

Reparación de Emergencia del Pantalán Sur de DECAL en el Puerto de Huelva

Emergency repair of DECAL South Jetty in Huelva Port

Gonzalo Aivar Mateo^a, Manuel Alejandro Nicolás Pazo^b, Roberto Pillado González^c,
Enrique Javier Vidal Morán^d, Amaya Hernando Martín^e, José María Arrieta Torrealba^f

^a Máster Ing. de Caminos, C. y P. PROES Consultores S.A. Director Dpto. Dirección Grandes Proyectos. gonzalo.aivar@proes.es

^b Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Director de proyectos. manuel.nicolas@proes.es

^c Máster Ing. de Caminos, C. y Puertos. PROES Consultores S.A. Director Dpto. Ingeniería Marítima. roberto.pillado@proes.es

^d Ingeniero de Edificación. PROES Consultores S.A. Jefe Unidad obra. enrique.vidal@proes.es

^e Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Director de proyectos. amaya.hernando@proes.es

^f Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Asesor. josemaria.arrieta@proes.es

RESUMEN

La aplicación de la metodología de gestión de riesgos en el diseño y operación de las infraestructuras ha supuesto una mejora sustancial en el diseño y la construcción. A pesar de ello, no todos los riesgos se pueden anular y, aunque su probabilidad sea baja, en ocasiones se producen accidentes. La plataforma de descarga del pantalán Sur de DECAL sufrió el impacto de un buque durante su maniobra de atraque, provocando serios daños en la estructura. Dentro de las actuaciones realizadas, PROES inspeccionó el pantalán, analizó en detalle los daños producidos para poder valorar el grado de afección y definió el proyecto de reparación. Posteriormente, PROES llevó a cabo la dirección facultativa y la supervisión de las obras de reparación realizadas con carácter de urgencia.

ABSTRACT

Risk assessment methodology application in design and infrastructure operation has become a substantial improvement in construction. However, not all risks can be avoided and although its probability of occurrence can be low, accidents sometimes happen. DECAL jetty's unloading platform suffered the impact of a tanker during berthing approach manoeuvre, causing serious damages in the structure. Among the activities carried out, PROES inspected the jetty, made a detailed analysis of damages to assess the overall structural condition and define the necessary repair actions. Subsequently, PROES carried out the project management services and repair supervision at site on an urgent basis.

PALABRAS CLAVE: buque, pantalán, accidente, reparación, refuerzo, estructura de hormigón.

KEYWORDS: tanker, jetty, accident, repair, reinforcement, concrete structure.

1. Antecedentes

El Pantalán Sur de DECAL permite la descarga de productos petrolíferos en la ría de Huelva. El proyecto se realizó en 2008 y la construcción y puesta en servicio finalizó en febrero de 2010.

En la madrugada del 29 de octubre de 2022, durante la maniobra de reiro, el buque Sino Star, presumiblemente perdió la propulsión y el control de la maniobra, impactando sobre la plataforma de descarga del Pantalán Sur de DECAL. El impacto provocó daños directos en el área del cantil de atraque y un ligero desplazamiento de la superestructura de hormigón (Figura 1).

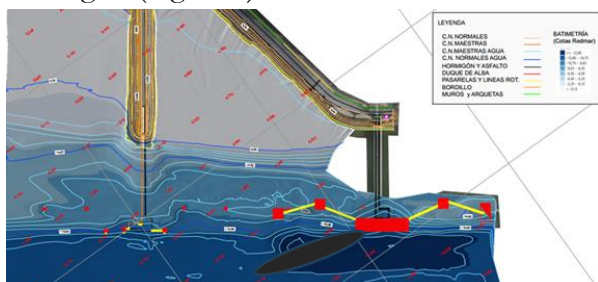


Figura 1. Zona de impacto del buque en pantalán

Tras el accidente, DECAL solicitó a PROES la redacción de un proyecto de reparación, para lo cual se realizó una inspección de la estructura, una toma de datos y una evaluación posterior para acometer el proyecto con carácter urgente. El objetivo era restituir la operatividad de la terminal lo más rápido posible, debido al perjuicio económico que causaba al cliente la situación de fuera de servicio de dicha instalación. Tanto el proyecto como la ejecución de las obras de reparación se realizaron en un plazo total de 5 meses siendo Ferrovial la empresa contratista de las obras de reparación.

2. Descripción de la estructura

La Terminal de DECAL, de Palos de la Frontera, se encuentra dentro del Puerto Exterior de Huelva (ría del Odiel). La Terminal dispone de 4

frentes de atraque, Pantalán Norte, Pantalán Sur, Pantalán de Gabarras y Pantalán Sur 2 (Figura 2).

El Pantalán Sur da servicio a buques de capacidad comprendida entre 6.000 y 50.000 TPM, con una eslora máxima de 210,0 m, y está constituido por un puente de acceso, una plataforma de atraque y cuatro duques de alba de amarre, todos ellos de hormigón armado.

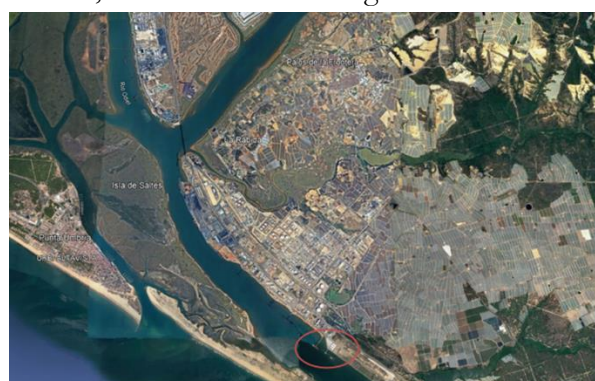


Figura 2. Situación terminal DECAL (Google)

Los duques de alba se comunican entre ellos y con la plataforma de descarga por medio de pasarelas metálicas. Todas las estructuras que conforman el pantalán están soportadas por pilotes de hormigón armado con camisa de acero perdida, sobre los que apoya una superestructura de hormigón armado, formada por capiteles unidos mediante una retícula de vigas, que se completa con una losa de compresión.

La plataforma de atraque, única estructura afectada tras el accidente, tiene unas dimensiones de 63,1x15,0 m de superficie y está cimentada sobre 34 pilotes verticales de hormigón armado de 1,20 m de diámetro y camisa de acero de 8 mm de espesor. Sobre dichos pilotes se disponen unos capiteles prefabricados de hormigón armado de 1,70x1,70x1,10 m. Dichos capiteles presentan un hueco cilíndrico en su base, que permite el paso de las armaduras pasantes del pilote, de forma que éstos trabajan como si fueran un único elemento (Figura 3).

La plataforma de carga consta de dos niveles: el primero de ellos a cota +6,50, con las dimensiones anteriormente definidas, y el segundo, a una cota +9,40, de dimensiones 17,2x12,6 m y ubicado en la parte final del puente de acceso. Esta plataforma superior permite la implantación de equipos para realizar las labores de mantenimiento de la plataforma.

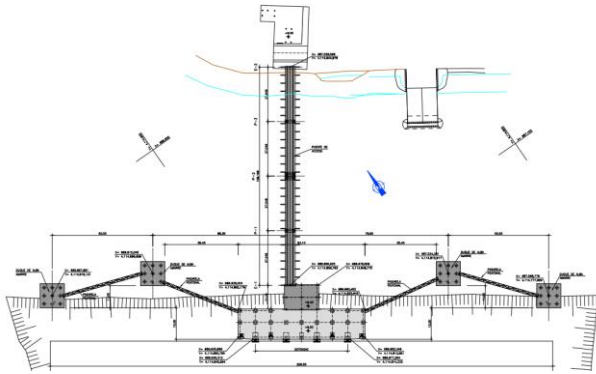


Figura 3. Definición geométrica del Pantalán Sur.

Sobre los capiteles apoyan vigas prefabricadas de hormigón armado de sección 0,50x0,80 m y longitud variable, que sirven de apoyo a unas prelosas alveolares que trabajan como encofrado perdido de la losa definitiva, de 25 cm de espesor. Las zonas de unión de los capiteles con las vigas quedaron hormigonadas de forma que éstos trabajan como si estuvieran empotrados en cabeza.

3. Inspección visual y toma de datos

Tras el impacto del buque *Sino Star*, se procedió a la movilización urgente de técnicos de PROES para evaluar la estructura. Esta inspección visual se llevó a cabo tanto en la superestructura como en la infraestructura emergida y sumergida de la plataforma de descarga.

3.1 Inspección de la superestructura

La inspección de superficie detectó los siguientes daños en la estructura civil y equipos (Figuras 4 a 7):

- Daños en el cantil: rotura de la losa y de las vigas de conexión al pilote siniestrado.
- Rotura de la losa, con aparición de grietas y fisuras más allá de la zona del impacto.
- Desplazamiento de la superestructura con patologías en el cabecero del pilote de la esquina trasera lado Huelva.
- Rotura de la defensa doble tipo SC-1000H, quedando completamente inservible.
- Diversos daños a elementos auxiliares y equipos mecánicos



Figura 4. Estado de la plataforma tras el impacto del Sino Star.



Figura 5. Vista de daños desde plataforma

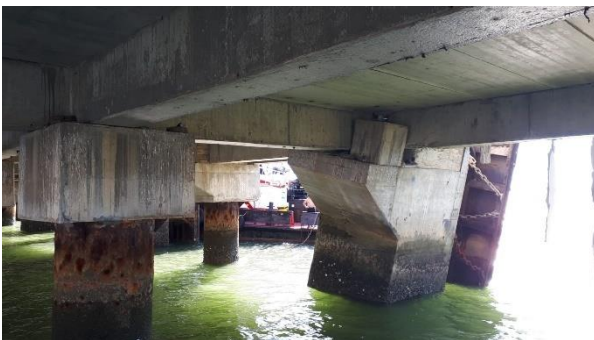


Figura 6. Vista de daños bajo plataforma

En el capitel de la esquina del pilote trasero extremo lado tierra, se detectó un ligero desplazamiento de la superestructura (Figura 7).



Figura 7. Superestructura desplazada lado tierra.

3.2 Inspección submarina

Se realizó una inspección submarina del área del accidente, incluyendo el pilote siniestrado, los pilotes adyacentes, los cabeceros de hormigón de estos pilotes y la parte inferior de la superestructura comprendida entre los seis pilotes inspeccionados. Previamente se procedió a la limpieza de las incrustaciones en el pilote con defensa, ya que este cabecero es más grande que

los demás y queda parcialmente sumergido en su parte inferior.

Las patologías principales se focalizaron principalmente en el pilote que sustentaba la defensa. Los daños reportados fueron:

- Desplazamiento del terreno: al producirse el impacto del bulbo del buque con el pilote en sentido de Huelva a Mazagón, se creó un socavón semicircular en el lado Huelva (máximo de 50 cm) y la correspondiente acumulación de terreno en el lado Mazagón (Figura 8).

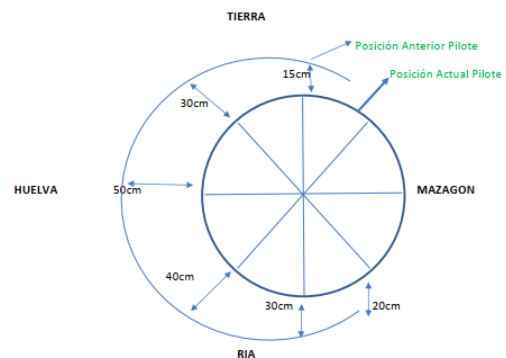


Figura 8. Croquis desplazamiento terreno (planta).

- El pilote presentaba, además, una curvatura en una altura de 8,0 m a partir del primer metro desde el cabecero, alcanzando un desplazamiento máximo de 35 cm desde la vertical original, a 3,0 m del cabecero (Figura 9). Además, se detectaron ocho pliegues en la camisa de acero en forma de anillo a diferentes cotas (desde la cota +2,70 a la +4,15 desde la parte inferior del cabecero).

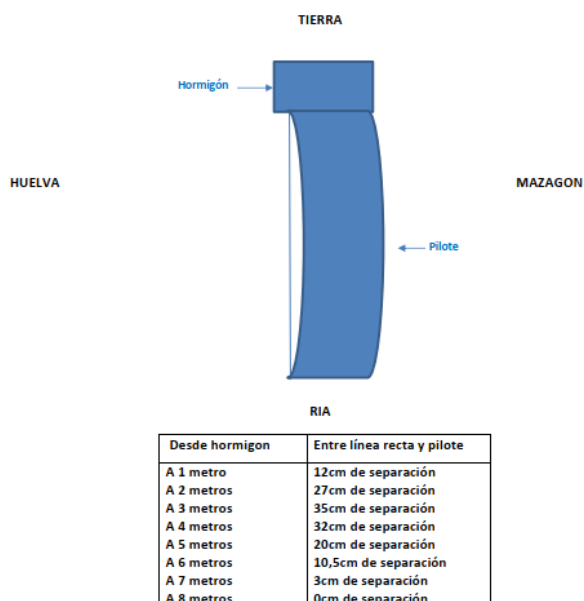


Figura 9. Croquis desplazamiento pilote (alzado).

- En la unión del pilote con el cabecero de hormigón, se detectó un descabezado parcial en forma de medialuna, con una apertura máxima en altura de 4 cm y una profundidad de 15 cm.

En la inspección de los pilotes adyacentes al pilote de la defensa, no se detectó ningún tipo de patología en fondo, longitud de pilotes o conexión con sus respectivos cabeceros.

3. Valoración estructural preliminar

En base a las patologías detectadas tras el accidente, se consideró que la capacidad estructural de la zona directamente afectada había sido agotada y, por ello, lo más seguro era proceder a la demolición de la losa, de las vigas de conexión con el pilote dañado, del cabecero que sustentaba la defensa y del pilote afectado. En la Figura 10 se define el área de losa y vigas que se decidió demoler.

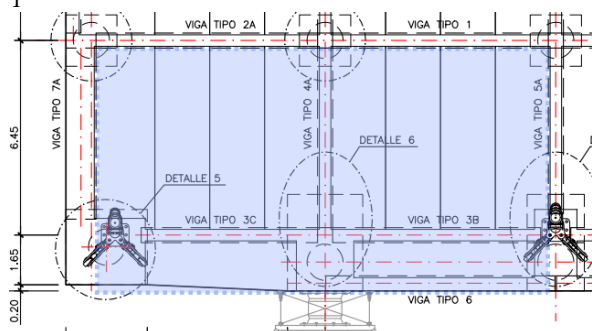


Figura 10. Área demolida de la plataforma

Se decidió cortar el pilote a 50 cm del fondo, dejando perdida la parte enterrada, con el fin de no alterar las condiciones del terreno.

3. Trabajos de demolición

Se procedió a la demolición secuencial de la zona afectada. Para ello se siguió la secuencia indicada en la Tabla 1.

Tabla 1. Fases de demolición.

Fase	Actividades de desmantelamiento
1	Desmontaje de equipos náuticos, SCI y de proceso.
2	Desmontaje de la defensa dañada
3	Corte secuencial de las losas de compresión
4	Corte secuencial de las vigas de conexión con cabecero dañado
5	Corte del cabecero de hormigón del pilote dañado en diferentes tramos.
6	Corte del pilote dañado a nivel del lecho marino.

El área afectada objeto de demolición presentaba los siguientes elementos con sus pesos aproximados:

- Pilote. La cota de cimentación era la – 22,30 en pie y +1,65 en su conexión con el cabecero. La longitud total final del pilote era 23,9 m. El peso del pilote a demoler, de diámetro 1,20 m y 14,6 m de longitud, era aproximadamente 42 ton.
- Cabecero del pilote dañado de 3,6 m de altura, ancho 2,5 m y profundidad 1,9 m, lo que suponía un volumen de 17,1 m³. Además, presentaba una ménsula trasera de apoyo de vigas, que aportaba un volumen adicional de 3,2 m³. El peso del cabecero a demoler ascendía a 51 ton.
- Viga trasera (viga tipo 4A): presentaba una sección 0,5x0,8 m y una longitud de 7,5 m. El peso de la viga trasera era aproximadamente 7,5 ton.
- Viga lateral (entre ejes de pilote-lado manifold-vigas tipo 3B/6) presentaba una

sección de 0,5x0,8 m y una longitud de 7,5 m. El peso de cada viga lateral era aproximadamente 7,6 ton.

- Viga lateral (entre ejes de pilote-lado Huelva- viga tipo 3C) presentaba una sección de 0,5x0,8 m y longitud de 7,2 m. El peso de la viga lateral alcanzaba las 7,2 ton.
- Losa de compresión con placas alveolares de encofrado perdido con un espesor total de 45 cm. El peso de la losa era aproximadamente 1,2 ton/m². Como el área aproximada a demoler es 96,5 m², el peso total de losa ascendía a la cantidad de 116 ton.

En base a los pesos considerados, el volumen de hormigón armado demolido ascendió a los 95 m³.

Para la demolición, se utilizó una combinación de diversos sistemas de corte: sierra de profundidad, hilo de diamante e hidrodemolición. La sierra de profundidad (Figura 11) utilizaba discos de hasta 1.000 mm de diámetro y permitió cortar toda la zona de la losa. Previamente al corte, se hicieron perforaciones circulares perimetrales en las piezas a extraer, para facilitar el eslingado en la extracción. Para el cabecero y el pilote se utilizó corte con hilo de diamante. Debido a los pesos de estos elementos, los cortes se hicieron por secciones, en base a la capacidad de la grúa movilizada en la pontona.

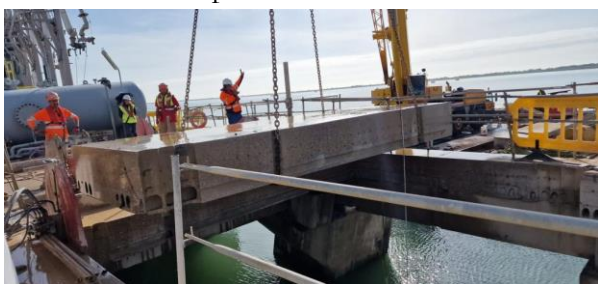


Figura 11. Sección cortada plataforma

Finalmente se aplicó hidrodemolición en el perímetro de la zona a demoler de la losa existente, para garantizar su unión con la parte reparada (Figura 12).



Figura 12. Hidrodemolición de la plataforma

Durante todo el proceso de demolición, se implementaron medidas para mitigar la afección medioambiental. Se colocaron barreras flotantes y mallas para limitar la turbidez y recoger los residuos.

4. Alternativas de reconstrucción

Una vez superada la fase de demolición, se redactó el proyecto constructivo para restituir la operación del pantalán.

Se consideraron tres alternativas, en base al cumplimiento de las dos premisas siguientes:

- Conservar la tipología de la estructura existente: pilotes, cabecero, reticulado de vigas y losa de compresión, manteniendo la misma línea de atraque.
- Mantener las mismas bases de diseño del pantalán original (2008) y la funcionalidad de la plataforma, adecuándose a la normativa actual.

En base todo ello, se analizaron tres alternativas de actuación:

1. Pórtico de dos pilotes verticales de diámetro 1,2 m con cabecero de hormigón armado para ubicar la futura defensa.
2. Macizo de amarre (trípode) con tres pilotes verticales de diámetro 1,0 m, con cabecero de hormigón armado triangular para ubicar la futura defensa.
3. Restituir el mismo diseño original prolongando el pilote cortado.

Esta última alternativa quedó descartada por la complejidad e incertidumbres que generaba la prolongación de un nuevo pilote

sobre el tramo del pilote cortado. Además, la inspección submarina detectó falta de verticalidad en el tramo del pilote cortado en la zona del fondo.

4.1 Pórtico de dos pilotes

Esta alternativa comprendía la ejecución de un pilote a cada lado del dañado, conservando la misma alineación longitudinal de atraque (Figura 13). Estos pilotes presentarían las mismas características que el dañado, pilotes verticales de diámetro 1,2 m con algo más de espesor para facilitar la hinca (12 mm). Se consideró una separación de 0,5 m entre la superficie de los nuevos pilotes y el pilote existente cortado (sobre lecho marino). Con esto se trataba de evitar que, durante el hincado, los nuevos pilotes pudieran contactar con el tramo enterrado del pilote cortado. Los pilotes serían armados y se hormigonarían una vez vaciada toda la longitud del pilote, desde la cota de pie de la camisa perdida.

El cabecero sería prefabricado, con dos huecos circulares en la base del molde para permitir la continuidad de la armadura de los pilotes. Posteriormente, se procedería al armado interior del molde y al hormigonado en una segunda fase. El molde dispondría de unas ventanas en su parte superior, para apoyar las nuevas vigas y la losa, garantizando con ello la transmisión de esfuerzos.

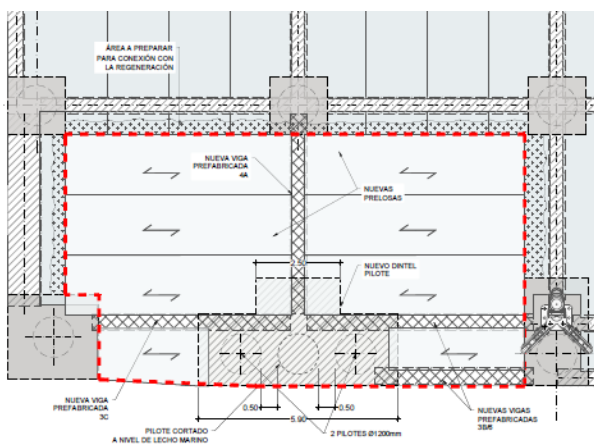


Figura 13. Alternativa pórtico con dos pilotes.

4.2 Trípode de tres pilotes

Esta alternativa comprendía la ejecución de tres pilotes, uno en la alineación vertical detrás del dañado y dos más, uno a cada lado del pilote cortado en la alineación longitudinal (Figura 14). Estos pilotes serían de similares características que el existente, pilotes verticales de 1,0 m de diámetro, con una camisa de mayor espesor para facilitar la hinca (12 mm). Igualmente que en la alternativa de dos pilotes, se consideró una separación de 0,5 m entre la superficie de los nuevos pilotes y del pilote existente cortado (en lecho marino) para evitar contactos en la hinca. Los pilotes serían armados y se hormigonarían una vez vaciada toda la longitud de los pilotes, desde el pie hasta la cota superior de la camisa perdida.

El cabecero sería prefabricado, en forma de prisma triangular con tres huecos circulares en la base, para dar continuidad a la armadura de los pilotes. El armado y hormigonado del molde se haría en una segunda fase. Posteriormente, se adecuarían las entregas de los límites de la estructura no demolida para acoger las nuevas vigas y la losa, garantizando la transmisión final de esfuerzos.

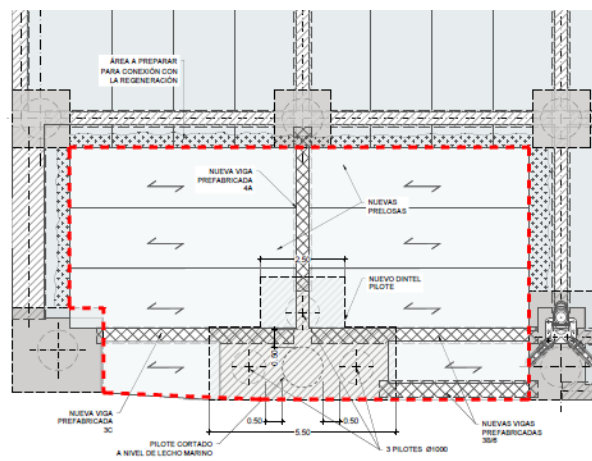


Figura 14. Alternativa trípode.

4.3 Análisis de alternativas

En relación a ambas alternativas, los volúmenes aproximados de regeneración se definen en la Tabla 2.

Tabla 2. Volúmenes de regeneración.

Elemento	Alternativa Pórtico	Alternativa Trípod
Pilotes (L=24m)	54,3 m ³	56,6 m ³
Cabecero	43,3 m ³	44,8 m ³
Viga Trasera 4A	3,0 m ³	3,0 m ³
Vigas laterales 3B/6	5,8 m ³	5,8 m ³
Viga lateral 3C	2,9 m ³	2,9 m ³
Losa de compresión	43,4 m ³	43,4 m ³
Volumen total	152,7 m³	156,5m³

En cuanto a los volúmenes, no existían grandes diferencias, si bien la alternativa del trípod suponía la realización de más unidades de obra y, por tanto, mayor coste y plazo, factores que resultaban cruciales en la elección. Por ello, la alternativa seleccionada fue la del pórtico de dos pilotes.

Además, las limitaciones en los equipos de izado forzaban a buscar soluciones lo menos pesadas posible. Seleccionada la alternativa de dos pilotes, se procedió a redactar el proyecto constructivo en base al Código Estructural [1].

5. Reconstrucción del área dañada

Con el fin de optimizar los plazos al máximo posible, se implementó en la reconstrucción el uso mayoritario de prefabricados dejando únicamente como actuaciones in situ el hormigonado del pilote, el relleno del cabecero prefabricado y la ejecución de la losa de compresión.

La reconstrucción del área dañada se acometió en las siguientes fases principales:

5.1 Ejecución de los pilotes

Los pilotes, de hormigón armado HA-35 y diámetro 1,2 m, se ejecutaron mediante un encamisado perdido de 12 mm de espesor, con refuerzos en la punta y cabeza para evitar daños durante el proceso de hinc (Figura 15). El hincado se realizó mediante un vibrohincador de alta frecuencia variable.

El vaciado del pilote, una vez hincada la camisa hasta la cota especificada en el proyecto, se realizó mediante cuchara y barrena.

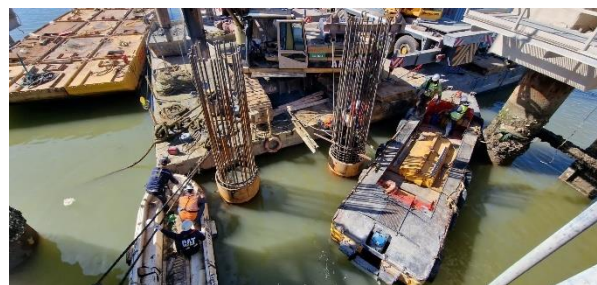


Figura 15. Ejecución de los pilotes.

El detritus de la perforación se vertió directamente en las tolvas posicionadas en la pontona, para su posterior gestión como residuo.

En todo momento se mantuvo el nivel freático dentro de la camisa metálica por encima del nivel del mar para evitar sifonamientos.

El hormigonado del pilote se realizó con la grúa auxiliar a través de tubo tremie, apoyando el tubo en la parte inferior de la perforación del pilote, para su posterior izado durante el hormigonado.

5.2 Ejecución del cabecero

A continuación, se construyeron, sobre las cabezas de cada pilote (hormigonado hasta cota de dicha cabeza), sendas copas de apoyo de hormigón armado para permitir el apoyo del primer segmento del cabecero (Figura 16).



Figura 16. Copas de apoyo sobre los pilotes.

El cabecero de hormigón se prefabricó mediante una carcasa de dos piezas, a modo de encofrado de hormigón. Además, hacerlo en dos piezas permitía optimizar los pesos de izado.

Previamente a su traslado a obra, se realizó una prueba de encaje de ambas piezas (Figura 17).



Figura 17. Prueba del cabecero prefabricado.

La carcasa inferior del cabecero disponía de unos perfiles metálicos en su parte posterior, para facilitar la puesta en obra de la parte superior del cabecero. Esta pieza inferior se fijó sobre las dos copas ejecutadas en los pilotes, para posteriormente armarse y proceder con la primera fase del hormigonado (Figura 18).



Figura 18. Colocación cabecero inferior prefabricado.

Una vez alcanzada la resistencia del hormigón adecuada, se procedió a la colocación de la pieza superior del cabecero (Figura 19).

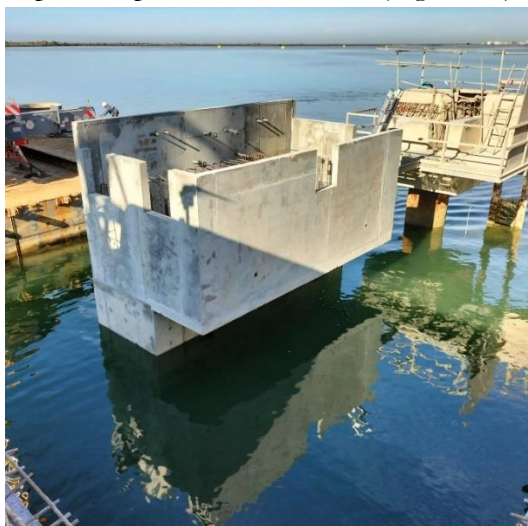


Figura 19. Colocación del cabecero superior prefabricado.

Esta parte del cabecero disponía en su perímetro superior las ventanas para el posterior encaje y apoyo de las vigas de conexión.

Se procedió al armado y hormigonado del cabecero hasta la cota inferior de las ventanas anteriormente referenciadas.

5.3 Colocación de entramado de vigas

Las vigas de conexión se habían prefabricado en una campa. Una vez que el hormigón del cabecero alcanza la resistencia requerida, se procedió a la colocación de las vigas (Figura 20). Estas vigas dejaban, en sus extremos y cara superior, el armado a la vista, para garantizar una buena conexión y transmisión de esfuerzos entre los elementos.



Figura 20. Colocación de vigas prefabricadas.

5.4 Colocación de placas alveolares

Una vez colocadas todas las vigas, se posicionaron las placas alveolares que servirían como encofrado perdido de la losa de compresión (Figura 21).

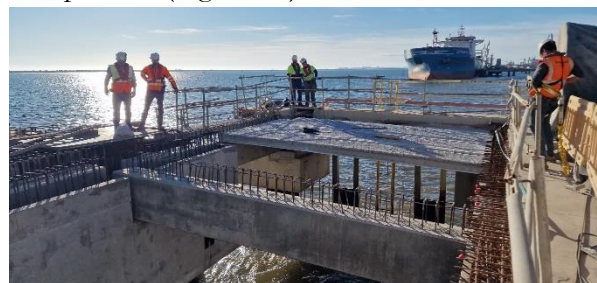


Figura 21. Colocación de prelosas prefabricadas.

5.5 Armado y hormigonado de la losa

Una vez que las prelosas cerraron los huecos del entramado de vigas, se colocaron las armaduras

(Figura 22) y se tendieron las canalizaciones de instrumentación y fuerza de los equipos náuticos, como ganchos de escape rápido o báculos de iluminación.

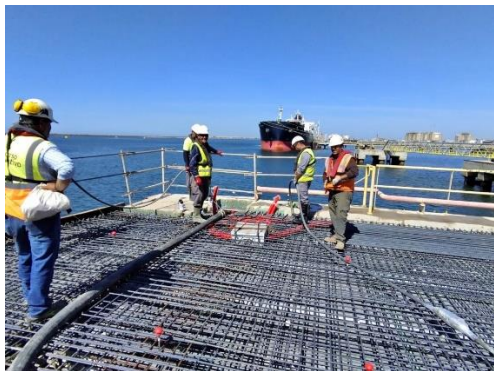


Figura 22. Armado de losa.

Igualmente se dejaron presentados los pernos de los ganchos de escape rápido sobre el armado de la losa, para la colocación posterior de dichos ganchos.

5.6 Colocación de equipos náuticos

La última actividad de la obra la constituyó la instalación de los equipos náuticos: nueva defensa, reposición de ganchos de escape rápido y marca náutica (Figura 23).



Figura 23. Restitución de equipos náuticos.

Finalmente, se instalaron los elementos menores, como las barandillas perimetrales y los equipos mecánicos asociados a proceso (Figura 24).



Figura 24. Restitución de equipos mecánicos.

6. Supervisión de las obras

Todo el proceso de reconstrucción del área dañada fue monitorizado por un supervisor de PROES, en contacto permanente con las oficinas centrales de ingeniería. Esta presencia permanente en obra permitió dar respuesta inmediata a las incidencias constructivas que durante el transcurso de las obras lo requerían.

7. Conclusiones

La demolición y reconstrucción del área dañada del pantalán Sur de DECAL ha supuesto todo un reto técnico para acometer tanto el diseño como la ejecución de las obras en un tiempo récord de cinco meses. Esto se ha conseguido en gran parte mediante la implicación de empresas que estuvieron implicadas en el diseño y la construcción original del pantalán Sur y la combinación de técnicas constructivas utilizando el máximo nivel de prefabricación posible.

La colaboración tanto de la Autoridad Portuaria de Huelva como de DECAL, ha supuesto igualmente una ayuda inestimable.

Agradecimientos

Agradecimiento a los profesionales de la Autoridad Portuaria de Huelva, por su apoyo durante las fases de ingeniería y ejecución de las obras.

Agradecimiento a DECAL España S.A.U. por la confianza depositada en los profesionales de PROES para la realización del proyecto de reparación de emergencia, la supervisión de las obras y la dirección facultativa.

Agradecimiento a FERROVIAL, empresa constructora a cargo de la reparación, por su implicación, profesionalidad y compromiso durante la ejecución.

Referencias

[1] Código Estructural (Real Decreto 470/2021).