

Rehabilitación de estructuras portuarias: pantalán de Sierra Menera (Puerto de Sagunto, Valencia)

Refurbishment of port structures: Sierra Menera pier (Puerto de Sagunto, Valencia)

Fernando Rodríguez García ^a, Pablo Alonso Medina ^b, Javier Martínez González ^c

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

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

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

RESUMEN

A la hora de llevar a cabo el diagnóstico del estado de conservación de una estructura portuaria es necesario contar con una metodología específica que, integrando diferentes sistemas de inspección no convencionales como trabajos subacuáticos o trabajos en altura, permita detectar patologías a priori ocultas y minimizar las incertidumbres sobre el estado de la estructura. A finales de 2018, FHECOR llevó a cabo los trabajos de inspección y diagnóstico del estado de conservación del pantalán de Sierra Menera del Puerto de Sagunto (Valencia), y elaboró el estudio de viabilidad estructural de su reparación, así como una primera fase del proyecto de consolidación estructural del pantalán.

ABSTRACT

When performing a diagnosis of the preservation of a port structure it becomes necessary to count on a specific methodology, which, by including different non-conventional inspection systems such as works at height or in underwater conditions, allows structural engineers to identify damages not detected in advance, and minimise the uncertainty regarding the condition of the structure as a whole. At the end of 2018, FHECOR carried out the inspection and diagnosis works of the Sierra Menera pier of the Port of Sagunto (Valencia, Spain). FHECOR performed the viability assessment of the refurbishment of the structure, as well as the first part of its structural consolidation project.

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

KEYWORDS: ports, maintenance, refurbishment, aggressiveness, damages, inspection.

1. Introducción

El pantalán de Sierra Menera del Puerto de Sagunto (Valencia) es, con sus más de 1200 metros de longitud, uno de los ejemplos más espectaculares del patrimonio estructural industrial español.

En el año 2018, la Autoridad Portuaria de Valencia contrató a FHECOR la realización del estudio de viabilidad estructural de la

remodelación del pantalán para alargar 50 años más su vida útil con un uso recreativo.

Las condiciones de agresividad ambiental a las que están expuestas las estructuras ubicadas en el mar requieren de la aplicación de estrategias de mantenimiento y reparación especializadas.

En el caso del pantalán de Sagunto, algunos pilotes presentaban una merma muy importante de su sección resistente y, en general, el estado de conservación de dos tercios del tablero requería de una intervención a corto plazo. De entre todos los daños detectados en la

estructura, los de mayor gravedad desde el punto de vista estructural resultaron ser, precisamente, aquellos que no pudieron detectarse durante la inspección visual del pantalán al no ser visibles a simple vista.

2. Descripción de la estructura

2.1. Antecedentes

El pantalán de minerales de Sierra Menera del Puerto de Sagunto fue construido entre los años 1975 y 1977 con una finalidad industrial ligada a la explotación de la mina “Ojos Negros” (Teruel) por parte de la compañía minera Sierra Menera, S.A., que cesó su actividad en 1987.

Desde el citado pantalán se daba salida al material de pirita que se explotaba en la mina mediante la carga directa de grandes buques con los que se comercializaba el producto. Este uso se modificó posteriormente, cuando comenzó a

ser utilizado como puerta de entrada y salida de carbón una vez se terminaron las reservas de pirita en la mina de “Ojos Negros”.

En el año 1990, se revertió la concesión del pantalán y la Autoridad Portuaria de Valencia (APV) recuperó su propiedad.

Por lo tanto, de los 41 años transcurridos desde la construcción del pantalán, la estructura ha tenido un uso industrial durante únicamente 13 años, desde 1977 hasta 1990. Desde el año 1990 hasta hoy el pantalán no ha tenido ningún uso comercial ni de ningún otro tipo.

2.2. Descripción y geometría del pantalán

En términos generales, la estructura del pantalán está conformada por una serie de vanos sucesivos que transmiten sus cargas al terreno mediante pilotes, y que pueden agruparse en 5 tramos diferenciados.

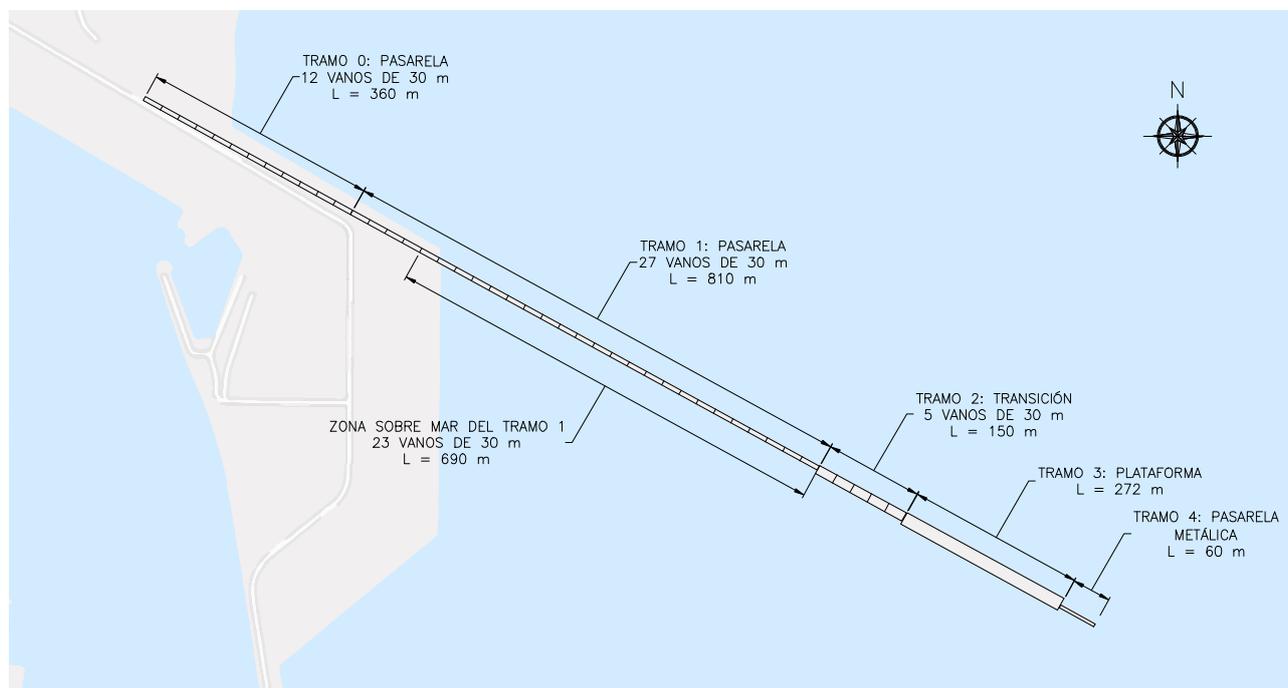


Figura 1. Tramos diferenciados en los que se divide el pantalán

El tramo 0 tiene una longitud total 360 metros y está ubicado totalmente sobre tierra firme, teniendo como apoyos unos encepados prefabricados de hormigón armado que se sustentan sobre 2 pilotes de hormigón armado que transmiten las cargas al terreno. Los pilotes

son verticales y alcanzan una profundidad de 16 metros.

El tramo 1 del pantalán, de 810 metros de longitud y vanos de 4 vigas, está apoyado sobre encepados prefabricados de hormigón armado, de cada uno de los cuales arrancan 3 pilotes

metálicos huecos de 762mm de diámetro y chapa de acero de 13mm de espesor que alcanzan una longitud total de entre 34 y 36 metros de longitud. Estos pilotes se conectan a la cara inferior del encepado en una disposición de triángulo equilátero, y se encuentran inclinados con una pendiente 1:4.



Figura 2. Tramo 1 del pantalán

El tramo 2 del pantalán, de 150 metros de longitud y vanos de 8 vigas, presenta la misma tipología estructural que el tramo 1, con la salvedad de que en este tramo una parte de los encepados son de hormigón armado y otra de acero, a diferencia de los tramos anteriores en los que no existían encepados de acero.



Figura 3. Tramo 2 del pantalán

El tramo 3 del pantalán, de 272 metros de longitud, está formado por una losa nervada continua de hormigón armado ejecutada in situ, de 40cm de espesor y 20m de ancho, sobre 3 nervios de 1.90m de canto. Cada nervio se sustenta sobre una alineación de pilotes

metálicos. Los pilotes ubicados bajo los nervios exteriores son verticales y se encuentran separados entre sí una distancia de 6 metros, mientras que los pilotes de la alineación central están inclinados hacia el exterior y unidos en su extremo superior.

Las vigas postesadas de hormigón existentes en los tramos 0, 1 y 2 del pantalán son vigas con sección en “T” de 30 metros de longitud y 1.50m de canto.



Figura 4. Tramo 3 del pantalán

El tramo 4 del pantalán, de 60 metros de longitud, se sitúa al final del tramo 3, desviado unos 6m al Sur del eje de simetría longitudinal del tramo 3 del pantalán. Este tramo está formado por una pasarela metálica de acceso a dos duques de alba que se encuentran a 30 y 60 metros del final del tramo 3 respectivamente. La pasarela metálica se compone de 2 vanos, resueltos cada uno de ellos con una estructura en celosía.

2.3. Consideraciones sobre la agresividad ambiental

Aunque en el momento del proyecto y construcción del pantalán, la reglamentación entonces vigente no contemplaba ninguna clasificación de la agresividad ambiental orientada a la durabilidad de las estructuras, parece evidente que cualquier actuación que se plantee en el futuro para su rehabilitación debe ser acorde con las reglamentaciones hoy vigentes así como con el estado actual del conocimiento.

2.3.1. Agresividad en los elementos de hormigón

El pantalán es una estructura ubicada en un ambiente marino sometido a la potencial agresividad de la acción del agua de mar, tanto sobre el hormigón como, de manera muy especial, sobre sus armaduras. Por ello se puede diferenciar en tres situaciones, ordenadas de menor a mayor grado de agresividad [1]: ambiente marino aéreo (clase específica IIIa), ambiente marino sumergido (clase específica IIIb) y ambiente marino de carrera de mareas y salpicaduras (clase específica IIIc).

De los tres niveles anteriores, sin duda el más agresivo es el último. Por ello, vale la pena lograr un mayor grado de precisión en su definición. En este sentido, pueden identificarse los elementos sometidos a este nivel de agresividad como aquellos que:

- a) Están situados en la zona de carrera de mareas definida entre los niveles de bajamar y pleamar. En el caso de Sagunto puede considerarse que se alcanza una carrera de aproximadamente 0.40m (información de REDMAR para Valencia, con datos actualizados a 2013).
- b) Están situados en la zona afectada por el oleaje. Se considera una altura de ola significativa de 1m [2].
- c) Están situados en la zona afectada por las salpicaduras. Se considera que dicha zona tiene 1.5m de altura.

En consecuencia, puede considerarse que la zona de carrera de mareas y salpicaduras alcanza desde el nivel de bajamar la cota:

$$z = \frac{0.40}{2} + \frac{1.00}{2} + 1.50 = 2.20m \quad (1)$$

Por encima de esta cota puede considerarse que los elementos se encuentran en zona marina aérea.

A la vista de lo anterior, la totalidad de los elementos del tablero, cuyas caras inferiores están situadas a cotas comprendidas entre los 3.75m y los 4.15m, están situados en zona

marina aérea (clase IIIa [1]), con un nivel de agresividad moderado, debido a la presencia de iones cloruro por acción de los aerosoles marinos.

Los encepados de hormigón del pantalán están situados entre las cotas 2.75m y 4.15m. Del lado de la seguridad, al estar situados en las zonas de juntas del tablero, cuya impermeabilidad es muy deficiente y podría producirse un aporte adicional de iones cloruro procedente de aquéllos que son depositados en la superficie por los aerosoles marinos, los encepados pueden considerarse incluidos en zona marina de carrera de mareas y salpicaduras (clase IIIc [1]), con un nivel de agresividad muy alto.

Por su parte, los encepados de acero estarán ubicados en clase de exposición C5-M de acuerdo con la Instrucción EAE [3] y en zona aérea, de acuerdo con el Eurocódigo 3 [4], tal y como se indica en el apartado siguiente.

2.3.2. Agresividad en los elementos de acero

La reglamentación actualmente vigente en España para el proyecto y la construcción de estructuras de acero es la Instrucción de Acero Estructural EAE [3], la cual incluye en su artículo 8º dos opciones para clasificar la agresividad de elementos sometidos al agua de mar:

- a) Áreas costeras con salinidad moderada (clase C4).
- b) Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad (clase C5-M).

A la vista de lo anterior, la clasificación que parece aplicable al caso de la totalidad de elementos de acero del pantalán sería la C5-M. Sin embargo, esta clasificación parece quedarse algo simple, ya que no parece que pueda contemplarse el mismo grado de agresividad, por ejemplo, en las zonas de salpicaduras de los pilotes que en los encepados que recogen las vigas del tablero. Por ello, se considera más preciso adoptar la clasificación recogida en la parte del Eurocódigo 3 específica para pilotes, concretamente en la EN 1993-5 [4].

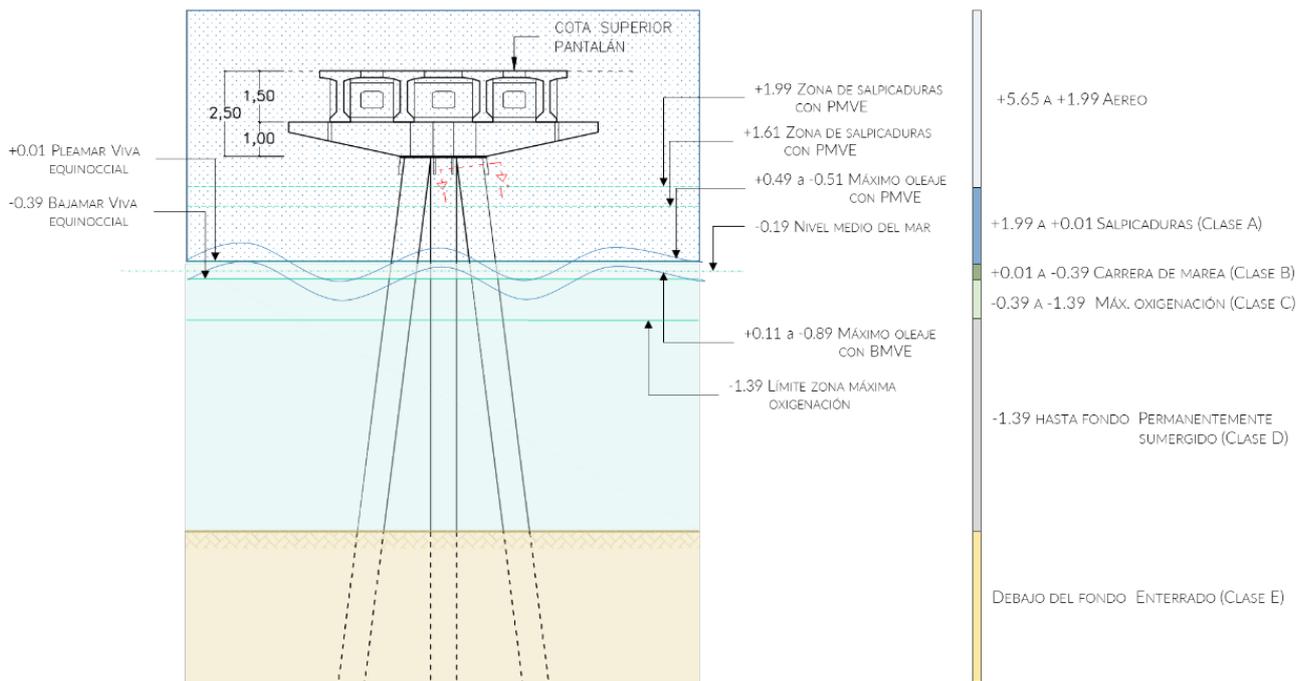


Figura 5. Clasificación de la agresividad ambiental en los pilotes del pantalán, de acuerdo con EN 1993-5

Los pilotes de acero están situados con una cota superior aproximada de +3.15m, y la cota del nivel del mar medio en Sagunto respecto al NMMA sería -0.19m (REDMAR). A partir de dichos datos se puede clasificar la agresividad del pilote en función de su cota.

Tabla 1. Clasificación de la agresividad ambiental en los pilotes.

Rango de cotas [m]	Clase según EN 1993-5	Clase según EAE
+1.99 a +0.01	Clase A	Clase C5-M
+0.01 a -0.39	Clase B	Clase C5-M
-0.39 a -1.39	Clase C	Clase C5-M
-1.39 a fondo	Clase D	Clase C5-M
Enterrado	Clase E	Clase C5-M

3. Inspección y diagnóstico

3.1. Metodología general de los trabajos

La metodología de los trabajos de inspección y diagnóstico se compone de:

1. Análisis de la documentación existente, con objeto de caracterizar geométrica y estructuralmente los distintos elementos que conforman el pantalán.

2. Comprobación geométrica del pantalán mediante trabajos en altura.
3. Inspección del pantalán:
 - 3.1. Desde la superficie del pantalán.
 - 3.2. Mediante embarcación.
 - 3.3. Subacuática.
 - 3.4. Mediante trabajos en altura.
4. Elaboración de mapas de daño de todos los elementos estructurales, que reflejan tanto su tipología como su severidad.
5. Elaboración de un plan experimental, en el que se definen los ensayos y comprobaciones in situ necesarias para la auscultación del estado del pantalán, así como su frecuencia y localizaciones.
6. Ejecución del plan experimental para la evaluación cuantitativa de los parámetros más relevantes del estado del pantalán, tanto desde el punto de vista mecánico como desde el de la durabilidad.
7. Análisis de los resultados de los ensayos y diagnóstico.
8. Cálculo de la vida útil residual.
9. Planteamiento de las estrategias de reparación y mantenimiento de los diferentes elementos que componen el pantalán.

3.2. Patologías observadas durante la inspección

Durante la inspección del pantalán se identificaron en los elementos de hormigón una serie de daños que afectan a la estructura de forma generalizada, entre los que destacan armaduras vistas con corrosión y pérdidas de recubrimiento, fisuras, pérdidas de sección de hormigón, manchas de óxido y eflorescencias.

Se han detectado también, de forma localizada, algunos daños como contraflechas en vigas pretensadas, pérdidas de alineación longitudinal o restos de reparaciones anteriores.

En los elementos de acero (pilotes y 4 encepados del tramo 2), los daños afectan principalmente a los pilotes, que presentan corrosión generalizada con una pérdida variable de espesor de chapa. En el caso de 11 pilotes, se detectó que la pérdida de sección llegaba a ser total, mostrando estos pilotes huecos o grietas que, en muchos de los casos, estaban ocultos tras la capa de productos de corrosión que presentaban los pilotes, que llegaba a alcanzar en algunos casos un espesor de varios centímetros.



Figura 6. Huecos en pilotes metálicos, ocultos a priori bajo la capa de productos de corrosión

La existencia de los huecos y grietas anteriores se detectó durante la toma de medidas de espesor de chapa mediante ultrasonidos, trabajos para los cuales es necesario retirar previamente la capa de productos de corrosión.

De no retirarse, la capa de productos de corrosión no permitiría el correcto acople del equipo de ultrasonidos y las mediciones que se

realizasen serían incorrectas, ya que la velocidad de transmisión de las ondas ultrasónicas a través de la capa de productos de corrosión es sensiblemente diferente a la velocidad de propagación de estas ondas a través del acero. Esto hace que, de no retirarse, las medidas de espesor no se corresponderían ni al espesor de pilote sano ni al espesor conjunto de pilote sano y capa de corrosión, sino a una tercera situación indeterminada que impediría la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

3.3. Campaña de ensayos

A la vista de los daños detectados en la estructura se diseñó un plan de ensayos para caracterizar los materiales de la estructura en términos mecánicos y de durabilidad:

- Medición del espesor de chapa de pilotes y encepados metálicos con ultrasonidos.
- Extracción de cupones metálicos para su ensayo en laboratorio (resistencia a tracción y aptitud a la soldabilidad).
- Extracción de muestras de armadura de vigas y encepados de hormigón para su ensayo en laboratorio (resistencia a tracción y aptitud a la soldabilidad).
- Extracción de testigos de hormigón, para su ensayo en laboratorio (resistencia a compresión, contenido de cloruros, profundidad de carbonatación e inspección con microscopio). Además, previamente a la extracción de cada uno de los testigos se realizaron directamente sobre la estructura determinaciones de la profundidad de las armaduras mediante pachometría y determinaciones de la velocidad de transmisión de las ondas ultrasónicas en el hormigón.

3.4. Comprobación estructural del pantalán

La comprobación estructural del pantalán se centró en el análisis de sus principales elementos: vigas, encepados y pilotes.

En relación con las vigas de hormigón prefabricadas existentes en los tramos 1 y 2 del pantalán, los coeficientes de seguridad obtenidos fueron muy ajustados. En vista de los resultados, se consideró conveniente recomendar la retirada del pavimento existente.

La losa nervada del tramo 3 no presentaba problemas estructurales que pusieran en duda la capacidad resistente de dicho tramo.

Los encepados no tienen en general problemas estructurales, a excepción de uno de ellos que parece presentar una fisura de cortante.

Finalmente, para las hipótesis de carga consideradas, se comprobó que los coeficientes de seguridad de los pilotes resultarían aceptables considerando sus dimensiones nominales. Sin embargo, en vista de la pérdida de espesor observada en buena parte de los pilotes, se llevó a cabo un estudio específico de la capacidad resistente de los pilotes que permitió valorar en qué medida afecta a la capacidad portante la pérdida de espesor o los agujeros detectados en algunos de los pilotes.

El espesor crítico de los pilotes se calculó teniendo en cuenta tanto su componente estructural como su componente por durabilidad.

Para el cálculo de la componente por durabilidad se emplearon las mediciones de espesor remanente de chapa de pilote que se realizaron como parte de la campaña de ensayos. Ha de tenerse en cuenta que, pese a que en la normativa vigente se sugieren valores aproximados para la velocidad de corrosión a considerar en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que está expuesta la estructura, a la hora de intervenir sobre estructuras existentes, es la propia estructura la que constituye la mejor aproximación del efecto que tiene la agresividad ambiental sobre la estructura sobre la que se quiere actuar.

Una estructura existente debe considerarse, a efectos de su reparación, como un modelo a escala real de sí misma que ha estado expuesto a las condiciones de agresividad

frente a cuyos efectos se quiere combatir. Por lo tanto, ha de extraerse de la misma toda aquella información que pueda resultar de ayuda para emitir un diagnóstico más preciso.

A partir de las medidas de espesor de chapa realizadas se pudo calcular que la pérdida media de espesor determinada mediante ensayos resulta igual a 4.53mm, alcanzada en los 41 años que tenía la estructura en el momento de los ensayos. De este modo, resulta inmediato determinar que la velocidad de corrosión derivada de las extraordinarias condiciones de agresividad ambiental a las que está expuesta la estructura es igual a 110µm/año, superior a los valores que resultarían de aplicación de acuerdo con las recomendaciones de gran parte de la normativa y reglamentación de aplicación.

Por lo tanto, para garantizar que durante los 50 años posteriores a la reparación la estructura será capaz de resistir las sollicitaciones a las que está expuesta, debe disponerse un sobreespesor de sacrificio de 5.50mm:

$$\Delta e = 50 \text{ años} \cdot \frac{110 \mu\text{m}}{\text{año}} = 5.50 \text{ mm} \quad (2)$$

El sobreespesor de sacrificio tendrá un valor igual al espesor de acero que se consumirá tras aproximadamente 50 años de exposición a las condiciones ambientales.

Para el cálculo de la componente estructural del espesor del pilote se realizó un cálculo de la resistencia de la sección en función del valor de pérdida de espesor de chapa, teniendo en cuenta que tanto la longitud de pandeo como la clase de la sección varían con el valor de la pérdida de espesor de chapa.

Se determinó que el espesor mínimo capaz de satisfacer los requerimientos estructurales es de 11mm, ligeramente inferior que los 13mm de proyecto.

Por lo tanto, para garantizar el correcto funcionamiento estructural de los pilotes del pantalán durante los próximos 50 años, sería necesario que éstos contaran con un espesor de, al menos, 16.50mm.

3.5. Valoración global del estado del pantalán

En vista de los resultados de las comprobaciones estructurales, presentados en el apartado anterior, una parte de los elementos del pantalán parecen requerir de algunas actuaciones de consolidación estructural.

Por otra parte, en relación con la durabilidad de la estructura, cabe concluir que los pilotes de acero presentan un grado de deterioro bastante avanzado en los 2/3 de su parte emergida más próximos al agua de mar. En algunos casos el deterioro de los pilotes ha llegado a provocar la pérdida del espesor completo de alguna parte de la sección.

Asimismo, en los tramos 1 y 2 hay una serie de elementos en las proximidades de las juntas, tales como diafragmas y encepados, que presentan un grado de deterioro por corrosión muy elevado. Ello tiene su origen en la impermeabilidad deficiente de las juntas existentes, por las que discurre el agua con un alto contenido en cloruros desde la cara superior del tablero.

No obstante lo anterior, teniendo en cuenta el estado del conocimiento técnico actual, se consideró factible lograr la viabilidad estructural del pantalán en el futuro, pero siempre condicionada a realizar una serie de actuaciones capaces de restablecer:

- a) Un nivel de seguridad compatible con la reglamentación actualmente vigente y el uso recreativo del pantalán en el futuro.
- b) Las condiciones de durabilidad adecuadas para conseguir los 50 años de vida útil adicionales requeridos por la Autoridad Portuaria.

En este sentido cabe distinguir entre dos grupos de actuaciones diferenciadas. Por un lado, una serie de medidas que se requerirían de forma previa al resto de actuaciones de consolidación estructural del pantalán para mantenerlo en unas condiciones de seguridad suficientes, y por otro, las alternativas de

rehabilitación del pantalán propiamente dicha, para su uso durante una vida útil de 50 años.

En los siguientes apartados se identifican tanto las medidas que sería necesario abordar tanto a corto plazo, como las alternativas para la rehabilitación integral del pantalán que se plantean a largo plazo.

4. Actuaciones iniciales para la consolidación estructural del pantalán

Este primer grupo de medidas está encaminado a procurar que no haya incidentes estructurales hasta el momento en que se aborde, en su caso, la rehabilitación del pantalán propiamente dicha.

La situación actual de algunos elementos del pantalán presenta un deterioro elevado. En consecuencia, se proponen una serie de medidas a ejecutar a corto plazo y que debieran permitir, en su caso, mantener un cierto grado funcional del pantalán, al menos para continuar con el mismo tipo de actividades que se realizan en la actualidad para el mantenimiento de la baliza existente al final del tramo 3, así como para permitir, en su caso, el paso de los vehículos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento del propio pantalán. La adecuación de la estructura completa a la reglamentación hoy vigente deberá acometerse mediante el proyecto de rehabilitación correspondiente.

Las actuaciones que se propone realizar en una primera fase de consolidación estructural serían, en orden de ejecución, las siguientes:

- 1) Limitación de las cargas de los vehículos que circulen por encima del pantalán.
- 2) Refuerzo de los 11 pilotes que presentan agujeros en su sección.
- 3) Regeneración de la sección y refuerzo a cortante del encepado que presenta una fisuración que pudiera denotar un fallo localizado frente a esfuerzo cortante.
- 4) Retirada del pavimento.

De las actuaciones anteriores, las dos que presentan una mayor complejidad son las correspondientes al refuerzo del encepado de hormigón y de los pilotes que presentan una pérdida de sección más acusada.

El refuerzo del encepado frente a cortante se plantea compuesto por las siguientes fases de ejecución:

- 1) Saneo del hormigón y ejecución de cajado y taladros pasantes.
- 2) Colocación y anclaje de barras de refuerzo.
- 3) Inyección con resina epoxi.
- 4) Reposición de armaduras y de la sección con mortero de reparación.

Por otra parte, el procedimiento de ejecución del refuerzo de los pilotes estaría compuesto por las siguientes actividades:

- 1) Limpieza de la superficie de los pilotes.
- 2) Posicionamiento de cañas metálicas de refuerzo mediante pontona.
- 3) Conexión entre pilote y refuerzo mediante cartelas.
- 4) Hormigonado del interior del pilote.

5. Alternativas planteadas para la rehabilitación del pantalán

La rehabilitación definitiva del pantalán requiere de una serie de actuaciones coordinadas y orientadas a recuperar las condiciones de seguridad y funcionalidad del pantalán en las mismas condiciones que las que tendría una estructura nueva. Dichas actuaciones pueden enfocarse mediante diversas estrategias, que presentan una serie de ventajas e inconvenientes.

5.1. Alternativas de rehabilitación

5.1.1. Alternativa 0: no actuar

Siempre es conveniente la consideración de la posibilidad de no actuar cuando se plantea un estudio de alternativas. Sin embargo, cabe destacar en este punto que la adopción de esta alternativa iría unida necesariamente al cierre del

pantalán para cualquier uso, así como a la adopción de unas limitaciones muy estrictas tanto para el tráfico rodado que pudiera pasar por encima del mismo, como para el tráfico de embarcaciones que pudiera discurrir por sus proximidades.



Figura 7. Estado actual del pantalán

5.1.2. Alternativa 1: rehabilitación integral de la totalidad del pantalán

Se plantea la rehabilitación integral de la totalidad del pantalán (1230m), que incluiría el refuerzo de todos los pilotes, la reparación de los encepados, la sustitución de las vigas que presentan un grado de deterioro muy importante y la reparación del resto de vigas longitudinales y diafragmas, así como la aplicación de un sistema de protección de la estructura frente a la agresividad ambiental.

5.1.3. Alternativa 2: rehabilitación parcial del pantalán

Se plantea en este caso la rehabilitación parcial del pantalán (390m), de manera que se mantenga la funcionalidad lúdica que se pretende dar al pantalán en el futuro pero se aborde una solución claramente más económica, del orden del 55% del coste de la rehabilitación global, a la vez que se facilitan las labores de seguridad de uso y evacuación, ya que esta solución sólo permite que las personas se separen de tierra unos 390m como máximo mientras que la alternativa de rehabilitación total supondría una separación de 1230m, longitud claramente más difícil de gestionar desde el punto de vista de la seguridad.

La solución planeada aprovecha los trece primeros vanos del tramo, rehabilitándolos en su integridad y creando una plataforma en su extremo para favorecer la contemplación del entorno marino. Asimismo, se plantea demoler los tableros de los vanos restantes del pantalán.



Figura 8. Recreación de la alternativa 2

5.1.4. Alternativa 3: sustitución del tablero actual por uno nuevo

A la vista del importante grado de deterioro que en el momento actual presenta el pantalán otra posible opción sería la reposición global del tablero, que se dispondría sobre la subestructura existente actualmente una vez reparada. Sin embargo, el coste de sustituir el tablero es superior a la de repararlo debido al coste que suponen los medios auxiliares necesarios para su instalación.

5.1.5. Alternativa 4: demolición del pantalán

Únicamente a efectos de comparación con el resto de alternativas, también se ha valorado económicamente la opción de demoler la totalidad del pantalán mediante pontona con grúa. El coste que tendría la demolición del pantalán completo sería del orden del 50% del coste de la rehabilitación global, muy similar al coste de su rehabilitación parcial.

6. Conclusiones

El desarrollo económico y social de España en los últimos años ha estado ligado indudablemente al desarrollo de sus puertos. El pantalán de Sierra Menera es un ejemplo excepcional de la tipología de estructuras que

hace décadas dieron pie al inicio del desarrollo del sector portuario de España, y como referencia histórica y estructural debe tratar de preservarse.

Se ha presentado en este artículo la metodología seguida por FHECOR para la inspección, diagnóstico y rehabilitación de estructuras portuarias, a través del ejemplo concreto del pantalán de Sierra Menera.

7. Referencias

- [1] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [2] Dirección General de Puertos, ROM 0.3-91. Recomendaciones de Obras Marítimas. Acción Climática (I): Oleaje. Anexo: Clima Marítimo del Litoral Español, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, 1992.
- [3] Comisión Permanente de Estructuras de Acero, Instrucción de Acero Estructural EAE, Ministerio de Fomento, Madrid, 2011.
- [4] Comité Europeo de Normalización, EN 1993-5. Eurocódigo 3 – Proyecto de estructuras de acero. Parte 5. Pilotes y tablestacas, 2007.
- [5] Asociación Técnica de Puertos y Costas (ATPyC), Guía de reparación de estructuras de hormigón en ambiente marino, Puertos del Estado, 2018.
- [6] American Society of Civil Engineers (ASCE), Waterfront Facilities Inspection and Assessment, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 130, 2015.
- [7] M. Hawkswood, Marine Pile Repairs by Concrete Encasement, Proserve Limited, UK.
- [8] M.A. Bermúdez, Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de mareas y zona sumergida (tesis doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, 2007.