

Patologías asociadas a la calidad del hormigón utilizado en estructuras portuarias

Pathologies related to the quality of concrete used in port structures

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

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

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

pilar.alaejos@cedex.es

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

RESUMEN

Esta comunicación evalúa la resistencia a compresión, permeabilidad y contenido inicial de cloruros del hormigón colocado en 5 espaldones de diques que han mostrado problemas prematuros de corrosión. Estos ensayos han permitido conocer si las exigencias de durabilidad que la normativa impuso a estas estructuras se alcanzaron en la práctica y, cuando no ha sido así, se realizan recomendaciones para evitar que esto suceda en el futuro. Finalmente, se evalúa el peso que estas propiedades del hormigón han tenido en la durabilidad, validando así las exigencias actuales del Código Estructural para garantizar la durabilidad de los espaldones de dique, las estructuras más sensibles de un puerto a la corrosión.

ABSTRACT

This paper evaluates the compressive strength, permeability and initial chloride content of concrete placed in 5 seawall shoulders that have shown premature corrosion problems. These tests have allowed to know if the durability requirements that the regulations imposed to these structures were achieved in practice and, when this has not been the case, recommendations are made to prevent this from happening in the future. Finally, the weight that these concrete properties have had on the durability is evaluated, thus validating the current requirements of the Structural Code to guarantee the durability of the seawall shoulders, the most sensitive structures of a port to corrosion.

PALABRAS CLAVE: Corrosión, cloruros, permeabilidad, resistencia a compresión, puertos.

KEYWORDS: corrosion, chlorides, permeability, compressive strength, ports.

1. Introducción

El hormigón, debido a los compuestos formados durante la hidratación del cemento, presenta un pH muy elevado, alrededor de 13[1]. En estas condiciones, el acero embebido en el hormigón se cubre con una capa de óxidos, transparente e

imperceptible, que actúa de barrera impidiendo su oxidación. Se dice que el acero está pasivado [2].

Los cloruros tienen la capacidad de destruir esa capa de óxidos que protege al acero.

Por tanto, cuando el hormigón armado está expuesto al ambiente marino, si los cloruros del ambiente alcanzan a las armaduras en concentración suficiente, éstas se despasivarán, con su consiguiente corrosión.

La durabilidad del hormigón armado expuesto al ambiente marino se fundamenta en evitar que durante la vida de servicio de las estructuras los cloruros alcancen al armado y éste se despasive. Y para ello, el Código Estructural actúa de forma simultánea de 3 formas:

- Limitando el contenido inicial de cloruros del hormigón
- Fijando un espesor mínimo de recubrimiento

- Consiguiendo un recubrimiento lo más impermeable posible.

Esta comunicación evalúa la influencia que ha tenido la calidad del hormigón colocado en las obras portuarias en las patologías de corrosión que posteriormente han sufrido estas estructuras. Para ello, se han estudiado **5 espaldones de diques** con problemas de corrosión significativos, producidos antes de finalizar la vida útil para la que fueron diseñadas estas estructuras [3]. La **Tabla 1** muestra las características principales de las 5 estructuras estudiadas. La Figura 1 y Figura 2 sirven de ejemplo de las patologías de corrosión que sufren los espaldones de dique evaluados.

Tabla 1. Características de los espaldones de diques estudiados

Dique	A	B	C	D	E
Edad (año de construcción)	13 (2003)	10 (2007-2009)	17 (2001)	16 (2004)	17 (2004)
Normativa de aplicación	EHE (1998)	EHE (1998)	EH-91	EHE (1998)	EHE (1998)
Localización	Mediterráneo	Mediterráneo	Mediterráneo	Mediterráneo	Atlántico
Ambiente en proyecto	IIIa	IIIc	III	IIIa+Qb	IIIc+Qb
Hormigón Proyecto	30 MPa	HA-35/B/25/IIIc-Qb	300 FL 25 con superplast. MELCRET 222	HA-30/20/P/IIIc+Qb+E	HA-30/P/20/IIIc+Qb
Contenido Cemento (kg/m ³)	400	350	300-330	275-300 kg	¿?
Relación a/c	0,45	0,45	0,475	0,5	0,45
Tipo de Cemento	CEM II/A-P 42,5 R/SR 13% puzolana	CEM II/A-S 42,5 N/SR 11% Escorias	CEM I 42,5 R-SR	CEM I 52,5SR + 25 % cenizas	IV/32,5/MR



Figura 1. Pérdida de recubrimiento por intensa corrosión del armado, tras 13 años de servicio. Espaldón A.



Figura 2. Pérdida del recubrimiento debido a la intensa corrosión del armado, tras 16 años de servicio. Paramento exterior del espaldón D.

Para conocer la calidad del hormigón colocado en cada estructura y la influencia que ha tenido posteriormente en su durabilidad, se evalúan 3 propiedades principales que definen al hormigón seleccionado para realizar obras portuarias: la resistencia a compresión, la permeabilidad y el contenido inicial de cloruros. A continuación se muestran, de cada una de estas propiedades, que resultados se han obtenido en las estructuras y cuál ha sido la influencia de cada propiedad en la durabilidad final alcanzada.

2. Resistencia a compresión del hormigón

A excepción de la estructura C, que se lleva a cabo con la Instrucción EH-91 [4], los demás espaldones se realizan siguiendo la Instrucción EHE [5]. Según la definición de ambientes que se hacía en esta normativa, los espaldones de diques se ubicaban en un ambiente IIIa, y por ello, la dosificación utilizada debía cumplir con una relación a/c máxima de 0,5 y un contenido mínimo de cemento de 300 kg. Según la Instrucción EHE, estos requisitos de durabilidad son compatibles con una resistencia característica mínima de 30 MPa.

Tal y como se recoge en la Tabla 1, en el proyecto de todos los espaldones se exigía un hormigón cuyo contenido de cemento y relación a/c se ajustaban a la normativa que les aplicaba y, además, la resistencia característica del

hormigón en proyecto fue siempre igual o superior a 30 MPa. Por tanto, **no existen incumplimientos en el proyecto respecto a las exigencias de dosificación y resistencia que la Instrucción EHE exigían al hormigón colocado en obra.**

Para conocer la resistencia a compresión alcanzada en el hormigón puesto en obra, el estudio realizado en el CEDEX ha evaluado la resistencia a compresión de 67 testigos de hormigón correspondientes a las estructuras B, C, D y E. Se ensaya el hormigón ubicado tras el armado en los testigos extraídos de estas estructuras. La esbeltez de las muestras ensayadas es siempre próxima a 1,1, por lo cual se corrigen los resultados en función de la esbeltez para obtener el resultado correspondiente a muestras de esbeltez 2, según la norma de ensayo UNE 83304. La **Figura 3** muestra los resultados obtenidos, y la **Tabla 2** su valoración.

Tabla 2. Valoración de la resistencia a compresión

Dique	Resistencia media obtenida (MPa)	Fck proyecto	Nº de ensayos	% cumplimiento de la característica
B	43,3	35	48	94
C	50,1	30	8	100
D	64,2	30	8	100
E	47,3	30	5	100

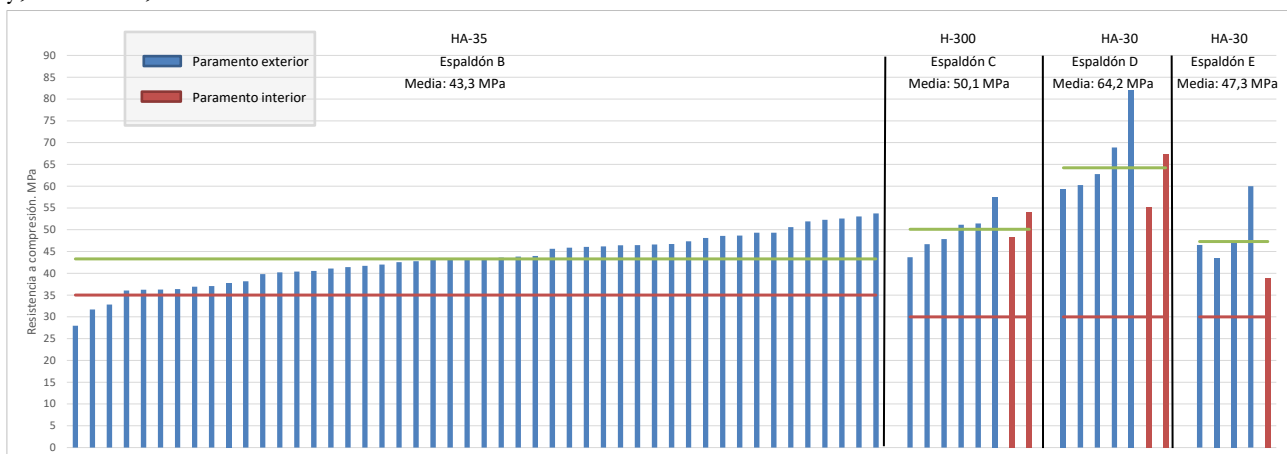


Figura 3. Resistencia a compresión. Hormigón de los espaldones B a E

En todos los espaldones ensayados en el CEDEX, la resistencia media obtenida supera en más de 8 MPa a la resistencia característica del hormigón colocado. En las estructuras C y D, la resistencia a compresión media obtenida llega a superar en más de 20 MPa su resistencia característica, dando valores medios superiores a 50 MPa. Por consiguiente, **todos los hormigones ensayados han cumplido holgadamente con la exigencia de resistencia a compresión**. Pero, aun con resistencias que superan los 50 MPa, se han producido problemas de corrosión en todos los casos, con estructuras que no han superado los 20 años de servicio. Por tanto, **la resistencia a compresión no es un parámetro que determine la posterior durabilidad de las estructuras expuestas al ambiente marino, y controlar esta propiedad durante la ejecución de las obras no implica estar controlando la posterior durabilidad de las estructuras expuestas a los cloruros**.

3. Cloruros iniciales del hormigón

Se consideran cloruros iniciales del hormigón a aquellos cloruros que contenía el material en el momento de su puesta en obra. Desde la Instrucción EH-91 a la EHE-08 [6] se ha indicado que todos los hormigones estructurales

armados, independientemente del ambiente en que se encuentren, deben cumplir que el ion cloro total aportado por los componentes no excederá del 0,4 por 100 del peso del cemento. El Código Estructural, aunque mantiene esta limitación general, es más restrictivo si el hormigón se ubica en ambiente XS o XD, en cuyo caso disminuye el límite hasta el 0,2% de cloruros expresados en peso de cemento (%pcem).

Para medir el contenido inicial de cloruros en estructuras ya ejecutadas se realiza el ensayo químico en la zona más profunda que el testigo permita. Cuando los testigos están expuestos al exterior por sus dos caras, se realiza la medida en la zona intermedia. En este punto de medida se considera que el hormigón no ha estado expuesto a cloruros y todo su contenido es propio del material puesto en obra. En total, se han llevado a cabo 46 medidas de cloruros iniciales del hormigón en los 5 espaldones de dique estudiados.

La **Figura 4** muestra los cloruros iniciales medidos en todos los testigos de los diques. Las barras azules corresponden a testigos extraídos en el paramento exterior, y las rojas a testigos del paramento interior. La **Tabla 3** valora los resultados obtenidos en los 5 espaldones de diques.

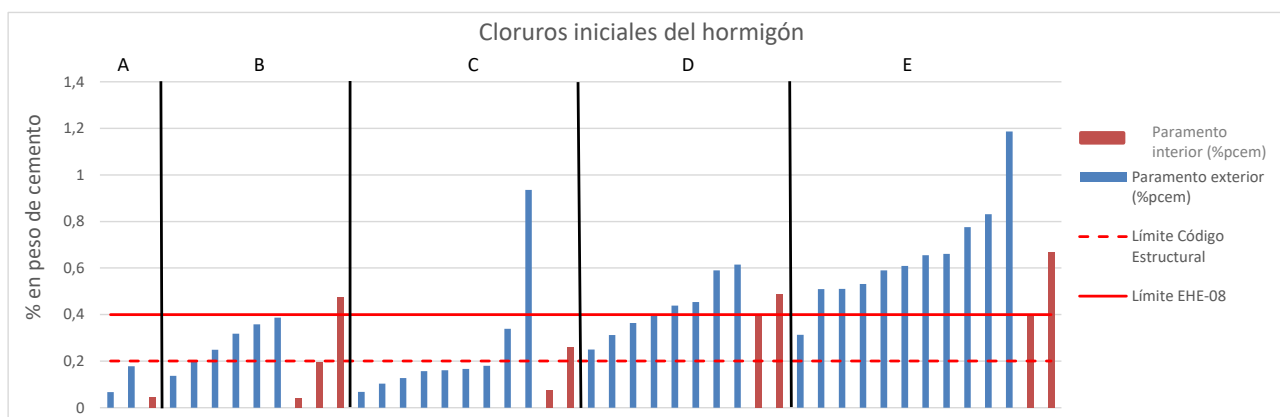


Figura 4. Cloruros iniciales del hormigón. Espaldones A a E

Tabla 3. Valoración de los cloruros iniciales del hormigón

Dique	Valor medio de cloruros iniciales de la estructura (%pcem). Entre paréntesis el porcentaje de variación.	Valor medio de cloruros iniciales del paramento interior (% pcem).	Cumplimiento del límite EH-91; EHE; EHE-08 (0,4% pcem)	Cumplimiento del Código Estructural (0,2% pcem)
A	0,097 (73%)	0,046	Sí	Sí
B	0,275 (35%)	*	Sí	No
C	0,164 (51%)	0,168	Sí	Sí
D	0,431 (26%)	0,443	No (ligero exceso)	No
E	0,634 (34%)	0,534	No	No

* El paramento interior de Algeciras se recoge en la figura, pero no se valoran resultados, debido a que el paramento interior está formado por bloques de hormigón colocados a posteriori con un hormigón diferente.

En condiciones normales, los cloruros iniciales del hormigón son los mismos en los testigos extraídos en el paramento interior y exterior, y cumplen el límite que les aplicaba (0,4% pcem.), e incluso el que impone actualmente el Código Estructural (0,2% pcem.). Es el caso de los espaldones A y C.

Puntualmente, se pueden obtener resultados anómalos, como se observa en el espaldón C.

En la estructura B ya se supera el límite del Código Estructural, y muestra además algún valor puntual que sobrepasa incluso el límite de las instrucciones previas.

Hay dos espaldones con un contenido de cloruros claramente por encima del resto: D y E. En el espaldón D, el contenido de cloruros inicial incumple (de forma ajustada) la Instrucción EHE y no sería un hormigón admisible para el Código Estructural. La estructura E presenta el peor resultado de cloruros iniciales, y la mitad del hormigón del espaldón se coloca ya en periodo de propagación.

Además, los resultados muestran variaciones significativas en el contenido de cloruros iniciales del hormigón dentro de una misma obra, independientemente de que en esta estructura el valor medio obtenido cumpla o no con el límite normativo.

3.1. Relevancia de los cloruros iniciales en la vida útil de las estructuras portuarias

El contenido inicial de cloruros es un valor fundamental para garantizar la vida útil por corrosión de las estructuras, ya que todos los cloruros que contenga el hormigón en el momento de su puesta en obra aproximarán al armado a su despasivación, pudiendo suceder el inicio de la corrosión incluso antes de la entrada en servicio de la estructura, si el contenido inicial de cloruros supera el 0,6%pcem (umbral para el inicio de la corrosión. Código Estructural [7]). Este es el caso de la estructura E.

El estudio completo realizado sobre estos 5 espaldones de dique ha permitido modelizar el comportamiento de estas estructuras. La **Tabla 4** resume los parámetros necesarios para ello.

A partir de estos valores es posible conocer el tiempo que tardara en iniciarse la corrosión en un espaldón de dique que cumpla de forma estricta las exigencias del Código Estructural, en función del contenido inicial de cloruros que contenga el hormigón. Para ello, se aplica el modelo para el cálculo del periodo de iniciación recogido en el Anejo 12 del Código Estructural. La **Figura 5** muestra los resultados obtenidos.

Tabla 4. Propiedades de un espaldón de dique que cumple de forma estricta las exigencias del código Estructural (50 años de vida útil)

Modelización del hormigón expuesto a cloruros		Observaciones
Cloruros en superficie	0,7% ^{phor}	Valor medio de la valoración de los espaldones A, B, D y E [8]
Umbral para el inicio de la corrosión	0,6% ^{pcem}	Anejo 12. Código Estructural [7]
Recubrimiento mínimo	60 mm	Código Estructural (XS3 + XM3) [7]
Coefficiente de difusión	$2,25 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	Estudio CEDEX [8] *

* Equivalente a un recubrimiento con 30 mm de penetración máxima en ambiente de spray y salpicaduras. Valor muy próximo al propuesto en el anejo 12 del Código Estructural para a/c de 0,45 y CEM II/B/V

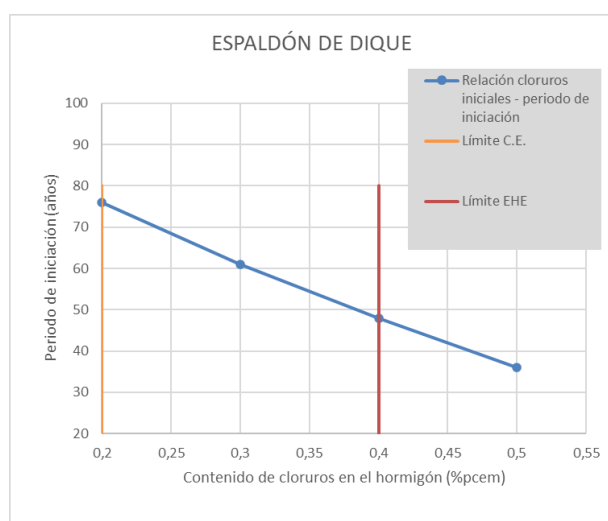


Figura 5. Periodo de iniciación de la corrosión. Diferentes contenidos iniciales de cloruros. Espaldón que cumple con el Código Estructural

En los espaldones de diques, desde el límite normativo de 0,2% en peso de cemento, cada aumento de 0,1% en el contenido de cloruros supone perder, aproximadamente, de 10 a 15 años de vida útil, aunque el resto de las propiedades del hormigón cumplan de forma estricta con lo exigido por el Código Estructural.

Estos resultados cuantifican, en pérdida de años de vida útil, la importancia de cumplir en toda la extensión de las estructuras portuarias el límite máximo de

cloruros iniciales que exige la normativa. Además, demuestran como el nuevo límite de cloruros iniciales que exige el Código Estructural para estructuras en ambiente marino (XS) es necesario para garantizar la vida útil por corrosión en los espaldones de dique.

3.2. Control del contenido inicial de cloruros del hormigón

Desde la Instrucción EH-91 hasta la normativa actual (Código Estructural), todos los componentes del hormigón (cemento, agua, árido y adiciones) tienen un contenido máximo admitido de cloruros. Por tanto, **el primer paso para controlar el contenido de cloruros iniciales del hormigón es garantizar que sus componentes cumplen con la normativa.**

Pero, además, la normativa fija siempre un límite global al hormigón. La **Tabla 5** muestra el contenido máximo de cloruros que se permite a cada componente del hormigón y, a partir de una dosificación estándar, que valor total de cloruros tendría el hormigón que cumpla de manera estricta estos límites.

Tabla 5. Contenido máximo de cloruros en los componentes del hormigón. Código Estructural

Componente del hormigón	kg/m ³	Máximo contenido de cloruros (EHE y Código Estructural)	Kg de cloruros por m ³ de hormigón
Árido	1800	0,05%	0,90
Cemento	322	0,1%	0,32
Cenizas	90	0,1%	0,09
Agua	174	2 g/l	0,35
% de cloruros totales, expresados en peso de cemento			0,52 %

Se puede observar cómo **cumplir con los límites a los componentes del cemento** no implica automáticamente el cumplimiento al límite que se aplica al hormigón. Es más, **queda muy lejos del límite actual del Código Estructural (0,2%^{pcem}).**

Además, las medidas realizadas en todos los espaldones de diques muestran cómo, aun en las estructuras cuyo valor medio cumple con la normativa, existe importante variación entre las diferentes medidas realizadas (Figura 4 y Tabla 3). Por consiguiente, durante la ejecución de una estructura portuaria es importante **comprobar periódicamente el contenido total de cloruros del hormigón colocado**. Además, se deben **proteger los acopios** de áridos y de ferralla de posibles contaminaciones por cloruros, se debe **evitar cualquier contaminación** del hormigón por cloruros durante su colocación y, finalmente, se deben **lavar las esperas** de acero con agua dulce antes de colocar el armado del siguiente elemento estructural.

4. Permeabilidad del hormigón

Desde la Instrucción EHE hasta la actualidad, la normativa española exige controlar la permeabilidad del hormigón expuesto al ambiente marino a través del ensayo de penetración de agua bajo presión. Por ello, a las estructuras A, B, D y E se les exigió una penetración máxima de 50 mm, ya que es lo que se pedía a todas las estructuras expuestas a cloruros. Actualmente, a los espaldones de dique se les exige 30 mm de penetración máxima, por ser estructuras ubicadas en ambiente XS3. En la Instrucción EH-91, de aplicación a la estructura C, este ensayo era sólo una recomendación en comentarios.

La Figura 6 muestra los resultados de penetración máxima obtenidos en el interior de 89 testigos de hormigón extraídos de las estructuras A a E, y la Tabla 6 recoge la valoración de los resultados obtenidos.

Los valores medios de los cuatro espaldones realizados con la Instrucción EHE cumplirían o se aproximarían, de manera muy ajustada, a la penetración exigida por la normativa de aplicación en el momento de la construcción.

La única estructura que no cumpliría sería el espaldón C, obra realizada con la EH-91 y a la que no se exigía el control de la penetración de agua. Por tanto, **en todos los casos el hormigón colocado en obra ajustó de forma estricta su valor medio de su permeabilidad a lo que pedía la normativa**.

Tabla 6. Valoración de la penetración de agua

Dique	Penetración de agua máxima (mm)	% cumplimiento Código Estructural (30 mm)	% cumplimiento EHE (50 mm)
B	52	10%	50%
	54	3%	51%
C	62	0%	43 %
D	50	40%	60 %
E	50	31%	62%

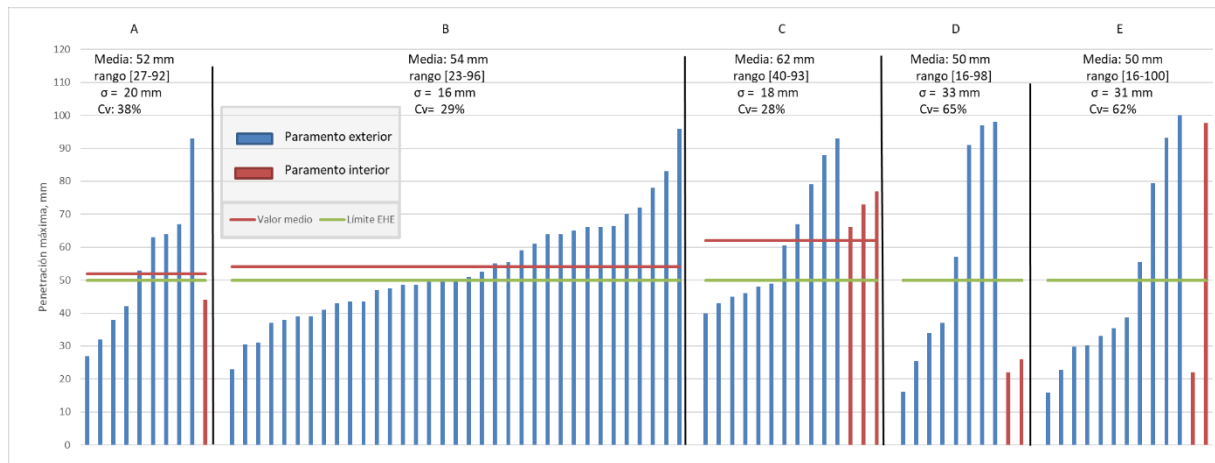


Figura 6. Penetración de agua. Interior de los testigos. Espaldones A a E

Ahora bien, los resultados de penetración de agua obtenidos en el interior de todos los testigos han dado un valor medio de 54 mm, muy próximo al límite normativo, pero con una distribución de resultados que hace que la mitad del hormigón ensayado no cumpla, y con un número de valores considerables que se alejan sensiblemente del valor medio. Por ejemplo, el 29% de las medidas supera los 65 mm de penetración máxima, o el 21% los 70 mm. La Figura 7 muestra la distribución de todos los resultados obtenidos.

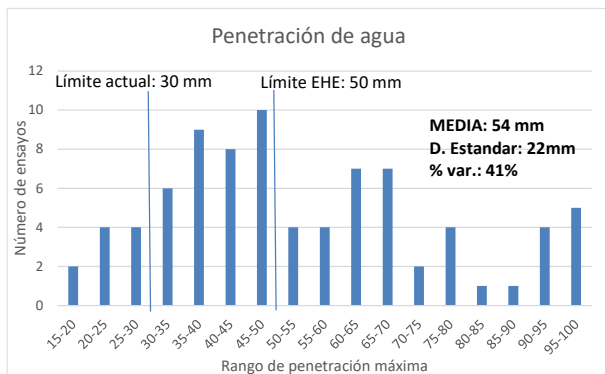


Figura 7. Penetración de agua. Interior de los testigos. Distribución de los resultados obtenidos

Estos resultados implican que, alrededor de un valor medio que se aproxima mucho al límite normativo, se produce una gran dispersión de los resultados que conlleva una disminución de la durabilidad del hormigón, ya que la mitad

del espaldón queda por encima de lo exigido, y con valores que se alejan claramente de la media.

4.1. Relevancia de la permeabilidad del hormigón en la vida útil de las estructuras portuarias

Un hormigón más permeable es un hormigón que presenta menos resistencia a la penetración de los cloruros. Esta resistencia se cuantifica a través del coeficiente de difusión aparente del hormigón. Los resultados obtenidos en los espaldones de los 5 diques estudiados han permitido concluir que un hormigón ubicado en ambiente de espray y salpicaduras, que en el recubrimiento alcance una penetración máxima de 50 mm, debería presentar un coeficiente de difusión de $3,75 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ [8], valor ligeramente inferior al que asigna el Código Estructural a un hormigón realizado con CEM I y a/c 0,5 [7].

A partir de este resultado, y de los datos expuestos en Tabla 4, es posible evaluar cómo afecta a una estructura portuaria que cumpla con todas las exigencias del Código Estructural el hecho de que en el recubrimiento se alcance una permeabilidad de 50 mm, en lugar de los 30 mm que exige actualmente la normativa. La Figura 8 muestra los resultados obtenidos para el espaldón de un dique.

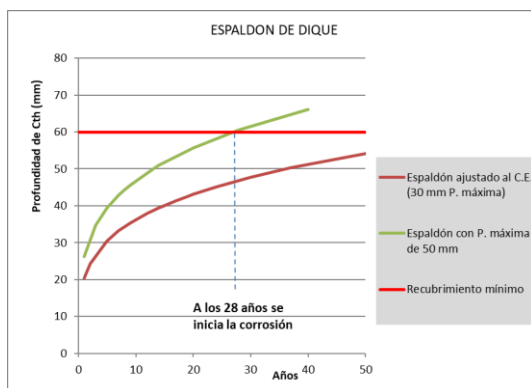


Figura 8. Periodo de iniciación de la corrosión. Diferente permeabilidad del recubrimiento en un espaldón que cumple con el Código Estructural

Aun cumpliendo con todas las exigencias que el Código Estructural exige a las estructuras portuarias, aquellas zonas del espaldón de un dique que presenten una penetración de agua de 50 mm en su recubrimiento pasarán de cumplir con la vida útil de 50 años para la que fueron diseñadas estas estructuras a iniciar la corrosión tras 28 años de exposición a los cloruros.

Estos resultados cuantifican, en pérdida de años de vida útil, la importancia de cumplir en toda la extensión de las estructuras portuarias la penetración de agua máxima que exige actualmente la normativa. Además, justifican claramente la necesidad de disminuir la penetración máxima admitida en estructuras en ambiente XS3, de 50 mm que pedía la Instrucción EHE, a los 30 mm que se exigen desde el año 2008.

4.2. Control de la permeabilidad del hormigón

El ensayo de penetración de agua, según el apartado 57.5.7 del Código Estructural, se realizará al inicio y, posteriormente, cada seis meses a lo largo del suministro para cada tipo de dosificación, y siempre que los hormigones no posean distintivo de calidad oficialmente reconocido. Este planteamiento de control de la permeabilidad es el mismo desde la EHE del año

1998, por lo que es de suponer que es lo que se llevó a cabo en los 5 espaldones.

Elevar el control de ejecución sobre la permeabilidad del hormigón puesto en obra sería uno de los factores que permitiría disminuir la amplitud de las variaciones que la permeabilidad sufre a lo largo de la construcción. Por ello, se considera recomendable **controlar de forma frecuente la permeabilidad del hormigón durante la ejecución de obras portuarias.**

5. Conclusiones

Esta comunicación evalúa la relación existente entre la calidad del hormigón seleccionado para realizar 5 espaldones de diques y la posterior patología por corrosión de las armaduras que presentaros estas estructuras, tras pocos años de servicio. Para ello, se han evaluado los resultados obtenidos tras realizar 67 ensayos de resistencia a compresión, 46 medidas de cloruros iniciales y 89 ensayos de penetración de agua en testigos extraídos de estas 5 estructuras. A continuación, se recogen las principales conclusiones alcanzadas sobre estas 3 propiedades del hormigón y la durabilidad frente a la corrosión de estas estructuras portuarias:

- **La resistencia a compresión no es un parámetro que determine la posterior durabilidad de las estructuras expuestas al ambiente marino.**

- 3 de los 5 espaldones evaluados cumplían con el límite de cloruros que les aplicaba la normativa (0,4%pcem) y dos de ellos cumplían incluso con el límite actual (0,2%pcem), mucho más restrictivo.

- En todos los casos se observan **variaciones significativas en el contenido de cloruros iniciales del hormigón dentro de una misma obra.** Estas variaciones suponen siempre una pérdida significativa de años de vida útil.

- **Para cumplir en toda la extensión de las estructuras portuarias con el límite**

máximo de cloruros iniciales se recomienda: **comprobar periódicamente el contenido en cloruros total del hormigón colocado, proteger los acopios** de áridos y de ferralla de posibles contaminaciones y **lavar las esperas** de acero con agua dulce.

- En los 4 espaldones en que la penetración de agua era una exigencia al hormigón, el valor medio de permeabilidad medido se ajustó de forma estricta a lo que pedía la normativa. Ahora bien, se observa gran dispersión en los resultados, con valores que se alejan claramente de la media por exceso, lo que conlleva una disminución evidente de la vida útil.

- Para cumplir en toda la extensión de las estructuras portuarias con el límite para la permeabilidad del hormigón se considera recomendable **controlar de forma frecuente la permeabilidad del hormigón colocado durante la ejecución de obras portuarias.**

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Encargo de Puertos de Estado al CEDEX para la realización de trabajos de asistencia técnica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico en materias de interés para el sistema portuario de titularidad estatal (2020-2022).

Agradecer a Puertos del Estado su interés por querer ampliar el estado actual del conocimiento en todo lo concerniente a las patologías de corrosión del hormigón expuesto al ambiente marino, así como la confianza depositada en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales para llevar a cabo esta tarea.

También agradecer 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] Cánovas, M. (2006) Hormigón. 7º Edición. Madrid: Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- [2] Alaejos, P., Bermúdez, M.A. (2008) Corrosión de las armaduras en el hormigón situado en ambiente marino. Estado del arte. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General técnica, Ministerio de Fomento. CEDEX.
- [3] Lanza, V, Alaejos, P. Lope, A. (2023) Recomendaciones para mejorar la durabilidad de espaldones de diques de hormigón armado. Madrid, MITRAMS.
- [4] Comisión Permanente del Hormigón (1991) Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-91). Madrid. MOPT.
- [5] Comisión Permanente del Hormigón (1998) *Instrucción de Hormigón Estructural EHE*. Madrid, Ministerio de Fomento.
- [6] Comisión Permanente del Hormigón (2008) *Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008*. Madrid, Ministerio de Fomento.
- [7] Comisión Permanente del Hormigón (2021) *Código Estructural*, Madrid, MITMA.
- [8] Lanza, V. (2022) Valoración global del estado de corrosión de espaldones de diques. Informe CEDEX para Puertos del Estado.
- [9] Fernández, S (2016) Corrosión de armaduras en el hormigón armado en ambiente marino aéreo. Tesis Doctoral. Madrid, UPM.