

Reparación del muelle de bloques Souk Al Kout (Kuwait) Inspección, diseño reparación y supervisión de las obras

*Repair of the Souk Al Kout block dock (Kuwait)
Inspection, design repair and supervision of works*

Jorge Alberto Cerezo Macías^{a, *}, Gonzalo Aivar Mateo^b, Elena Seguido Fernández-Tresguerres^c, Miquel Reques Laso^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Director Área Consultoría y Asistencias Técnicas.
acerezo@proes.engineering

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Director Departamento Asistencias Técnicas.
gaivar@proes.engineering

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Directora Proyecto Rehabilitación & Mantenimiento.
eseguido@proes.engineering

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROES Consultores S.A. Especialista Obras Marítimas. mreques@proes.engineering

RESUMEN

PROES ha sido contratado por el propietario de un muelle de atraque destinado al izado de embarcaciones para su reparación en tierra. Es una estructura de gravedad construida con bloques de hormigón en masas, que se encuentra situado en la costa Souk Al-Kout, en Fahaheel, Kuwait y que presentaba una serie de patologías: asentamientos, apertura de juntas, fisuras y grietas, etc. Se realizaron varios trabajos para reparar el mismo: una inspección de la estructura, aérea y subacuática, un análisis de las patologías, especialmente centrado en su origen y posibles soluciones, el diseño de las reparaciones y finalmente la supervisión de los trabajos de reparación proyectados.

ABSTRACT

PROES has been hired by the owner of a berthing dock for lifting ships for repair on land. It is a gravity structure built with mass concrete blocks, which is located on the Souk Al-Kout coast, in Fahaheel, Kuwait and that presented a series of pathologies: settlements, opening of joints, cracks, etc. Several works were carried out to repair it: an inspection of the structure, aerial and underwater, an analysis of the pathologies, especially focused on their origin and possible solutions, the design of the repairs and finally the supervision of the projected repair works.

PALABRAS CLAVE: inspección, reparación, muelle, bloques, asentamientos, fisuras.

KEYWORDS: inspection, repair, dock, blocks, settlements, cracks.

1. Descripción del Muelle

El muelle se encuentra situado en la costa Souk Al Kout, en Fahaheel, Kuwait, es propiedad de

Tamdeen Real State Co y está destinado a la realización de trabajos de reparación y

mantenimiento de embarcaciones. Fue construido hace aproximadamente 15 años. Se trata de una estructura portuaria de forma en “U” en planta (fig.1), las dos alineaciones perpendiculares a la costa se sitúan paralelas entre sí, al norte y sur, tienen una longitud de unos 20.00 m; y la alineación paralela a la costa, en el lado tierra tiene unos 7.50 m de longitud.

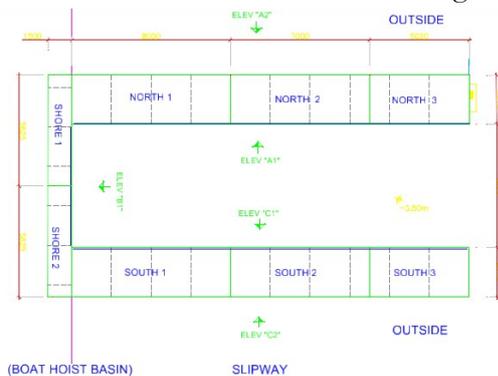


Figura 1. Croquis en planta del muelle

La función de este muelle es permitir la retirada de embarcaciones del agua, por medio de una grúa de doble pórtico (polipasto), que circula, sobre ruedas neumáticas, por las alineaciones perpendiculares a la costa (fig.2).

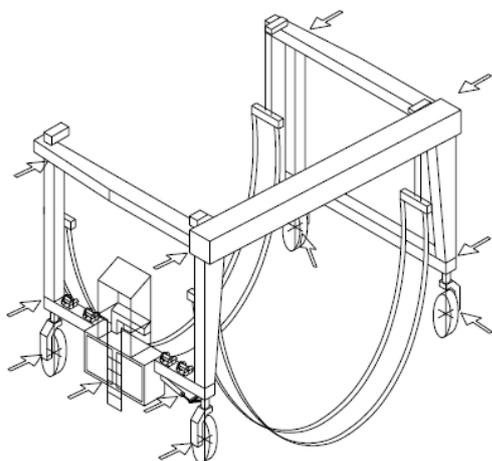
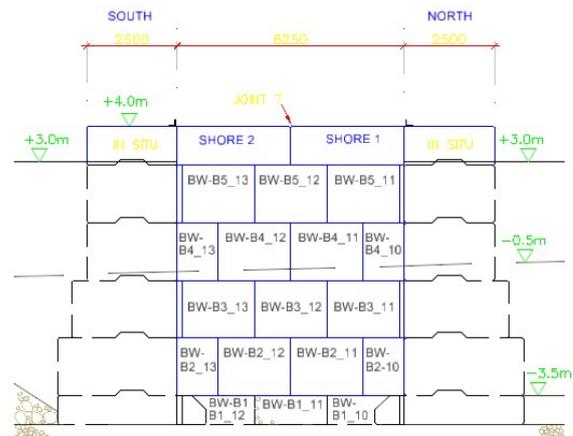


Figura 2. Croquis Grúa ASCOM modelo BHT 100

La estructura del muelle es de bloques de hormigón en masa, cuyo apoyo se produce a la cota - 4.80 m, sobre una capa de regularización sobre el fondo del dragado realizado para la construcción del mismo, y que rematan en una viga cantil cuya cota superior es la + 4.00 m.

El nivel medio del mar (MSL) en la zona es +1.20 m, mientras que el nivel máximo

(MHHW) es +2.20 m y el mínimo (MLLW) es +0.00 m.



ELEVATION - B1. SHORE QUAY (Shore 1 and Shore 2)
SCALE 1:90

Figura 3. Alzado lado tierra y sección alineaciones norte y sur

El espesor de la estructura de bloques es variable, la primera hilera, en contacto con el terreno, tiene un ancho de 3.60 m, mientras que la última hilera tiene un ancho de 1.20 m para la alineación lado tierra y de 2.50 m para las alineaciones perpendiculares a la costa, norte y sur (fig.3).

2. Inspección y toma de datos

Debido al deterioro del muelle, que presentaba una serie de fisuras y grietas a simple vista, se contrató a PROES para realizar una inspección completa de la estructura, tanto de las zonas aéreas como sumergidas.

Existían datos de una inspección previa, realizada en 2010, siete años antes, que permitieron valorar el progreso o la estabilización de las diversas patologías.

Completando esta inspección se realizó un levantamiento topográfico, que permitiría realizar un seguimiento de posibles movimientos de la estructura a lo largo del tiempo.

Finalmente, a fin de poder evaluar el origen de los deterioros, se realizó también una campaña geotécnica de reconocimiento del suelo.

2.1 Inspección área y submarina y levantamiento patologías

Un equipo de especialistas de PROES realizó la inspección visual de la parte aérea de todos los paramentos del muelle y supervisó el trabajo de un equipo de buzos que completó la inspección de la parte sumergida de la estructura.

2.1.1. Inspección aérea y submarina

Con el fin de poder hacer un levantamiento completo de las patologías se prepararon croquis con el detalle de los bloques que conformaban cada paramento, lo que permitió elaborar un inventario muy completo de la aperturas de las juntas de la viga cantil y de todas las grietas, fisuras, desconchones y otras patologías que se encontraban en la estructura.

2.1.2. Informe de patologías

A partir del levantamiento de las patologías realizado “in situ” se elaboraron croquis de cada uno de los paramentos con la indicación de la posición y caracterización de las patologías encontrados en ellos (figs.4 y 5).

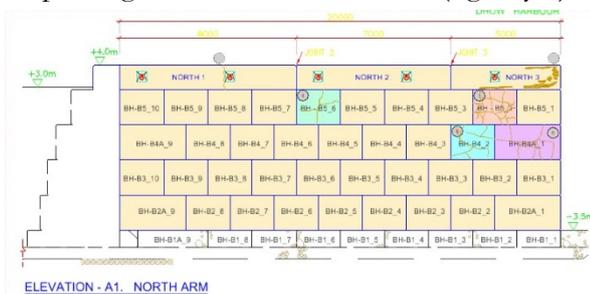


Figura 4. Alzado Norte levantamiento patologías

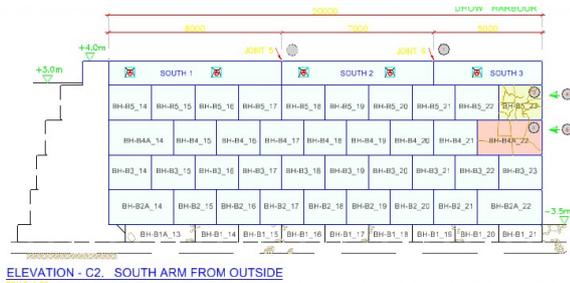


Figura 5. Alzado Sur levantamiento patologías

Completando esta información general se realizaron para los bloques más dañados croquis de detalle de las patologías (fig.6).

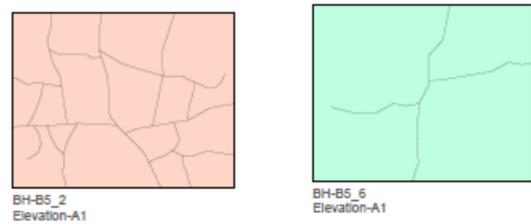


Figura 6. Croquis detalles patologías en bloques

Las patologías se diferenciaron entre las concernientes a la viga cantil y las de los bloques.

En las vigas cantil se apreciaban aperturas de juntas de cierta importancia y algunas fisuras. En los bloques existían deterioros importantes en algunos de ellos, en la zona extrema de las alineaciones perpendiculares a la costa, norte y sur. Estos deterioros en el caso de un par de los bloques afectaban de forma significativa la integridad de los mismos, ya que existían algunas grietas, pasantes de lado a lado, con aperturas del orden de un par de centímetros.

2.2 Levantamiento topográfico

Para poder realizar un seguimiento de los posibles asentamientos de la estructura de bloques, que se planteaba como posible causa de las fisuras, grietas y apertura de juntas encontradas en la inspección, se dispuso una serie de clavos topográficos a ambos lados de las alineaciones perpendiculares a la costa (fig.7). Los clavos se fijaron a la cara superior de la viga cantil y se señalaron con pintura para su fácil localización futura (fig.8).

Se realizó una primera nivelación de la estructura, que ha servido de referencia para comparar la misma con datos obtenidos, una vez finalizadas las reparaciones, en sucesivas campañas de toma de datos topográficos, para poder analizar la evolución (o estabilización) de movimientos de la estructura.

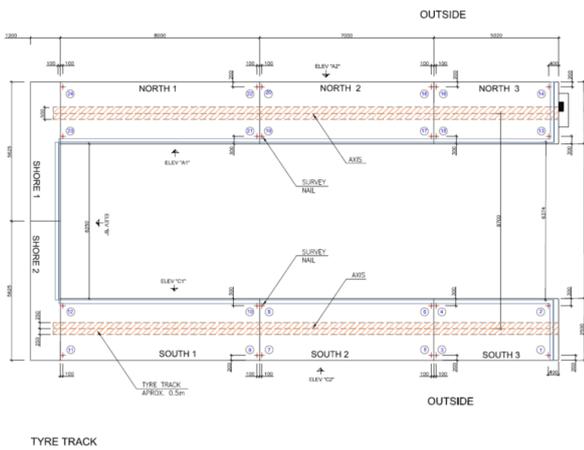


Figura 7. Croquis situación clavos topográficos



Figura 8. Vista clavos topográficos

2.2 Campaña geotécnica

Para evaluar las características del terreno en que se apoyan las estructuras del muelle, se realizó una campaña de sondeos, cuya situación se indica en la Figura 9, situándolos al inicio y final de las alineaciones perpendiculares a la costa, norte y sur, siguiendo las recomendaciones de la ROM 0.5-05 [1].

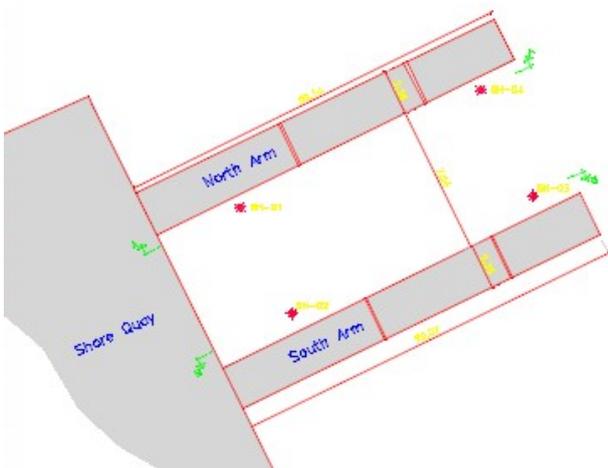


Figura 9. Situación de sondeos geotécnicos

Se trata de cuatro sondeos, que van desde el fondo marino, a la cota -3.50, hasta aproximadamente la cota -16.00 m, es decir con una profundidad del orden de 12.50 m, tres veces el ancho de los bloques que apoyan sobre el terreno. Con esta información se definieron unos perfiles geotécnicos del terreno (figs.10 y 11) con los cuales se pudo evaluar sobre que estratos se apoyaban las estructuras del muelle, y a través de cuales transmitían sus cargas.

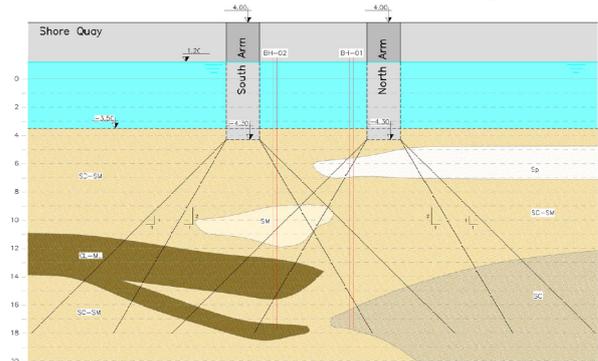


Figura 10. Perfil geotécnico BH-1 y BH-2

En el sondeo BH-1, se encontraron capas de arena arcillo-limosa (SC-SM), arena (SP) y arena arcillosa (SC). En los primeros 3 m se obtuvieron valores de SPT de 24 a 30, mientras que a mayor profundidad el terreno presentaba mayor resistencia y resultaron SPT de más de 48.

En el sondeo BH-2, se encontraron capas de arena arcillo-limosa (SC-SM), arena limosa (SM) y limo arcilloso (CL-ML). En los primeros 3 m se obtuvieron valores de SPT de 24 a 32, mientras que a mayor profundidad resultaron SPT de más de 37.

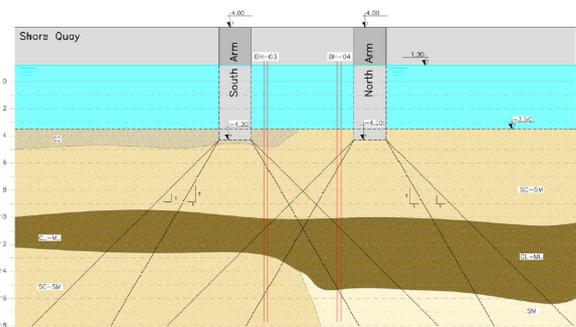


Figura 11. Perfil geotécnico BH-3 y BH-4

En el sondeo BH3, se encontraron capas de arena arcillosa (SC), arena arcillo-limosa (SC-SM) y limo arcilloso (CL-ML). En los primeros

2 m se obtuvieron valores de SPT de 22, mientras que a mayor profundidad resultaron SPT de más de 41.

En el sondeo BH4, se encontraron capas de arena arcillo-limosa (SC-SM) y limo arcilloso (CL-ML). Se obtuvieron valores de SPT de más de 40.

3. Evaluación y diseño de las actuaciones

La presencia de los suelos de limo arcilloso (CL-ML) sometidos a un incremento de presión por la construcción del muelle, eran posiblemente el origen de los asientos de las estructuras que habían motivado la apertura de juntas y el agrietamiento y la fisuración de algunos bloques.

Estos deterioros probablemente se originaron por la rigidez de la estructura de bloques, incapaz de absorber los movimientos diferenciales que los asientos producían en la estructura, sin que se abrieran sus juntas y se agrietaran y fisuraran algunos de los bloques.

Para evaluar el comportamiento del suelo bajo la estructura, se partió de considerar el peso propio de la estructura del muelle, ya que por un lado las sobrecargas (básicamente el tráfico de la grúa) son una parte muy reducida del conjunto de cargas y por otra porque estas sobrecargas actúan en una fracción muy pequeña de la vida útil del muelle.

La sobrecarga máxima transmitida por la grúa es de 1000 kN (250 kN por cada una de las cuatro ruedas) sobre la viga cantil, por lo que la presión transmitida a nivel del apoyo en el terreno del muelle, es muy pequeña, mientras que el peso propio de la estructura es del orden de los 400 kN por metro de longitud del muelle.

A fin de analizar estas deformaciones se consideraron dos hipótesis de reparto de cargas del muelle a través de los estratos con la profundidad. Una con una concentración mayor (repartiendo las cargas a 30° respecto a la

vertical) y la otra con un reparto mayor (con un ángulo de 45°).

A partir de estas hipótesis, considerando el incremento de la presión ejercida por las cargas del muelle sobre los estratos deformables, limo arcilloso (CL-ML), se determinó el asiento a tiempo infinito del suelo blando.

Cabe mencionar que los suelos arcillosos presentaban, de acuerdo con los ensayos realizados a las muestras obtenidas en los sondeos, una pre-consolidación significativa, del orden de 550 a 900 kPa, frente a la carga permanente transmitida por el muelle (del orden de 150 kPa). Por ello no se consideraron deformaciones en estos estratos.

El asiento (SD) se determinó con la expresión 1, incluida en Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica [2]:

$$SD = \frac{C_r H}{(1 + e_0)} \log_{10} \left\{ \frac{p_0 + \Delta p_s}{p_0} \right\} \quad (1)$$

Para ello se consideró el índice de compresión del estrato (C_r) obtenido de los ensayos de las muestras de suelo, el espesor del estrato (H), el índice inicial de vacíos (e_0), también obtenido en los ensayos de las muestras obtenidas en los sondeos, la presión inicial actuante en el estrato (p_0) y el incremento de presión en el mismo debido a la construcción de la estructura del muelle (Δp_s).

En el caso del BH-4 se analizan dos hipótesis en relación con los datos del terreno (C_r y e_0), ya que los ensayos de laboratorio han dado diferentes valores para las muestras obtenidas a 10 m (BH-4a) y 12 m (BH-4b) de profundidad.

El resumen de los resultados obtenidos se encuentra en la Tabla 1):

Tabla 1. Resultados de los asientos totales.

Sondeo	Reparto	Asiento Total (mm)
BH-2	30°	5.00
BH-2	45°	3.80
BH-3	30°	9.30
BH-3	45°	7.30
BH-4a	30°	14.10
BH-4a	45°	10.90
BH-4b	30°	22.00
BH-4b	45°	17.00

Estos resultados permitieron confirmar que era previsible un asiento de la estructura del muelle, justamente de mayor importancia en la zona extrema de las alineaciones perpendiculares a la costa, norte y sur, coincidiendo con las zonas de mayor presencia de patologías en los bloques.

Se aprecia como la alineación Norte (correspondiente a los BH-1 y BH-4) presenta un asiento diferencial más importante (del orden de unos 15 a 20 mm) que se corresponde con la estructura más deteriorada, mientras que la alineación Sur (correspondiente a los BH-2 y BH-3) presenta unos asientos similares y el asiento diferencial es pequeño (de menos de unos 5 mm), y en ella los daños son menos importantes.

Por otra parte considerando la edad del muelle, se determinó para cada una de estas hipótesis, el asiento remanente que pudiera preverse para la estructura, comenzando por determinar el factor de tiempo (T_v) (expresión 2) de acuerdo con [2] y [3]:

$$T_v = \frac{t C_v}{H^2} \quad (2)$$

Para ello se consideraron la edad real de la estructura $T = 13$ años, el espesor del suelo deformable entre capas arenosas (H) y el coeficiente de consolidación (C_v) obtenido en los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo obtenidas en los sondeos.

El grado de consolidación se determina con la expresión (3) de acuerdo con [2] y [3]:

$$U = 1 - 0.811 e^{-2.487 T_v} \quad (3)$$

El resumen de resultados se indica en la Tabla 2:

Tabla 2. Resultados de los asientos remanentes.

Sondeo	T_v	U (%)	$\Delta ASD_{\text{remanente}}$ (mm)
BH-2	2.25	99.70	0.00
BH-3	88.98	100.00	0.00
BH-4a	0.61	82.37	2.50
BH-4b	7.57	100.00	0.00

Dado que estas estimaciones de deformaciones remanentes resultaron muy pequeñas, o nulas, se consideró que se podía realizar la reparación de la estructura, sin necesidad de realizar previamente una mejora del terreno de cimentación.

Para poder confirmar estas previsiones se ha programado un seguimiento del comportamiento del muelle, mediante levantamientos topográficos a lo largo del tiempo.

4. Obras de reparación ejecutadas

Las diferentes patologías presentes son las siguientes:

Grietas y fisuras: las diferenciamos por sus características, consideramos fisuras aquellas superficiales, con aberturas pequeñas (menores a 2 mm), y cuya profundidad es menor que la cuarta parte del espesor del elemento y su longitud es menor a 1.50 m y grietas al resto, en particular aquellas que atraviesan la sección.

Pérdidas de hormigón (desconchones, nidos de grava, etc.): se trata de defectos superficiales motivados por deficiencias en la

construcción o producidos por golpes o patologías que afectan a los recubrimientos.

Apertura y colmatación de juntas: la apertura de las juntas, originada por los movimientos no previstos y la acumulación de residuos en el interior de las mismas afectan su correcto funcionamiento, ya que se bloquea su posible movimiento.

Para reparar estas patologías y mejorar la durabilidad de la estructura del muelle se realizaron las siguientes actuaciones.

4.1 Reparación de juntas

Para ello se realizó la limpieza de las juntas, extrayendo todo el material depositado en las mismas, incluso los restos del antiguo material sellante (fig.12).



Figura 12. Limpieza de juntas

Luego se realizó la reparación de los bordes de las juntas (fig. 13) y a continuación se realizó un relleno con espumas expansivas de poliuretano de las juntas, para finalmente sellarlas, con un producto especial (fig.14).



Figura 13. Reparación de bordes de las juntas



Figura 14. Sellado de juntas

4.2 Reparación de superficies de hormigón

Se realizó en primer lugar, la limpieza de las superficies a reparar, eliminando todo el material suelto, adherencias y cualquier resto de aceites o materia grasa que pudiera estar en la zona a reparar. Luego la superficie fue tratada para garantizar la rugosidad necesaria para que el mortero de reparación se adhiriera correctamente a la superficie deteriorada (fig.15).

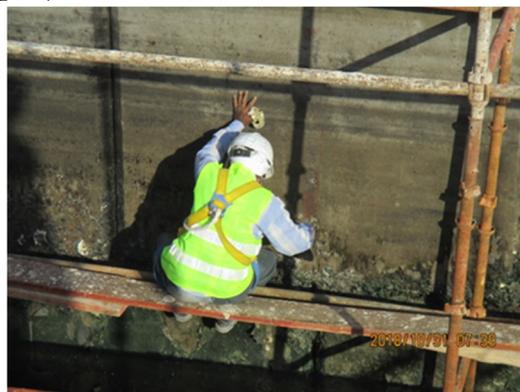


Figura 15. Preparación de las superficies a reparar

En los casos en que el deterioro del hormigón había llegado a afectar a las barras de acero, se trataron las mismas, limpiándolas y protegiéndolas mediante una imprimación anticorrosiva de zinc.

Finalmente utilizando morteros de dos componentes, con resinas, se reparó la zona deteriorada. Cuando el espesor a reparar fue muy grande, la reparación se realizó aplicando capas sucesivas del espesor admitido, según las

especificaciones técnicas de aplicación del mortero.



Figura 16. Reparación con micro-hormigones

En casos en que la reparación requería espesores importantes en lugar de los morteros, se emplearon micro-hormigones (fig.16).

4.3 Reparación de fisuras y grietas

En el caso de las fisuras y grietas se repararon inyectando una resina epóxica de dos componentes (base y endurecedor), de baja viscosidad y retracción, con una resistencia a compresión de 65 MPa a los 7 días.

La reparación se inició con la limpieza de la fisura, eliminando el polvo, los restos de aceites, grasas, algas, etc., empleando aire a presión (fig.17).



Figura 17. Preparación y limpieza de fisuras y grietas

Luego se colocaron las boquillas de inyección en los diferentes puntos previstos, para ello se realizaron taladros en el hormigón para disponer en ellos las boquillas, ya sea directamente sobre la fisura o diagonalmente a la misma. Estas boquillas se disponen a

intervalos a lo largo de la fisura a inyectar (fig.18), dependiendo del ancho y largo de la fisura (entre unos 20 y 50 cm).



Figura 18. Instalación boquillas inyección

Antes de inyectar se selló la fisura con una capa de unos 5 mm de espesor de un mortero epóxico especial, y unos 30 a 40 mm de ancho, para evitar la fuga de la resina.

Una vez que el material sellador, estuvo correctamente curado, se procedió a la inyección de la resina utilizando equipos estándar de inyección, prestando especial atención a que la inyección del producto se realizara en el tiempo que corresponde a su vida útil, de acuerdo con las especificaciones técnicas del producto.



Figura 19. Inyección de morteros epoxi

La inyección se realizó comenzando por las boquillas más bajas (en fisuras de dirección cuasi vertical) o más extremas (en fisuras de dirección cuasi horizontal), de forma de garantizar el correcto sellado de las fisuras (fig.19).

En el caso de grietas pasantes, se inyectaran secuencialmente a uno y otro lado de

la fisura a través de las boquillas del mismo nivel, antes de proceder a inyectar a través de boquillas situadas más altas.

Finalmente se dejó que el material inyectado se curara el tiempo requerido, según las especificaciones del producto, antes de proceder a quitar las boquillas de inyección.

Estos trabajos de inyección de fisuras y grietas también fueron realizados en aquellas patologías que se encontraban bajo el agua, utilizando productos específicos para su aplicación submarina (fig. 20).



Figura 20. Reparación subacuática

4.4 Pinturas y protecciones

Se realizó la pintura de la superficie superior de la viga cantil con productos sellantes, mediante la aplicación de una capa de imprimación y dos capas de acabado (fig. 21).



Figura 21. Pintura e la superficie superior del cantil

También se realizó la protección de elementos metálicos aplicando grasas para evitar su corrosión (fig. 22).



Figura 22. Protección con grasa elementos metálicos

5. Control y supervisión de las obras

Un técnico especialista de PROES supervisó la realización de los trabajos de reparación, indicados anteriormente, para garantizar que, por una parte los productos empleados eran los correctos, y por otra que las especificaciones de aplicación eran respetadas.

En cuanto al control de la reparación de grietas y fisuras, la tarea de mayor importancia entre las reparaciones realizadas, se registró en una ficha, los datos de cada inyección realizada, a saber: fecha, horas de inicio y final de la reparación, fotografía de la misma antes y después de la reparación, temperatura ambiente durante la reparación, cantidad estimada del volumen de producto inyectado, presión de inyección, longitud de la fisura, etc.



Figura 23. Ensayo UPV antes de la reparación

Cabe destacar que se realizaron ensayos mediante la técnica de ultrasonido (Ultrasonic

Pulse Velocity) antes de reparar las grietas con el fin de medir la profundidad de las mismas, y que finalizadas las reparaciones se repitieron estos ensayos para comprobar que dichas patologías habían sido correctamente reparadas (figs. 23 y 24).



Figura 24. Ensayo UPV después de la reparación

Se realizaron un total de 200 ensayos (100 antes y 100 después de la reparación), tomado medidas perpendiculares a la orientación de las fisuras o grietas, obteniendo valores mínimos, máximos y promedio de la profundidad de las mismas. El instrumento de medición utilizado permitía el procesado automático de las medidas (fig. 25), de forma de dar como medida la profundidad de la fisura o grieta. Teniendo en cuenta la orientación de la misma, perpendicular u oblicua respecto al paramento.



Figura 25. Instrumento para la medición UPV

Se fijaron unas condiciones límites para la aceptación de la reparación, consistentes en que limitar la profundidad remanente de las mismas.

Mediante este control se consideró necesario realizar una segunda actuación en 22 de las 100 zonas controladas.

5. Conclusiones

Los trabajos de inspección realizados han permitido encontrar un procedimiento de reparación que ha evitado inversiones mayores para resolver la continuidad de prestación del servicio de estas instalaciones, dado que el Promotor incluso valoraba la demolición y reconstrucción de las mismas.

Cabe destacar que, por el origen de las patologías, los daños se situaban tanto en la zona aérea como en las zonas de carrera de mar y sumergida, y por tanto las actuaciones han tendido que contemplar diversos tipos de reparaciones. Así mismo las condiciones de reparación han tenido en cuenta las condiciones climáticas extremas que se producen en este país (temperaturas ambiente muy altas).

Agradecimientos

Promotor:

Tamdeen Real State Co.

Empresa Constructora:

Blastline General Trading & Contracting Co.

Inspección, Proyecto Reparación y A.T.:

PROES, Consultores S.A.

Referencias

- [1] Puertos del Estado, ROM 0.5-05 Recomendaciones geotécnicas para el diseño de obras portuarias y marítimas
- [2] Karl Terzaghi y Ralph B. Peck, Mecánica de suelos en la ingeniería práctica, editorial El Ateneo, 2ª edición, 1982.
- [3] J.A. Jiménez Salas et al., Geotecnia y Cimientos, 2ª edición, editorial Rueda, 1975-1976.