	Blanda	Hay una gran superficie del espaldón que presenta una superficie defectuosa, con falta de lechada superficial y árido fino visto en superficie (Fotografía 19).
E	Plástica	Defecto más significativo del paramento exterior. Aunque se encuentran áreas donde el hormigón se presenta bien cerrado, hay zonas que presentan una superficie con falta de lechada superficial y árido fino visto en superficie (Fotografía 20).

El estudio en el laboratorio de los testigos extraídos de los diferentes espaldones ha profundizado en la evaluación de la pérdida de calidad que presenta el recubrimiento por defectos en la ejecución. Realizados los ensayos de penetración de agua en el interior de los testigos, se repitió este mismo ensayo en la zona superficial de los mismos testigos. Un aumento

de la permeabilidad en el recubrimiento es indicativo de una puesta en obra defectuosa, ya que la compactación de la zona externa no ha sido tan buena en esta zona por el obstáculo que supone la presencia de las armaduras, vértices, aristas, etc.

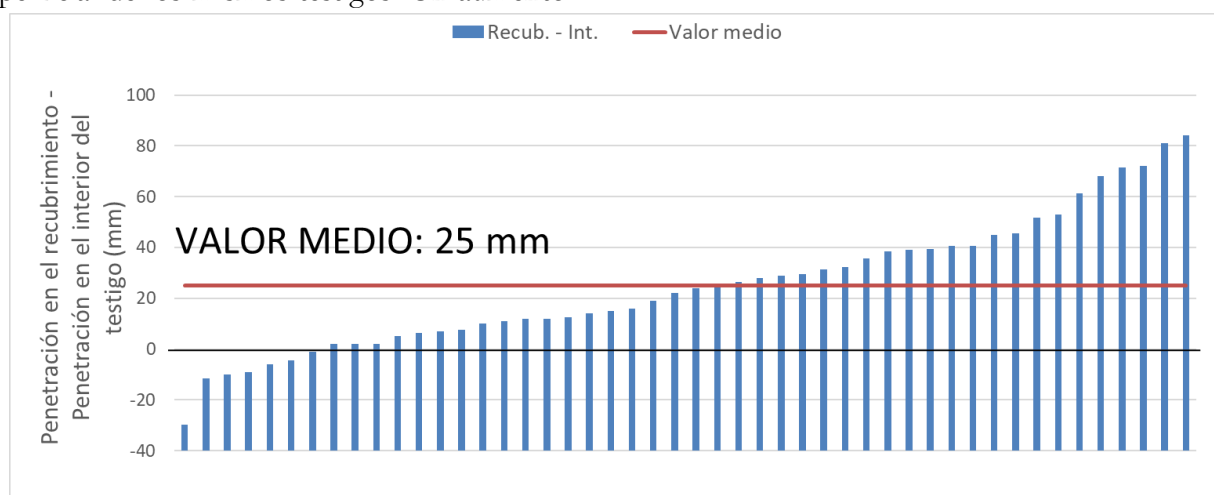


Figura 6. Diferencia del valor de penetración de agua entre la zona interior y exterior del testigo

La diferencia media entre la permeabilidad del recubrimiento y del interior de los mismos

testigos es de 25 mm (Figura 6). La penetración media en el interior de todos los testigos

ensayados ha sido de 54 mm, y en términos de milímetros de penetración de agua, **ha habido una pérdida media de calidad en el recubrimiento del 46%.**

Y esta pérdida de calidad del recubrimiento tiene una influencia directa en la vida útil de las estructuras. Se puede cuantificar en años (Figura 7) lo que supone que la calidad del recubrimiento empeore un 46% respecto a un interior de los testigos, aunque se cumplan de forma estricta el resto de las exigencias normativas que fija actualmente el Código Estructural.

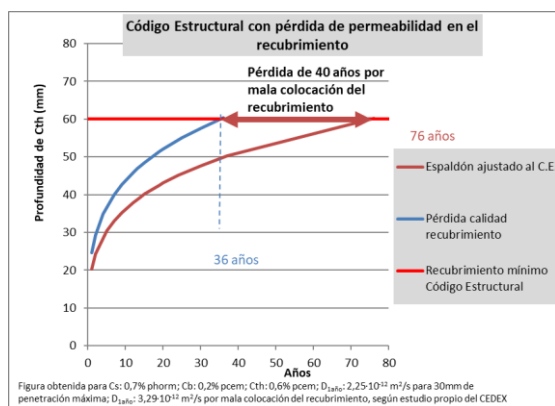


Figura 7. Pérdida de vida útil

No realizar una correcta ejecución del recubrimiento conlleva perder 40 años de vida útil en el espaldón, aunque el hormigón en el interior de los testigos cumpla con el requisito normativo actual de permeabilidad.

4. Curado del hormigón

La pérdida de agua superficial en el hormigón durante sus primeros días de endurecimiento disminuye sus prestaciones precisamente en la zona más importante para evitar la corrosión: en el recubrimiento. Por ello, es importante asegurar la humedad del hormigón durante los primeros días mediante el curado.

Cuando el curado es deficiente, siempre se va a producir una peor calidad del recubrimiento, aunque el efecto no se aprecie a simple vista. Sin embargo, en los casos más graves en que las

condiciones ambientales han sido muy desfavorables y/o el curado inexistente, los defectos son observables en la inspección de las estructuras. Es el caso de los 5 espaldones de diques estudiados, en los que la inspección visual revela defectos propios del recubrimiento que están relacionados con la falta de curado: afogados y decapados en la superficie del hormigón, como se observa en la Figura 8.

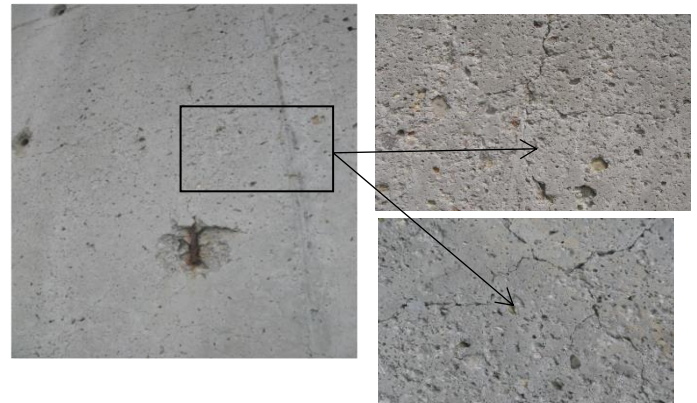


Figura 8. Afogados

Es importante destacar que estos espaldones se deben realizar con cementos con elevado contenido de adición puzolánica, para favorecer una baja permeabilidad. Sin embargo, esto sólo se conseguirá aplicando un prolongado y cuidado curado, al tratarse de cementos de endurecimiento más lento.

5. Geometría de los espaldones

Hay aspectos del diseño de los espaldones que condicionan de forma importante su durabilidad y **han dado lugar en la práctica a problemas de corrosión a corto plazo.**

Cabe mencionar, en primer lugar, las **bermas de tránsito** al pie del espaldón. Estos elementos son útiles porque permiten la inspección de las estructuras, pero han manifestado ser un punto de debilidad del paramento exterior de los espaldones.

Así, esta solera exterior ha provocado una rápida corrosión en zonas inferiores debido a la suma de dos efectos: el primero es la mayor

concentración de cloruros del hormigón en esta zona porque la solera, a veces incluso horizontal y prácticamente sin bombeo, se encharca y permite el ascenso capilar del agua de mar al paramento (Figura 9).



Figura 9. Falta de bombeo en la solera

La segunda causa es la presencia siempre de solapes de barras verticales en esta zona, aumentando la superficie de barras oxidadas y facilitando así la pérdida del recubrimiento (Figura 10).

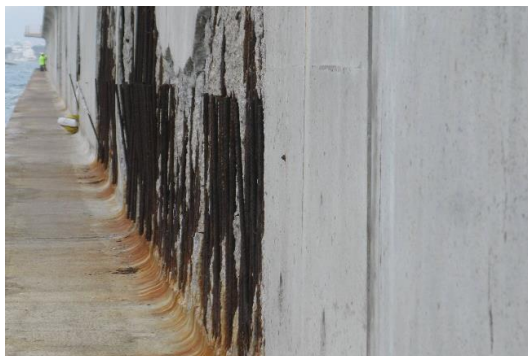


Figura 10. Corrosión en empalmes de armaduras

Un segundo elemento geométrico que ha mostrado clara debilidad frente a los procesos de corrosión son las esquinas. Tanto el canto superior de la viga cantil como el canto superior de los espaldones son zonas donde la corrosión, primero genera una fisura sobre la barra corroída y, a continuación, progresa hasta la pérdida total del recubrimiento. **La disposición en esquina** facilita la entrada de cloruros por dos caras y la corrosión de una amplia superficie de la barra favorece la expulsión del recubrimiento. Además, cuando una de las caras es horizontal,

permite retener humedad y acelerar el proceso (Figura 11).



Figura 11. Corrosión en aristas

Finalmente, cuanto más compleja es la geometría de un espaldón y más **zonas curvas** incluye, más difícil es garantizar el espesor de recubrimiento (Figura 12).



Figura 12. Corrosión en zonas curvas

El botaolas es un ejemplo de zona curva propia de los espaldones que muestra debilidad frente a la corrosión. En este elemento, si no se consigue mantener el recubrimiento, aparece fisuración por corrosión (Figura 13).

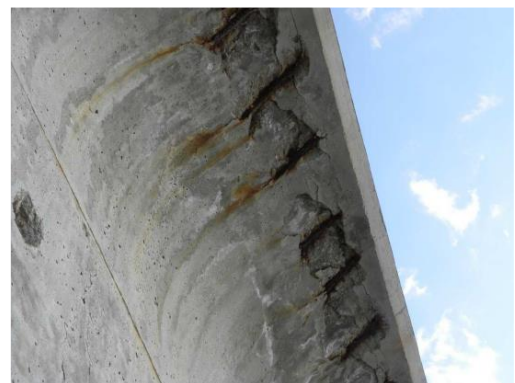


Figura 13. Corrosión en el botaolas

6. Conclusiones

El estudio realizado sobre los espaldones demuestra la importancia que ha tenido en su baja durabilidad la realización de una ejecución defectuosa, así como detalles de diseño inadecuados.

Algunas recomendaciones para evitar la aparición de los defectos encontrados serían las siguientes:

En la fase de proyecto diseñar el espaldón con una geometría sencilla con superficies planas, evitando curvaturas innecesarias. Valorar la necesidad de colocar una berma de tránsito exterior en el espaldón y, si se hace, realizarla con una marcada pendiente de bombeo. Prescribir en Proyecto la utilización de un hormigón como mínimo de consistencia fluida.

Antes del comienzo de la obra, prever el proceso de vibrado y de curado a seguir. Se recomienda apoyar al vibrado convencional de agujas con vibradores externos. También se recomienda estudiar los medios necesarios para la aplicación del vibrado y curado en el paramento exterior, de más difícil acceso.

Durante la ejecución se debe controlar la colocación de los separadores, con especial cuidado en las zonas más sensibles: botaolas, esquinas, aristas. Se pueden hacer comprobaciones de los recubrimientos, tras el desencofrado, con una sonda magnética.

Se deben aplicar los días de curado resultantes de la formulación del Código Estructural, en general, no menos de 7 días.

El proceso de compactación debe prolongarse junto a los fondos y paramentos de los encofrados, y especialmente en los vértices y aristas, sin que el dispositivo de compactación llegue a entrar en contacto con ellos, hasta eliminar todas las posibles coqueras.

Finalmente, se recomienda inspeccionar los paramentos tras el desencofrado y tras el curado del hormigón, así como realizar un registro fotográfico como parte del control de

calidad de la ejecución de la estructura. Por ello, resulta recomendable disponer medios que permitan el acceso al paramento exterior para su inspección tras el desencofrado.

Agradecimientos

Este trabajo es fruto de la Asistencia Técnica, Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico que el CEDEX, a través del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, presta a Puertos del estado para dar respuestas a materias que son de interés para el Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Agradecemos también a las diferentes Autoridades Portuarias que han colaborado en el desarrollo de este trabajo su confianza en el CEDEX y su apoyo para poder realizar con éxito el estudio de sus espaldones.

Referencias

- [1] Lanza, V; Alaejos, P.; Lope, Ana (2024). Recomendaciones para mejorar la durabilidad de espaldones de diques de hormigón armado. CEDEX servicio de publicaciones (disponible online en <https://ceh.cedex.es/tienda/>)