SIOP
VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria | San Antonio | 2016
Puertos sostenibles: el gran desafío

PUERTO VENTANAS S.A. CHILE

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

VII SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA

DESAFÍOS DE MODERNIZACIÓN INSTALACIONES EXISTENTES:

REFORZAMIENTO SITIO 3 PUERTO VENTANAS

Eduardo Monsalve Stange[1]

Jaime Condell Gatica[2]

1 RESUMEN

Puerto Ventanas está desarrollando un proyecto de modernización de sus instalaciones, el que contempla un nuevo sistema de embarque. La incorporación de este nuevo sistema implica reforzar el muelle existente del Sitio 3 y el puente de acceso al sur de éste, los que tienen más de 20 años de antigüedad.

Si bien se puede tener una planificación de los trabajos a la hora de realizar un proyecto, cuando se trata de modernizar instalaciones existentes, se dan una serie de factores que implican variados desafíos, los que pueden repercutir directamente en los plazos de ejecución de la obra.

Los grandes desafíos al modernizar estructuras existentes pasan por la coordinación de los trabajos con la operación de carga y descarga propias del puerto, esto debido a que la planificación de los barcos depende de factores externos, por lo que la obra debió adecuarse para no afectar la productividad del puerto.

[1]Gerente de Proyectos, Puerto Ventanas, eduardo.monsalve@pvsa.cl
[2]Administrador de Contrato, Puerto Ventanas, jaime.condell@pvsa.cl

Otro de los factores relevantes es la complejidad de trabajar por debajo de la losa, lo que dificulta el acceso y el montaje de elementos pesados y de grandes dimensiones. Para ello se buscan nuevas metodologías de trabajo.

Además, con el paso del tiempo, las estructuras van sufriendo modificaciones, ya sea por deformaciones en sus componentes o por incorporación de nuevos elementos al muelle, tales como instalaciones eléctricas, líneas de transporte de materiales, cámaras de contención de material, etc., muchas de las cuales no cuentan con registros y sus interferencias son difíciles de evaluar.

2 INTRODUCCIÓN

Puerto Ventanas, ubicado en el sector norte de la bahía de Quintero, contiguo con la comunidad de Ventanas, en la comuna de Puchuncaví, es el principal puerto granelero de la zona central de Chile. PVSA, posee una capacidad promedio de movimiento de carga granel de 6MM de toneladas anuales entre Carbón, Concentrado de Cobre, granos y Clinker. La instalación, posee condiciones operativas relativamente buenas, entre las cuales destacan la protección parcial del embate del oleaje NW y también la protección parcial al oleaje SW, según se observa en la Figura 1.

Figura 1: Disposición de Puerto Ventanas en la bahía de Quintero

Fuente: Google Earth

La empresa, en busca de modernizar sus instalaciones existentes y así poder brindar un mejor servicio a sus clientes, está implementando un nuevo sistema de cargador de barcos del tipo viajero para el manejo de carga de concentrado de cobre. La incorporación de este nuevo cargador ha llevado a la necesidad de reforzar la estructura existente del sitio 3, la cual posee múltiples etapas constructivas.

En este documento se presentarán los desafíos encontrados al momento de realizar el refuerzo estructural para albergar el nuevo cargador de barcos y su sistema de correas transportadoras.

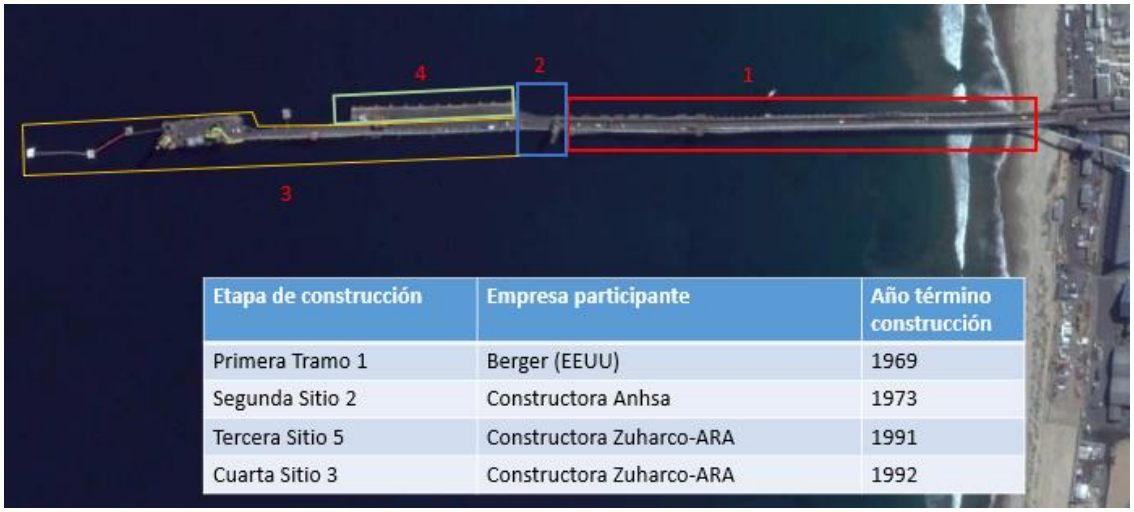
Una obra de esta envergadura es poco usual y muy desafiante, dado que se busca reforzar una estructura antigua, a la par con el normal desarrollo de las actividades portuarias.

3 CONDICIÓN ACTUAL DEL MUELLE

3.1 Historia y etapas de construcción del muelle

El muelle de PVSA, posee un largo historial de etapas de construcción, dado que fue habilitado en base a los requerimientos de la industria cercana. En primera instancia, se habilitó el Sitio 1 para la descarga de carbón para Chilgener en 1969. Posterior se proyectó la habilitación del muelle espejo Sitio N°2 para embarque de CuCon, para la entonces Empresa Nacional de Minería ENAMI en 1973. Largos años sucedieron hasta una nueva ampliación, proyectada por Chilgener, para aumentar la capacidad de naves de embarque de carbón, habilitándose entonces el Sitio N°5 en 1991. Una vez habilitado el sitio 5, se proyectó la habilitación de una nueva plataforma para, en un futuro, instalar un cargador viajero para nuevas cargas, la cual fue construida en 1993.

Figura 2: Etapas de construcción del muelle



Etapa de construcción	Empresa participante	Año término construcción
Primera Tramo 1	Berger (EEUU)	1969
Segunda Sitio 2	Constructora Anhsa	1973
Tercera Sitio 5	Constructora Zuharco-ARA	1991
Cuarta Sitio 3	Constructora Zuharco-ARA	1992

Fuente: Elaboración propia

En el año 2002, PVSA fue adquirido por el holding SK, generando una unidad de negocio enfocado en atención a graneles, aumentando desde entonces paulatinamente la cantidad de carga en atención a manejos de CuCon, siendo hoy uno de los 2 terminales que maneja mayor cantidad de CuCon en Chile y el mundo.

En base a este crecimiento, y atendiendo las altas tasas de congestión existente en la instalación, se proyectó la habilitación del Sitio 3 con un nuevo cargador viajero exclusivo para atención de naves de CuCon triplicando la tasa de producción anual.

3.2 Configuración del muelle

El muelle de Puerto Ventanas está compuesto por el Puente de Acceso separado en 5 módulos estructuralmente independientes, Sitio 1 y 2, compuesto como otro modulo estructural independiente, el Sitio 3 es otra plataforma estructuralmente independiente y el Sitio N°5 como unidad separada en 2 módulos estructurales independientes.

Como configuración estructural general, el muelle se basa en un sistema de pilotes cilíndricos de acero, conectados entre sí por sendas vigas longitudinales y transversales, y una losa superior de hormigón armado. Todas las estructuras trabajan de forma independiente entre sí, gracias a juntas de dilatación existentes entre ellas.

El presente proyecto si bien abarca obras dentro de toda la instalación entre Sitio 3, 2, 1 y Puente de Acceso, para el presente análisis sólo se abordará la experiencia obtenida en el Sitio N°3, específicamente de las obras realizadas para la habilitación de la galería tripper y el nuevo cargador de barcos, según se presenta en la Figura 3.

Figura 3: Vista general muelle Puerto Ventanas

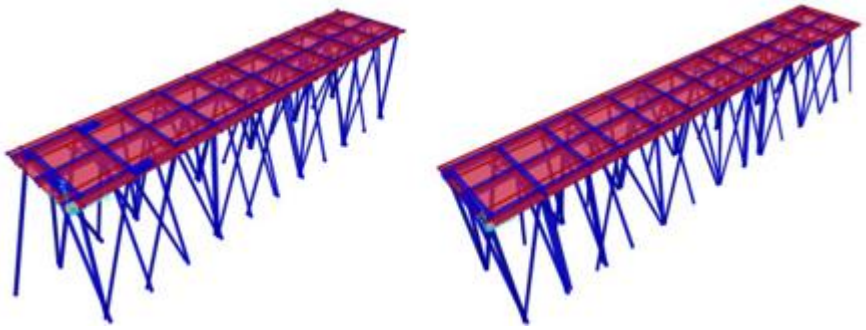
Fuente: Google Earth

3.3 Sitio 3

El sitio 3 es un muelle multipropósito, donde se mueve principalmente graneles limpios, Clinker, petcoke, ácido sulfúrico, entre otros.

Está compuesto por una losa de 180 m de largo y 18 m de ancho, conformada por 2 tramos independientes entre sí. Cuenta con una losa de 35 cm de espesor, conformada por losetas prefabricadas de 20 cm y una sobre-losa de hormigón armado de 10 cm.

Figura 4: Tramos 1 y 2, Sitio 3



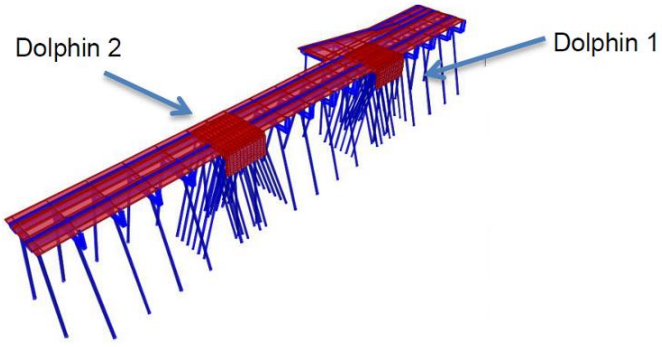
Fuente: Modelo estructural RFA Ingenieros

3.4 Puente de acceso costado sur Sitio 3

El puente de acceso, ubicado al costado sur del Sitio 3, está conformado por 4 dolphins, los cuales tienen una antigüedad de alrededor de 50 años. Posteriormente, en el año 1993, se unieron entre sí mediante losetas de hormigón puestas sobre vigas de acero y fundadas en pilotes. Este puente de acceso se compone de 2 tramos, totalmente independientes entre sí.

El primer tramo tiene un largo aproximado de 117 m, y está compuesto por 3 tramos de losas y 2 dolphins.

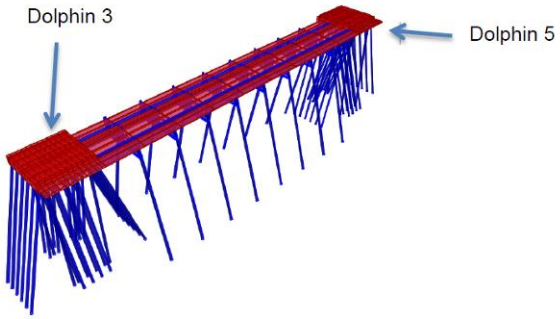
Figura 5: Tramo 1, puente de acceso costado sur Sitio 3



Fuente: Modelo estructural RFA Ingenieros

El segundo tramo tiene una extensión aproximada de 84 m, y está compuesto por 1 tramo de losa entre 2 dolphins.

Figura 6: Tramo 2, puente de acceso costado sur Sitio 3



Fuente: Modelo estructural RFA Ingenieros

4 PROYECTO DE INCORPORACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE CARGADOR DE BARCO TIPO VIAJERO PARA EL SITIO 3

El nuevo proyecto considera la incorporación de un sistema de cargador de barco tipo viajero, el cual se desplazará sobre rieles en el Sitio 3. Además, el proyecto considera la incorporación de un nuevo sistema de correas transportadoras que moverán la carga desde las bodegas ubicadas en tierra hasta dicho cargador de barcos.

Figura 7: Vista general de cargador de barcos y galería

Fuente: FAM, propiedad Puerto Ventanas

4.1 Consideraciones originales generales de diseño

A continuación se presentan las consideraciones principales de diseño:

- ✓ Empresa Proyectista: ARA (Arze Recine y Asociados)
- ✓ Año diseño:1993

- ✓ Normas vigentes: NCh 428-57; NCh 432-71; NCh 433-72; ACI 318-89.
- ✓ Cargas máximas admisibles: se considera el peso propio y una carga admisible de 3 T/m^2 repartida sobre la losa, llegando a un momento máximo de 126 T-m en las vigas longitudinales.

4.2 Nuevas consideraciones generales de diseño

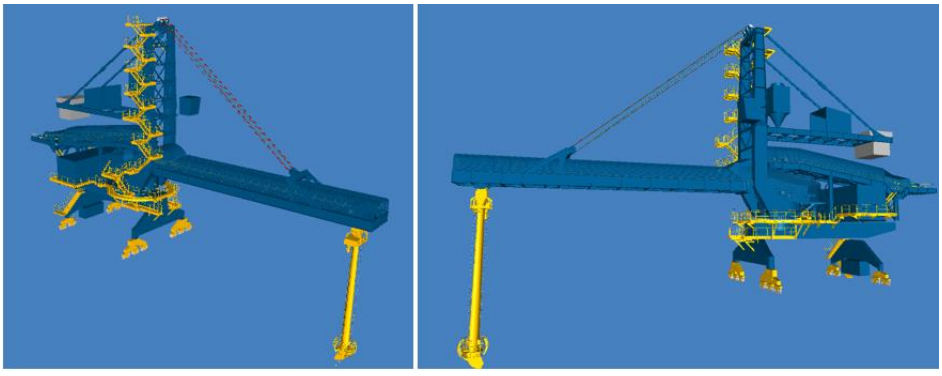
- ✓ Empresa Proyectista: RFA Ingenieros Consultores
- ✓ Año diseño refuerzo: 2015
- ✓ Normas vigentes: NCh 428-57; NCh 432-2010; NCh 433-2009; ACI 318-11.
- ✓ Cargas máximas admisibles: se considera el peso propio, el peso del cargador, una carga admisible de 0,5 T/m^2 repartida sobre la losa, llegando a un momento máximo de 163 T-m en las vigas longitudinales.

4.3 Nuevo cargador de barcos

A continuación se presentan las caracteristicas principales del equipo a instalar:

- ✓ Proveedor: Duro Felguera
- ✓ Fabricación: España
- ✓ Peso: 435 ton
- ✓ Notas generales: cargador permite desplazamiento a lo largo del muelle, elevación de pluma y giros laterales.

Figura 8: Isométricos del nuevo cargador



Fuente: Duro Felguera, propiedad Puerto Ventanas

Este cargador de barcos tiene un peso aproximado de 435 toneladas, las que se desplazarán a lo largo de los ejes A y C del Sitio 3 (ver **Figura 9**).

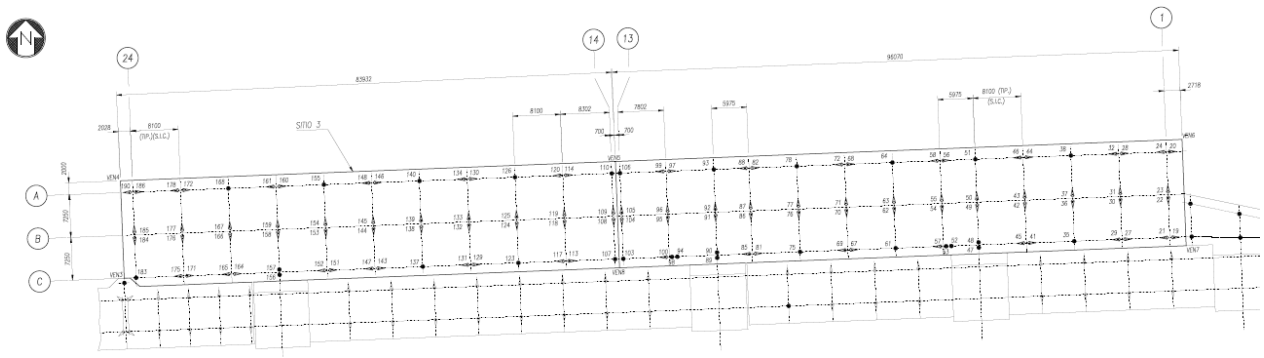
El proyecto al momento de realizar la verificación, se consideró evaluar los FU máximos que se generaban tanto sobre los pilotes como sobre las vigas longitudinales y transversales.

Al comparar los resultados del análisis sísmico con el nuevo equipo bajo las condiciones de diseño actuales, se observó que gran parte de las vigas longitudinales sobrepasaban su capacidad entre un 10% y un 30%, los pilotes poseían capacidad suficiente para las nuevas cargas y las vigas transversales poseían mayores esfuerzos de corte.

4.4 Resultados del Proyecto

En base a los resultados obtenidos, la empresa proyectista de refuerzo considera la incorporación de platabandas a todas las vigas que componen dichos ejes (vigas tipo IE 85x183), con el fin de aumentar su sección para resistir los mayores esfuerzos de flexo-tracción. Dichas platabandas tienen entre 3,3 y 6,4 m de largo, con un peso que varía entre 185 y 600 kg.

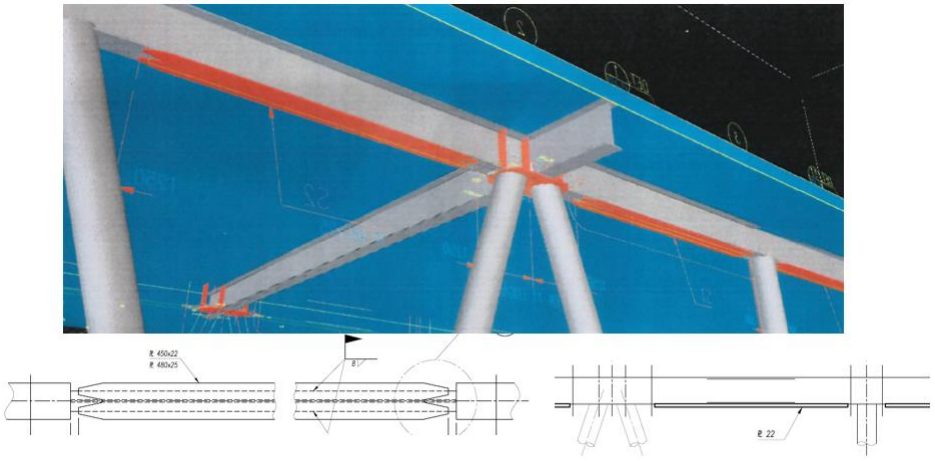
Figura 9: Configuración de ejes en Sitio 3



Fuente: Duro Felguera, propiedad Puerto Ventanas

Además, se considera una serie de atiesadores tanto en las vigas como en las conexiones de vigas a pilotes. Fuera de esto se refuerzan todas las conexiones de vigas, en sus alas superiores e inferiores.

Figura 10: Platabanda tipo, ejes A y C

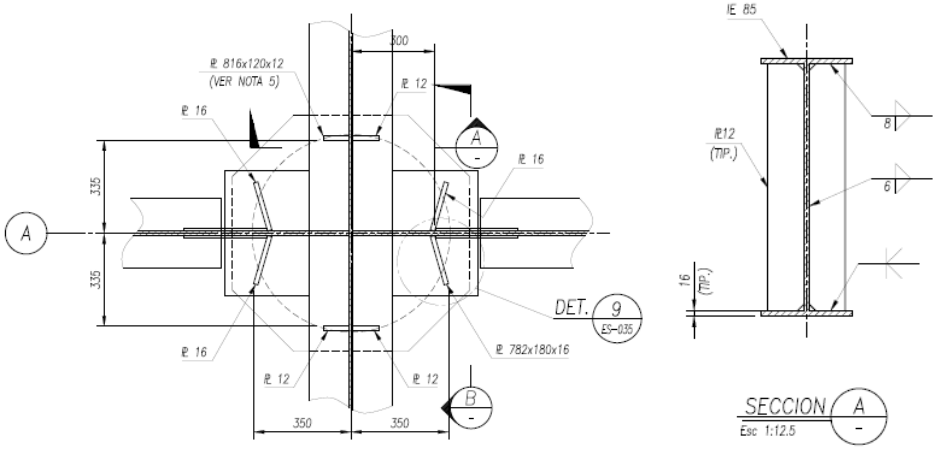


Fuente: EGESA, propiedad Puerto Ventanas

Figura 11: Fabricación de platabandas

Fuente: Puerto Ventanas

Figura 12: Refuerzo tipo, conexiones de vigas y pilotes



Fuente: RFA Ingenieros

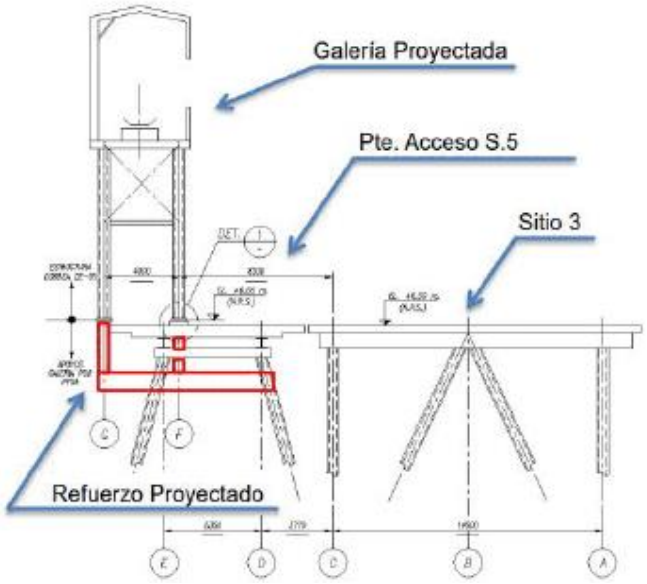
4.5 Nueva galería para el tripper

Al costado sur del Sitio 3 se emplazará una galería que albergará una correa convencional de 42" con una capacidad de 1500 TPH, además de un carro tripper cuyo peso aproximado es de 16 toneladas.

Para poder soportar la galería, cuyo peso bordea los 3000 kg/m, se diseñó un sistema de refuerzo formado por 21 vigas de acero y sus respectivas columnas, las que darán apoyo a la

nueva galería, transmitiendo su carga directamente a los pilotes, y así no adicionar carga a la losa. Cada conjunto de viga y columnas pesa alrededor de 3,0 ton.

Figura 13: Sistema de apoyo para galería costado sur Sitio 3



Fuente: RFA Ingenieros

5 DESAFÍOS DE MODERNIZAR LAS INSTALACIONES EXISTENTE

5.1 Movilidad del muelle

Dado que el muelle está diseñado por tramos, los cuales son independientes entre sí debido a las juntas de dilatación, se detectó que, al momento de realizar la topografía del nuevo proyecto de refuerzo, se producían variaciones en ésta. Estas variaciones responden al movimiento del muelle debido al golpe de los barcos contra las defensas, el tirón de las espías en las bitas, las cargas que transitan por sobre la losa, el golpe de las olas contra los pilotes y otras posibles cargas.

Para solucionar este inconveniente, se generaron 2 puntos de referencia (PR) por paño de estructura. Con ello se trabajó cada paño en forma independiente, tomando puntos en coordenadas locales basadas en la ubicación de dichos PRs.

5.2 Complejidad en el acceso y montaje de piezas

Otro tema importante fue el de poder acceder por debajo de la losa para realizar los trabajos de refuerzo, y montaje de las piezas. El problema era no contar con una base estable de apoyo por debajo para montar las piezas. Razón por la cual se generaron pasillos de tránsito para el

personal y para el montaje de elementos menores. Se construyó un pasillo en toda la extensión del Sitio 3, el cual sirvió de columna vertebral para dar acceso a la mayor parte de los trabajos.

Figura 14: Pasillo principal en toda la extensión del Sitio 3

Fuente: Puerto Ventanas

Para poder bajar las platabandas, de 6 m de largo y 600 kg de peso, se construyó una estructura tipo puente, en donde se posicionaba la platabanda, se deslizaba por debajo de la losa y luego se desplazaba por la pasarela con la ayuda de un carro con ruedas.

Figura 15: Procedimiento de ingreso de platabandas

Fuente: Puerto Ventanas

Figura 16: Metodología de traslado de platabandas

Fuente: Puerto Ventanas

En el caso de las vigas, de 8 m de largo y 1 Ton de peso, éstas se lanzaron al agua con tambores amarrados tipo flotadores, para luego ser arrastradas por un bote y posicionadas mediante tecles.

Figura 17:Metodología para montaje de vigas

Fuente: Puerto Ventanas

5.3 Modificación e incorporación de elementos en el muelle

Con el paso de los años, se han realizado modificaciones a las estructuras e incorporado nuevos elementos, tales como líneas eléctricas, líneas de transferencia de carga, estanques, redes de agua y aire comprimido, muchos de los cuales no se tiene registro en planos. Si a esto se le suma el difícil acceso a las instalaciones por debajo de la losa, es muy complicado identificar las interferencias que se tendrán a la hora de montar.

Al momento de desarrollar los refuerzos y poder acceder a las zonas de trabajo se debieron realizar modificaciones en terreno para poder montar las piezas.

Figura 18: Modificación de puntal existente para incorporar platabanda nueva

Fuente: Puerto Ventanas

Figura 19: Interferencia eléctrica para montaje platabanda

Fuente: Puerto Ventanas

5.4 Deformaciones en estructuras existentes

Dada la antigüedad del muelle, y que éste se ha visto sometido a variados esfuerzos debido a condiciones tales como marejadas, viento, sismos, y las mismas cargas de operación y tránsito, se han detectado deformaciones en algunos elementos, los cuales no se habían podido prever debido al difícil acceso a dichas zonas, por encontrarse bajo la losa del muelle.

Debido a dichas deformaciones, se debió realizar modificaciones en terreno para el montaje de elementos. Estas modificaciones producen retraso en la obra y un gasto adicional de recursos.

Figura 20: Deformación en viga bajo la losa

Fuente: Puerto Ventanas

5.5 Modificaciones de cargas de diseño

Dado que la obra de refuerzo del muelle se abordó de forma independiente al proyecto del cargador de barcos, para ganar tiempo en el plazo de ejecución del conjunto, se realizó el diseño del refuerzo en una etapa temprana del diseño del cargador. Para ello se consideraron las cargas más desfavorables provistas por los oferentes en su etapa de pre ingeniería, tanto para el cargador como de la galería. Sin embargo, a medida que se fue desarrollando la ingeniería de detalle de dicho cargador, las cargas aumentaron a lo ofertado inicialmente, por lo que hubo que detener la fabricación de piezas y chequear nuevamente los diseños del refuerzo. Esto produjo un retraso en la fabricación y montaje del refuerzo del muelle.

Si bien, esto finalmente puede implicar un aumento de plazos y costos en la ejecución del proyecto, se ganó tiempo (alrededor de 1 año) en la ejecución del proyecto de cargador de barcos, dado que, de haber esperado a tener las cargas definitivas, hubiese implicado la espera del montaje del cargador hasta no contar con los refuerzos necesarios. Esto representa un ahorro importante para la empresa, puesto que el cargador se puede poner en funcionamiento antes. Se bien existen modificaciones y aumentos de peso que no se contemplaron en una etapa inicial, las variaciones no fueron críticas y no produjeron modificaciones cruciales al diseño, dado que se consideran las cargas de los pre diseños de los fabricantes, quienes cuentan con experiencia en el tema. Sin embargo, al no contar con los diseños finales, es recomendable mantener un cierto rango de tolerancia en los diseños.

5.6 Operación del muelle, embarque y descarga de productos

Otro desafió importante, es el trabajar con la operación propia del muelle. Si bien los trabajos de refuerzo son en su mayoría bajo la losa, en muchas ocasiones se debieron detener debido al atraque de barcos cercanos a la zona de trabajo, a operación de cargas combustibles o

peligrosas que imposibilitaban los trabajos en caliente, o al riesgo de trabajar en zonas cercanas a las bitas por posible corte de espías. Todo ello llevó a tener que detener las faenas, o replanificar las zonas de trabajo. Esto debido a que la programación naviera está sujeta a modificaciones debido a diversas condiciones, tanto climáticas como de necesidades de los propios clientes.

5.7 Marejadas inusuales

Si bien, dentro de la planificación de los trabajos se tenía considerado las posibles paralizaciones producto de marejadas, en este año se ha presentado una cantidad inusual de éstas, lo que ha afectado el normal avance de la obra.

En especial las marejadas ocurridas el 13 de julio del 2016, con olas de más de 4 m, produjeron importantes daños en las plataformas de trabajo, lo que produjo un retraso importante en la ejecución del proyecto y un costo elevado en la reposición de éstas.

Figura 21: Daño producto de las marejadas del día 13 de julio 2016

Fuente: Puerto Ventanas

6 CONCLUSIONES

- Al momento de realizar un proyecto, es relativamente más sencillo construir una obra nueva que reforzar una obra existente. Esto sobre todo cuando las estructuras existentes son muy antiguas, debido a que muchas veces se van realizando modificaciones con el paso del tiempo, muchas de las cuales no quedan registradas.

- Se debe trabajar de la mano con la empresa proyectista para dar solución a los posibles cambios de terreno, con el fin de no retrasar los plazos de ejecución del proyecto, conjuntamente con estar dispuesto a escuchar consejos de personal de terreno para poder implementar mejores soluciones constructivas.

- Es absolutamente relevante al momento de realizar nuevos diseños sobre instalaciones existentes, contar con los planos as-built para poder perfeccionar en la mayor medida posible la fabricación dimensional de las piezas a ejecutar.

- Al momento de realizar refuerzos es recomendable, en caso de no contar con las cargas finales, mantener un rango de tolerancia ante posibles modificaciones en los diseños definitivos.

- Al momento de implementar los trabajos en terreno, una de las mayores virtudes para poder sacar un proyecto de similares características adelante, es poder dar soluciones en terreno a diferencias de ingeniería, dada la irregularidad de las edificaciones antiguas y a las condiciones dinámicas de las instalaciones al ser sometidas a reiteradas cargas de naves y oleaje.

- Se debe tener un control acabado de calidad para garantizar que todos los cambios realizados en terreno, sean correctamente ejecutados. Se recomienda tener 100% supervisión de los trabajos.

- Se recomienda realizar trabajos programados acelerados para impedir que el clima invernal azote la construcción. En el caso de no poder realizarlo, se recomienda establecer estrategias de movilización de personal y equipos ante eventos meteorológicos. Se recomienda considerarlo siempre dentro de las contingencias.

- El dueño del proyecto, debe tener la sensibilidad y capacidad de poder asumir cambios de terreno, los cuales podrán sobre pasar los limites habituales de contingencia ocurridos en proyectos convencionales.

- Es recomendable invertir en accesos bajo la losa, que permitan el monitoreo y control del estado de las estructuras, así como también la mantención de estas.

- Otro de los desafíos, al modernizar sistemas existentes, es el cumplimiento de los programas de trabajo, esto debido a que se deben coordinar con la operación propia del muelle, la que es variable y depende de factores como el clima y las necesidades de los clientes, lo que hace difícil poder realizar una planificación extendida de los

trabajos. A esto se le deben sumar los factores climáticos, como lluvia, viento, marejadas y la complejidad de acceso y montaje de elementos de grandes dimensiones y peso.