

Terminal portuario “NorthPier” (Kuwait)

Inspección y redacción FEED obras de rehabilitación

Port Terminal “North Pier” (Kuwait) *Inspection and rehabilitation FEED*

Jorge Alberto Cerezo Macías^{*, a}, Gonzalo Aivar Mateo^b, Elena Seguido Fernández-Tresguerres^c, María Gómez Irigaray^d, Javier Iñigo Mallol^e, Jaime Martínez Arigita^f

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

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

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

^dIngeniera Naval. PROES Consultores S.A. Directora Departamento Ingeniería Civil mgomez@proes.engineering

^eIngeniero Técnico de Obras Públicas. PROES Consultores S.A. Jefe de proyecto Departamento Asistencias Técnicas. jnigo@proes.engineering

^fIngeniero Técnico de Obras Públicas. PROES Consultores S.A. Jefe de proyecto Departamento Asistencias Técnicas. jmartinez@proes.engineering

RESUMEN

PROES ha realizado para KNPC (Compañía Nacional del Petróleo Kuwaití) la inspección y la redacción del FEED de las obras de rehabilitación de dos de sus Terminales de la Refinería situada en Mina Al-Ahmadi en Kuwait, el “South Pier” (2013 – 2014), cuyas obras ya se han ejecutado y el “North Pier” (2015 – 2016), cuyas obras están en ejecución actualmente. Ambos Terminales tienen similares características y en el presente artículo se describen los trabajos realizados en el “North Pier”, la inspección área y subacuática de las estructuras y otros elementos así como también las soluciones propuestas para la rehabilitación propuesta para garantizar la vida útil requerida por las instalaciones.

ABSTRACT

PROES has carried out the inspection and drafting of the FEED of the rehabilitation works of two of its Refinery Terminals located in Al-Ahmadi Mine in Kuwait, the “South Pier” (2013 - 2014) for KNPC (National Petroleum Company), whose works have already been executed and the “North Pier” (2015 - 2016), whose works are currently in execution. Both Terminals have similar characteristics and this article describes the work carried out in the “North Pier”, the area and underwater inspection of the structures and other elements as well as the proposed solutions for the proposed rehabilitation to guarantee the useful life required by the installations.

PALABRAS CLAVE: inspección, FEED, rehabilitación, muelle, terminal, estructura metálica, pilotes.

KEYWORDS: inspection, FEED, rehabilitation, dock, terminal, metal structure, piles.

1. Descripción del Terminal

El Terminal portuario, denominado “North Pier” (fig. 1) es propiedad de la Compañía Nacional de Petróleo de Kuwait (KNPC) y fue construido en el año 1959.

Desde su construcción la estructura ha sido rehabilitada y reparada en varias ocasiones.

Con el fin de garantizar una extensión de su vida útil, hasta el año 2030, KNPC ha contratado a PROES para realizar una inspección completa de la estructura del “North Pier” y de su equipamiento, cuyo objetivo era poder definir en un FEED las obras de rehabilitación necesarias.



Figura 1. Vista general del muelle del “North Pier”.

El “North Pier” cuenta con dos grandes estructuras independientes, una de ellas el puente de acceso al muelle y la otra la del propio muelle de atraque (fig. 2).

El puente de acceso parte de la costa y discurre en dirección cuasi perpendicular a la misma, tiene una longitud total de 1443 m, y finaliza en el muelle.



Figura 2. Vista aérea del “North Pier”

Su sección tipo consta de un carril para el tránsito de vehículos de 3.66 m y una zona por

la que discurren las tuberías, con un ancho de 12.40 m.

La estructura metálica del mismo, cuenta con 297 vanos, y se ha resuelto con pórticos transversales, cuyos pilares son un total de 810 pilotes metálicos y los dinteles son vigas en celosía. La estructura se completa con celosías en dirección longitudinal.

El tablero se apoya en una serie de vigas metálicas que se apoyan en los cordones superiores de las vigas de celosía de los pórticos transversales, y se ha resuelto con un suelo de tablas de madera, y tiene una ligera pendiente ascendente desde la costa hasta el muelle.

La estructura del puente de acceso se completa con 9 estructuras que proveen de puntos rígidos a la misma, materializados por 8 pilotes inclinados cada uno, junto con una superestructura de hormigón armado, que colaboran con la estabilidad global de la

estructura del puente de acceso. Estas estructuras se encuentran conectadas a la estructura metálica del puente de acceso y permiten disponer sobre ellas las liras de expansión de las tuberías.

Complementariamente existen otras 16 estructuras, distribuidas a lo largo del puente de acceso, que se comportan como puntos rígidos, en este caso para la dirección transversal, quince situadas en el lado norte y uno en el lado sur del puente de acceso.

El muelle tiene aproximadamente 702 m de largo y aproximadamente 32 m de ancho, y se sitúa cuasi paralelo a la costa. Su uso es la descarga de petróleo crudo y la carga de productos líquidos procedentes de la refinación del petróleo, a través de cuatro atraques.

Su sección aloja carriles para vehículos en ambos lados y una zona central para las tuberías.

La estructura es metálica, consta de un total de 193 vanos, resueltos con pórticos, cuyos pilares lo componen un total de 2120 pilotes, y los dinteles son celosías en ambas direcciones.

También en esta estructura el tablero se apoya en una serie de vigas metálicas que se apoyan en los cordones superiores de las vigas de celosía de los pórticos transversales, y está resuelto con un suelo conformado por tablas de madera, que se encuentra a la cota +4.58 m.

Debido al cambio de usos de las instalaciones con el paso del tiempo, el muelle consta actualmente de dos duques de alba, uno situado en el extremo norte y otro en el sur del muelle.

En el muelle existen dos estructuras que actúan como puntos rígidos, uno situado cerca del extremo norte y otro del extremo sur del muelle. Se trata de estructuras conformadas por pilotes inclinados y una superestructura de hormigón armado conectada a la estructura metálica del tablero del muelle.

2. Inspección y toma de datos

2.1 Organización previa de los trabajos

Como trabajo previo y con el fin de realizar un trabajo de inspección homogéneo, teniendo en cuenta que se requería la participación de un grupo numeroso de inspectores, se realizaron reuniones para instruir a los técnicos que realizarían los trabajos en relación con las diferentes patologías que pudieran estar presentes en las estructuras (definiendo también cómo registrar la posición, la gravedad y la extensión de los deterioros), la identificación de los elementos a inspeccionar y la metodología de registro de las mismas.

Complementariamente se prepararon a partir de la documentación existente de las estructuras (principalmente planos facilitados por KNPC tanto del puente de acceso como del muelle) cuadernos para la toma de datos, que incluían los croquis de los pórticos que conforman las estructuras metálicas, para poder registrar tanto las patologías como asociar las mismas con las fotografías realizadas de ellas. De forma similar se prepararon croquis para el registro de los deterioros del tablero y del resto de elementos a inspeccionar (defensas, bolardos, ganchos de escape rápido, etc.).

Para la realización de los trabajos PROES movilizó a un equipo de técnicos especialistas en inspección de estructuras. El equipo compuesto por 15 personas, estaba integrado por un coordinador general, jefes de grupo, jefes de equipo y auxiliares. A este equipo se sumaron un especialista en sistemas de protección catódica, un especialista en tuberías y un equipo de 17 personas de la empresa de buzos, que incluían su coordinador, patronos de embarcaciones, buzos, auxiliares y técnicos especialistas en la realización de ensayos NDT (para la medición de espesores de los elementos metálicos).

Para definir los trabajos de inspección se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la guía de mantenimiento de terminales [1].

2.2 Realización de la inspección

Los trabajos de inspección realizados incluyeron una inspección visual tanto de los elementos estructurales situados por encima del nivel del agua como de la parte de los mismos que se encuentra sumergida. También se realizaron algunas mediciones de espesores de los elementos metálicos.

Los elementos metálicos que constituyen las estructuras, como ya se indicó, son pórticos conformados por pilas pilotes y dinteles constituidos por vigas de celosía, resueltas con cordones superiores e inferiores, montantes y diagonales. Existen celosías tanto en la dirección de los pórticos como en dirección perpendicular a ellos (en sentido longitudinal de la estructura).



Figura 3. Trabajos de inspección aérea

Todos estos elementos metálicos son perfiles laminados, de diversos tipos de sección, HEB, L, I, T, BFB, etc.



Figura 4. Defensas

Complementariamente se inspeccionaron otros elementos como el tablero de

madera (teniendo en cuenta la normativa [2]), el equipamiento marítimo (bolardos, ganchos, defensas (fig. 4), etc.), los soportes de las tuberías, las edificaciones situadas en el Terminal, la más importante de ellas la sala de control (fig. 5) situada sobre el puente de acceso, el sistema de protección catódica, las torres de extinción de incendios, los brazos de descarga, etc.



Figura 5. Sala de control

Mediante el uso de embarcaciones, se realizó la inspección visual de los elementos metálicos desde la parte inferior de la estructura, posibilitando completar la inspección de la zona aérea, desde el nivel de bajamar (fig. 6).



Figura 6. Trabajos de inspección aérea desde el mar

La inspección subacuática incluyó la filmación en video de los pilotes desde la zona de salpicadura hasta unos 5.00 metros de profundidad (fig. 7) y la toma de fotografías.



Figura 7. Trabajos de inspección submarina

Los trabajos de inspección aérea se realizaron en unos 80 días de trabajo y los de la inspección subacuática en unos 50 días.

El tiempo en que el equipo estuvo realmente movilizado fue superior debido por una parte a las gestiones necesarias para acceder al Terminal y por otra por los días de mal tiempo climático que impedían trabajar.

2.3 Toma de datos

Se midió el espesor de los pilotes metálicos, mediante ultrasonidos, en tres puntos en la zona de salpicadura (en total más de 9000 medidas) y en un punto en la zona adyacente al fondo marino (en total unas 150 mediciones), en aproximadamente 1200 pilotes.

Se realizaron, también, una serie de medidas del espesor de las adherencias marinas a los pilotes, en dos diferentes profundidades, para poder incluir este dato en la evaluación estructural. Se determinaron valores medios del orden de 25 mm entre las cotas +2.25 y -9.00 m y de 40 mm en el resto del pilote sumergido.

En la Tabla 1 se resumen el número de elementos más significativos inspeccionados:

Tabla 1. Elementos inspeccionados.

Elemento	Cantidad
Elementos de celosías	26451
Pilotes zona aérea	2931
Pilotes zona sumergida	1221
Defensas	118
Duques de Alba	3
Puntos rígidos	27
Tablero de madera	16329 m ²
Bolardos	61
Ganchos de escape rápido	29
Ánodos Protección catódica	134

2.4 Resumen de patologías

2.4.1. Estructuras metálicas

Las patologías en los elementos metálicos que básicamente se consideraron fueron las siguientes:

- ✓ Corrosión con pérdida de sección (fig. 8)
- ✓ Corrosión superficial (fig. 9)
- ✓ Corrosión en uniones



Figura 8. Corrosión con pérdida de sección

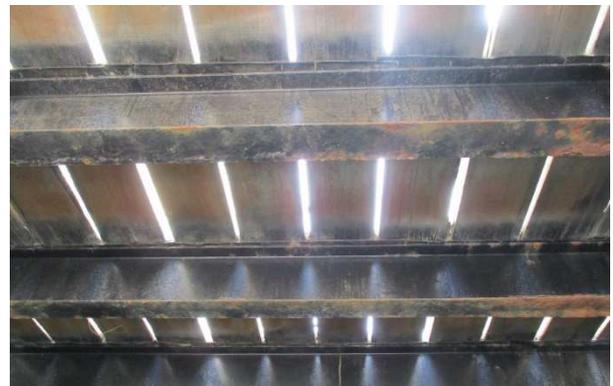


Figura 9. Corrosión superficial

- ✓ Pérdida de tornillos/ bulones en uniones
- ✓ Corrosión con laminación (fig. 10)
- ✓ Elementos deformados



Figura 10. Corrosión con laminación

- ✓ Pérdidas de verticalidad o alineación
- ✓ Fisuras
- ✓ Fisuras en soldaduras



Figura 11. Elementos perdidos

- ✓ Elementos perdidos (fig. 11)
- ✓ Pérdida de pinturas o protecciones



Figura 12. Suciedad y adherencias marinas

- ✓ Daños por anteriores intervenciones
- ✓ Suciedad o adherencias marinas
- ✓ Golpes o impactos (fig.13)



Figura 13. Golpes o impactos

En resumen, para el caso de los pilotes del puente de acceso, las patologías más habituales resultaron ser las siguientes (Tabla 2):

Tabla 2. Puente de acceso daños en pilotes.

Elemento	Cantidad
Corrosión con pérdida sección	67 %
Corrosión superficial	60 %
Corrosión con laminación	38 %
Suciedad o adherencias marinas	99 %

Para los elementos metálicos del tablero para el caso del puente de acceso, las patologías más habituales resultaron ser las siguientes (Tabla 3):

Tabla 3. Puente de acceso daños en celosías.

Elemento	Cantidad
Corrosión con pérdida sección	18 %
Corrosión superficial	54 %
Corrosión en uniones	15 %
Corrosión con laminación	35 %
Suciedad o adherencias marinas	10 %

En los pilotes del muelle, las patologías más habituales resultaron ser las siguientes (Tabla 4):

Tabla 4. Muelle daños en pilotes.

Elemento	Cantidad
Corrosión con pérdida sección	35 %
Corrosión superficial	79 %
Corrosión con laminación	32 %
Suciedad o adherencias marinas	99 %

En los elementos metálicos del tablero del muelle, las patologías más habituales resultaron (Tabla 5):

Tabla 5. Muelle daños en celosías.

Elemento	Cantidad
Corrosión con pérdida sección	16 %
Corrosión superficial	67 %
Corrosión con laminación	18 %
Suciedad o adherencias marinas	17 %

2.4.2. Tablero de madera

En el caso del tablero de madera las patologías que básicamente se consideraron, fueron las siguientes:

- ✓ Superficie fisurada
- ✓ Pérdidas de sección
- ✓ Huecos o agujeros
- ✓ Grietas (fig. 14)
- ✓ Rajaduras
- ✓ Pérdida de anclajes
- ✓ Desgaste por tráfico



Figura 14. Tablas con grietas

En resumen para el caso del puente de acceso las patologías más habituales del tablero de madera resultaron ser las siguientes (Tabla 6):

Tabla 6. Puente de acceso daños en tablero de madera.

Elemento	Cantidad
Superficie fisurada	36 %
Grietas	46 %

En el muelle las patologías más habituales del tablero de madera resultaron ser las siguientes (Tabla 7):

Tabla 7. Muelle daños en tablero de madera.

Elemento	Cantidad
Superficie fisurada	28 %
Grietas	27 %
Desgaste por tráfico	34 %

2.4.3. Resto de elementos

Como se ha comentado el trabajo de inspección incluía una diversidad muy amplia de elementos, en los que destacaban las estructuras metálicas y los tableros de madera ya comentados.

En el resto de elementos, también se registraron sus patologías a partir de una

relación previa de deterioros típicos, adecuada a cada uno de ellos.

Así por ejemplo en elementos como los ganchos de escape rápido se incluían como patologías las pérdidas de elementos de anclaje, pérdidas de uñas, corrosión (fig. 15), etc.



Figura 15. Corrosión de ganchos de escape rápido

En el caso de la protección catódica, la pérdida de ánodos, el deterioro del cableado, la pérdida o deterioro de cajas de conexión (fig. 16), etc.



Figura 16. Corrosión de cajas protección catódica

Otro ejemplo, en el caso de las antiguas defensas de paneles de madera basculante (fig. 17), la pérdida de su fijación, deterioros en los paneles de madera en contacto con las embarcaciones, etc.



Figura 17. Pérdida fijación de antiguas defensas

2. Procesamiento de datos

Con la información obtenida sobre las patologías de los elementos inspeccionados, se preparó una base de datos para permitir su procesamiento, de forma de poder realizar un análisis conjunto de los deterioros encontrados. Cabe señalar que se habían registrado datos del estado de unos 30000 elementos.

Las patologías registradas de los elementos metálicos se analizaron por una parte para el conjunto de pilotes y por otra para el resto de elementos metálicos que constituían los tableros, del puente de acceso y del muelle por separado.

Simultáneamente en una colección del orden de 650 planos se delinearon croquis de los pórticos transversales y las celosías longitudinales tanto del puente de acceso (unos 300 transversales) como del muelle (unos 200 transversales).

En estos croquis mediante una nomenclatura de signos y colores se indicaron las diferentes patologías, localizadas en su posición, y registrando su grado de severidad y extensión (fig.18).

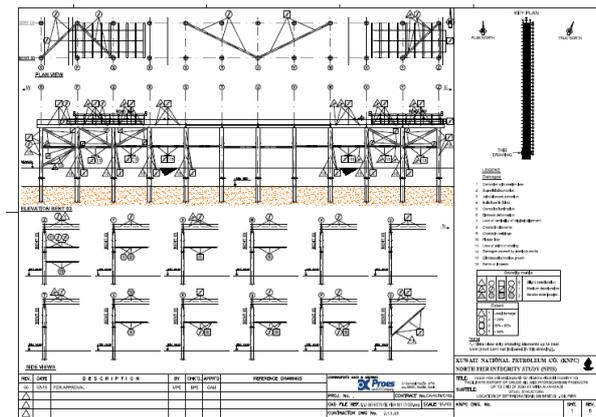


Figura 18. Ejemplo plano de patologías

Esta documentación fue luego utilizada para indicar en los planos del FEED las zonas de las reparaciones tipo diseñadas para rehabilitar las estructuras.

3. Evaluación estructural

Para la realización de la evaluación del comportamiento de las estructuras, se redactó previamente un informe de clima marítimo, a fin de tener datos de las corrientes y del oleaje que actúa sobre las mismas.

Se generaron modelos de las dos estructuras, por un lado la estructura del puente de acceso y por otro la del muelle, mediante un software específico de cálculo de estructuras de barras espacial (fig. 19).

Actuando sobre el modelo, se tuvieron en cuenta las siguientes acciones y cargas:

- ✓ Peso propio
- ✓ Cargas permanentes
- ✓ Sobrecargas de uso (uniforme, vehículo, grúas y cargas de las tuberías)
- ✓ Cargas transmitidas por la estructura de la Sala de Control
- ✓ Acciones mete-oceánicas (corrientes y oleaje)
- ✓ Acciones térmicas
- ✓ Acción del viento
- ✓ Acciones sísmicas

En el caso de los atraques, en el muelle, se incluyeron las cargas de amarre (en bolardos y ganchos de escape rápido) y atraque (en defensas).

Estas acciones se combinaron en distintas hipótesis de combinación, para finalmente obtener envolventes de esfuerzos en los diferentes elementos.

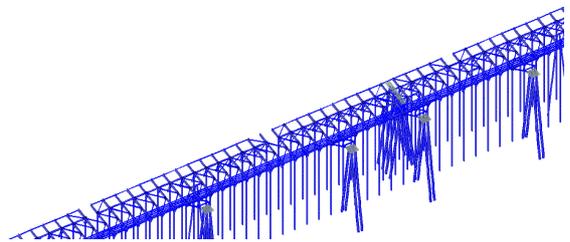


Figura 19. Modelo de barras del puente de acceso

El modelo asumía que se reponían los elementos perdidos, de forma que la estructura analizada estaba completa.

Se estableció una pérdida de sección uniforme en aquellos elementos de los modelos

que de acuerdo con la inspección tenían patologías de corrosión, de forma de poder comprobar la estructura en las condiciones actuales.

A continuación se comprobaron las secciones de los elementos que conforman las estructuras, para determinar aquellos que requerían ser reforzados.

También se realizó una evaluación al final de la nueva vida útil de la estructura, asumiendo una pérdida de sección de los elementos afectados por corrosión, considerando una velocidad de corrosión similar a la medida en los elementos corroídos medidos. Esta evaluación permitió definir actuaciones de rehabilitación que garantizaran que los elementos que, al final de la vida útil, no funcionaran correctamente fueran reparados.

4. Diseño de actuaciones

Teniendo en cuenta la diversidad de elementos y patologías que se encontraban dentro del alcance del FEED a redactar, se definieron una serie de reparaciones y actuaciones estándar.

Las principales reparaciones se requerían en la estructura metálica y el tablero de madera.

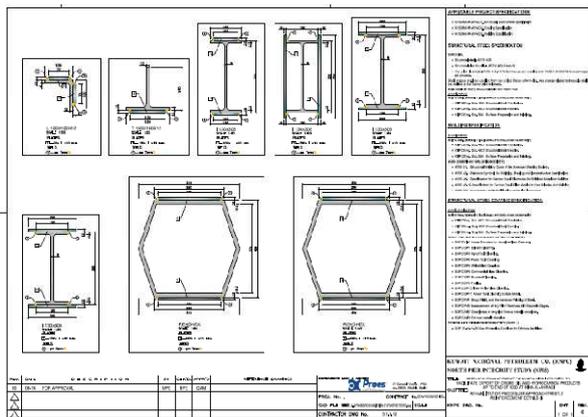


Figura 20. Ejemplo plano refuerzos estándar

Se definieron refuerzos tipos para las secciones metálicas (fig. 20), junto con los procedimientos para su reparación (fig. 21).

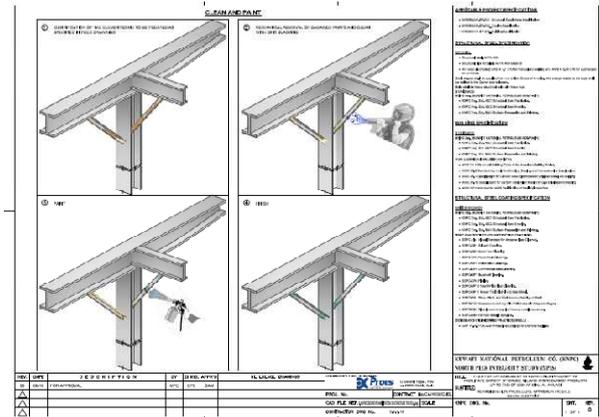


Figura 21. Ejemplo plano procedimiento actuación

También se incluyó la reparación del sistema de protección catódica, disponiendo nuevos ánodos en donde se habían perdido o donde se habían consumido, así como también la reposición de cajas de conexión, cableado, contrapesos, etc.

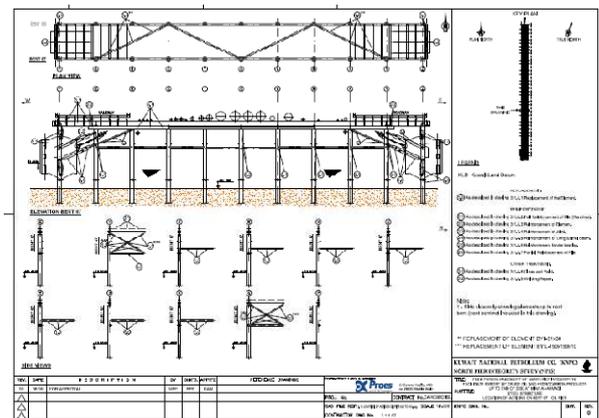


Figura 22. Ejemplo plano de reparaciones

En cuanto a la reparación de otros elementos se definieron procedimiento de reparación para las estructuras de hormigón armado, las defensas, los bolardos y ganchos de escape rápido, las torres contra-incendio, las pasarelas de acceso a los duques de alba, las bandejas de cables, los soportes de tuberías, etc.

Esta colección de planos de las reparaciones estándar se completaba con los planos donde se situaban cada una de las reparaciones a realizar (fig. 22), mediante croquis de los pórticos transversales y longitudinales, y utilizando una nomenclatura para definir el tipo de reparación estándar a emplear para reparar la patología en las estructuras metálicas.

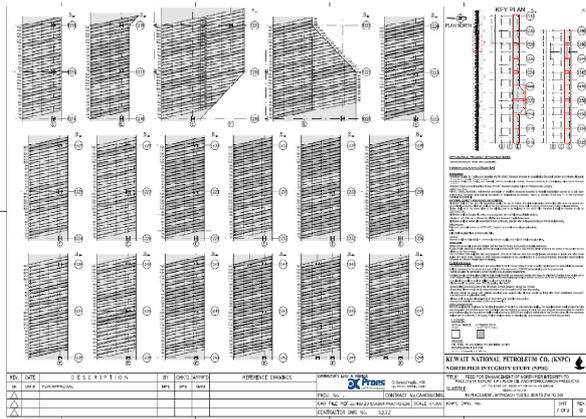


Figura 23. Ejemplo plano de reparaciones tablero

Con un procedimiento similar de representación se realizaron planos para el resto de reparaciones: tablero de madera (fig. 23), equipamientos, etc. Esta colección era de unos 750 planos.

El documento FEED para las obras de rehabilitación del “North Pier” incluía un total de 42 documentos, entre los de control de calidad, bases de diseño, cálculos, informes, especificaciones técnicas y un total de 1360 planos.

El resumen de los principales materiales previstos para la reparación y rehabilitación de las estructuras es el siguiente Tabla 8:

Tabla 8. Materiales para reparación.

Material	Cantidad
Sustitución de elementos metálicos	420000 kg
Refuerzo pilotes	250000 kg
Refuerzo elementos metálicos	565000 kg
Reparación uniones metálicas	100 ud.
Retirada de elementos metálicos dañados	10800 m
Limpieza y pintura elementos metálicos	24000 m ²
Reparación de uniones soldadas	100 ud.
Andamios	80000 m ³
Tablas de 4” x 1”	7500 m ²
Tablas para bordillo 9” x 9”	1000 m ²

La planificación de los trabajos de rehabilitación se programó en dos fases, la primera en un plazo de seis meses para las actuaciones definidas como de mayor urgencia

y la segunda en dieciocho meses para el resto de actuaciones.

El presupuesto de las obras de reparación resultó del orden de los 15 millones de euros.

5. Conclusiones

Como breve conclusión de los trabajos realizados, se puede concluir que más allá de la diversidad de elementos y patologías encontrados, destaca la corrosión de elementos metálicos como la principal causa de deterioro de los elementos y como es habitual, las zonas sumergidas no presentan casi afecciones, mientras que las zonas correspondientes a la zonas de carrera de mar y salpicaduras concentran los mayores deterioros, y las zonas aéreas se encuentran afectadas pero en mucho menor medida.

Agradecimientos

Promotor:

KNPC

Inspección y FEED Rehabilitación:

PROES, Consultores S.A.

Colaboradores:

- Inspección subacuática:
3B General Trading & Contracting Co
- Inspección tuberías:
AMEC Foster Wheeler
- Inspección Protección Catódica:
WWI Procat

Referencias

- [1] SIGTTO – OCIMF, Jetty Maintenance and inspection guide, 2008.
- [2] WEST COAST LUMBERINSPECTION BUREAU, Standar grading rules N° 17 west coast lumber, 2004.