

REPARACIÓN DEL MUELLE NORTE DEL PUERTO DE SAN NICOLÁS

Autores: Ing. Augusto José Leoni⁽¹⁾, Ing. Ramón Jaime Sandoval, Ing. Federico Espil.

⁽¹⁾Domicilio: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, UNLP, Calle 1 y 47 La Plata, (1900) Buenos Aires, Argentina

E-Mail: ajleoni@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo, se refiere a las conclusiones técnicas derivadas del Estudio de Ingeniería desarrollado en trabajos de campo, de laboratorio y de gabinete, con la finalidad de evaluar la estabilidad actual y futura del Sector Norte del Muelle de Cargas Generales del Puerto de San Nicolás, en una longitud de 250 metros.

Dicho muelle, consta de un frente de atraque total de 537 m y está conformado por estructuras metálicas y de hormigón armado. Sobre estas estructuras se habían realizado diversas investigaciones, en virtud de haberse detectado algunos desplazamientos de una zona de la pantalla de atraque, que además mostraba una cantidad importante de tensores de los anclajes cortados, en el extremo norte del mismo.

Ello derivó en la ejecución de estudios complementarios que permitieran evaluar la estabilidad actual del muelle y analizar las distintas alternativas posibles para la reparación de las obras actuales y/o la proyección de obras complementarias para la rehabilitación integral del muelle norte.

En el entendimiento que las soluciones adoptadas son novedosas y tienen que ver fundamentalmente con los aspectos geotécnicos, consideramos que se justifica plenamente este trabajo en el presente congreso.

ABSTRACT

The present report talks about the technical conclusions derived from the Study of Engineering developed in works of field, laboratory and cabinet, with the purpose of evaluating the present and future stability of the North Sector of the General Loading platform of the Port of San Nicholas, in a length of 250 meters.

This wharf, consists of a front of total dockage of 537 ms and is conformed by metallic structures and of reinforced concrete. On these structures diverse investigations had been made, by virtue of to have detected some displacements of a zone of the screen of dockage, that in addition showed an important amount of tensions of the cut anchorages, in the North end of he himself. It derived in the execution of complementary studies that allowed to evaluate him present stability of the wharf and to analyze the different possible alternatives for the repair from present works and/or the complementary work projection for the integral rehabilitation of the North wharf. In the understanding that the adopted solutions are novel and have to do fundamentally with the geotécnicos aspects, we considered that this work in the present congress is justified totally.

Palabras claves: Puerto, San Nicolás, micropilotes, anclajes.

ANTECEDENTES

El muelle norte del Puerto de San Nicolás se construyó entre los años 1970 y 1984 de acuerdo a un proyecto de la Dirección Nacional de Vías Navegables

Básicamente la obra consistió en la construcción de una “pantalla” de cilindros tangentes de hormigón armado, materializados por la hincada de una camisa perdida de acero de 1,00 m de diámetro y de 6 mm de espesor. De esta forma se conforma un recinto cerrado entre la pantalla de pilotes y la costa natural del río que posteriormente se procedió a refular con arena hasta alcanzar la cota de +3,00 m.

Sobre la arena refulada a cota +3,00 m se instalaron los pilotes y se procedió a construir la viga cajón que corona a la pantalla de pilotes, en el hormigón de esta viga se amuró un extremo de los tensores, mientras que el otro extremo se conectaba con la pantalla de anclaje construida en forma paralela a los pilotes y a una distancia de 34,00 metros.

Una vez instalados los tensores y construida la viga cajón, se procedió a completar el refulado hasta la cota de +6,00 m. Posteriormente se procedió a construir las fundaciones de las vías de los dos tipos de grúas que operan en el muelle, que tienen respectivamente trochas de 7,00 m y 10,00 m. Para ello se construyeron sendas zapatas corridas apoyadas sobre el relleno refulado a una profundidad de 1,00 m y conformadas por vigas de 0,75 m de altura y de 1,50 m de ancho, en contra de las recomendaciones geotécnicas que se habían pedido en su momento, tal como se muestra en el esquema de la figura N° 1.

Como es habitual en los puertos, en el muelle en cuestión, se manipulan y se trasladan diferentes tipos de carga como ser:

- a) Grúas pórtico que se desplazan sobre vigas carrileras.
- b) Grúas sobre neumáticos
- c) Transporte ferroviario
- d) Tiros de bitas de amarre
- e) Estiba de bultos
- f) Cargas a granel

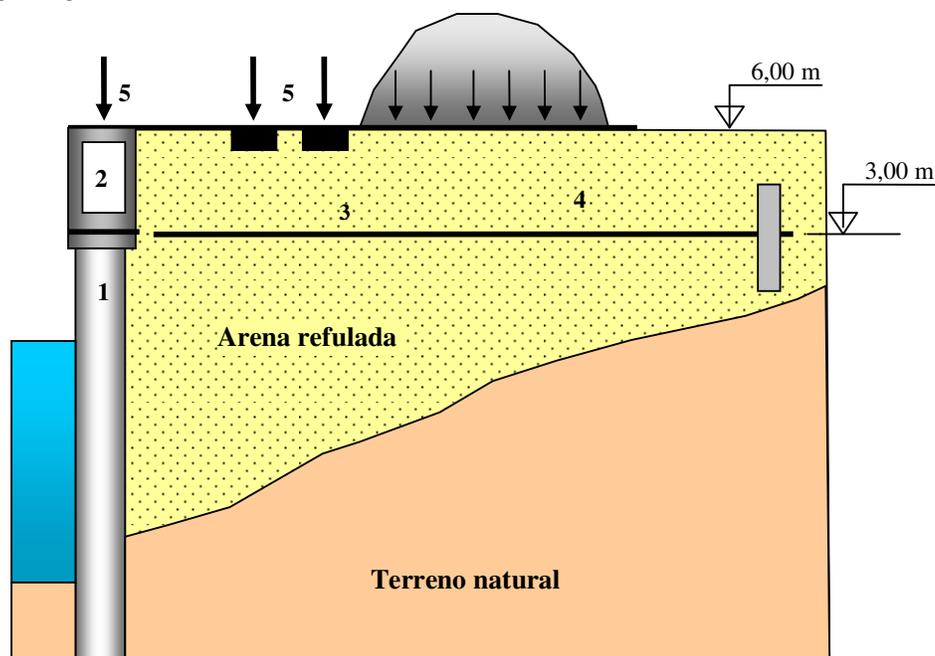


Figura N° 1: Esquema constructivo del muelle norte. 1) Cortina de pilotes tangentes 2) Viga cajón 3) Tensores metálicos 4) Placa de anclajes 5) Vías de las grúas



Figura N° 2: Fotografía del muelle al inicio de los trabajos se observa la pantalla de pilotes y la viga cajón en su coronamiento

En este caso se debe destacar que en el muelle norte del Puerto de san Nicolás, las cargas generales están conformadas mayoritariamente por productos de la acería vecina al mismo, con lo que es normal que se apile hasta 1 metro o más, de palanquilla de acero ($q > 80 \text{ kN/m}^2$)

El Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería fue convocado por el Ministerio de la Producción de la Provincia de Buenos Aires en al año 2002 a raíz de que el muelle en cuestión había quedado inoperable en virtud de que se habían detectado hundimientos del pavimento, se había desplazado parte de la pantalla y con ello la vía carrilera de la grúa pórtico del lado agua.



Agosto del año 2001



Septiembre del año 2002

Foto N° 3: Desplazamiento experimentado por la pantalla en un año

También se habían detectado que en la zona desplazada se había producido la rotura de la mayoría de los tensores de acero que soportan la pantalla de pilotes.

En virtud de estos hechos Se realizó una inspección de la zona del muelle con tensores fracturados, realizando un análisis en el lugar y retirando muestras de los tensores fracturados para estudiar en el Laboratorio de Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP),

la causas de la rotura. Debemos decir que los tensores estaban conformados por barra de acero de ϕ 32 mm, ubicados en paquetes de cuatro cada dos metros, con un recubrimiento de mortero y vaina de acero, con una longitud total de 34 metros.

Para el análisis de las fallas de los tensores entendemos que tuvo una importancia substancial, la fundación de los rieles de las grúas, que se apoyaron sobre una zapata continua, a su vez apoyada sobre una arena refulada que se ubica a solo 2,25 m por encima de los mismos. Esto hace sin dudas que los mismos se vean fuertemente solicitados por el bulbo de presiones que se genera con el movimiento de la grúa

Otra situación que se suma a lo ya expresado y que influye en la sollicitación transversal de los tensores, es el tipo de carga que se opera en el muelle en estudio, conformado por cargas a granel de minerales ferrosos, bobinas de alambres y de chapas estibadas en capas que generan presiones del orden de los 80 kN/m². Lógicamente estas cargas generan presiones aún mayores a la de los rieles de las grúas y también provocan el asentamiento de la arena refulada, que tiende a “arrastrar” a los tensores.

Todas estas sollicitaciones, asociadas a la corrosión ya mencionada de los tensores, se sucedieron a lo largo del tiempo y provocaron sin duda la rotura de los mismos.

Estudios realizados sobre las barras de acero

Sobre los testigos de los anclajes retirados se realizaron análisis químicos, macrográficos, fractográficos, metalográficos y ensayos de dureza.

De la totalidad de estos análisis podemos resumir las siguientes conclusiones:

- Las fracturas de las barras tensoras son atribuibles a fallas por corrosión y fatiga. Inicialmente se produjo corrosión por picado sobre la superficie del acero y luego, dado el efecto concentrador de tensiones de los “pits” de corrosión junto con la sollicitación de fatiga sobre el tensor, se produjo un desarrollo de fisuración por fatiga. En una de las barras, la fisuración por fatiga tuvo una propagación transversal de poca magnitud (alrededor de 1 mm), ya que prontamente ocurrió el colapso por fractura frágil debido a la baja tenacidad propia de este material. Figura N° 5
- Respecto del ataque corrosivo, personal de la Dirección del Puerto informó que en esa zona se descargan y acumulan a veces por varios días, fertilizantes constituidos por compuestos sulfurados, clorinados, etc. (sustancias que son muy corrosivas) que se filtran por el suelo. Además, se informó que cuando sube la marea las barras quedan inundadas por agua de río en contacto con el fertilizante que ha filtrado desde la superficie. Estas condiciones promueven fuertemente la corrosión del acero, toda vez que el recubrimiento protector del mismo está degradado y deficientemente montado sobre las barras, ya que no es concéntrico con las mismas. Figura N° 6



Figura N° 4: Recubrimiento de mortero contenido con una chapa de acero de las barras de anclaje



Figura N° 5: Esquema del inicio de la falla por un pig de corrosión y posterior rotura frágil de la barra da anclaje

Esto llevó a las autoridades del Puerto a realizar una inspección de la totalidad de los anclajes instalados a los que se podía acceder por su extremo del lado del agua (figura N° 6), ya que los mismos eran pasantes en el hormigón de la viga cajón. La inspección consistió en medir el largo de la barra con un medidor de espesores metálicos, que básicamente mide el tiempo en que una onda emitida viaja en el elemento metálico, rebota en la superficie opuesta y regresa al elemento emisor. En todos los casos en que la barra estaba cortada, la longitud medida era de 1,80 metros, siendo el ancho de la viga cajón en su parte inferior de 1,97 m.



Figura N° 6: Ubicación de los anclajes desde el lado agua de la viga cajón

De la inspección realizada en la zona de falla se detectó un alto porcentaje (75 %) de barras cortadas en el contacto entre la viga cajón y los anclajes, esto no quiere decir que las barras que no estaban cortadas en este punto, no lo estén en el empotramiento opuesto, es decir en la pantalla de anclaje, o en cualquier otro punto intermedio de los mismos.

La construcción de la viga cajón montada sobre la pantalla de pilotes tenía juntas constructivas cada 50 m por lo tanto y debido a la rigidez que le imponía la misma a la pantalla, el movimiento de la misma en caso de falla, debía efectuarse en forma monolítica en tramos de 50 m lineales. Esto fue lo que realmente ocurrió ya que el tramo de pantalla que falló, se desplazó hacia el agua debido a la acción del empuje activo y como el movimiento se produjo con una rotación en el plano horizontal de la viga cajón, no se pudo liberar de los tramos adyacentes y quedó trabada en la junta constructiva ubicada en cercanía de la bita N° 6. Es de destacar que el tramo de viga cajón que contiene a la bita N° 6 tiene el 80 % de los tensores sin cortar, más los correspondientes a los de las bitas, lo que hizo que el tramo adyacente soportara el apoyo del tramo que falló. Esto impidió la falla total del muelle, tal como se puede apreciar en el esquema de la figura N° 7 y en las fotos de la N° 8.

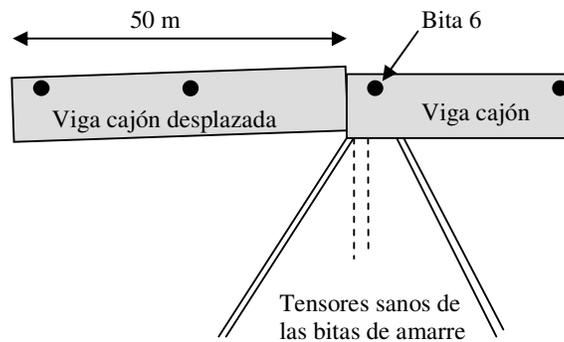


Figura N° 7: Esquema de desplazamiento de un tramo de la viga cajón



Figura N° 8: Fotos de la junta de la viga cajón con los tensores de la bita que la sostienen

Estudios de suelos

A través del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería (UNLP), se ejecutaron en el área del Muelle Norte, un total de 425 m de perforaciones de estudios de suelos a través de la ejecución de 20 perforaciones en tierra firme y bajo carga de agua.

De los resultados de los estudios ejecutados, observamos que en los sondeos ejecutados bajo carga de agua y en forma paralela a la pantalla de pilotes, más precisamente en la perforaciones N° 2 y 3, ubicadas a las progresivas de 125 m y 50 m respectivamente a partir del extremo norte, un manto de suelos arcillosos del tipo "CL", "Muy Blandos" que se extienden desde el nivel del lecho del río ubicado a cota -10,25 m hasta -17,50 m. Estos suelos, por su característica arcillosa, por su baja compacidad y por su condición de saturados, tienen parámetros de corte en los que la fricción es nula ($\phi = 0$) y los valores de la cohesión por lo general son menores a 2 tn/m^2 .

A partir de los niveles anteriores y en profundidad, se detectan arenas densas que se extienden hasta el límite investigado. Ver perfiles de las figuras N° 9 y 10, donde para cada perforación se destaca a la izquierda de la vertical, la clasificación unificada de cada muestra y a la derecha el valor correspondiente del ensayo de SPT.

Teniendo en cuenta lo anteriormente detallado y considerando que la pantalla de pilotes en esta zona, se extiende hasta la cota -22,15 m, tendríamos una ficha resistente de 5,90 m para una pantalla de 27 m de altura.

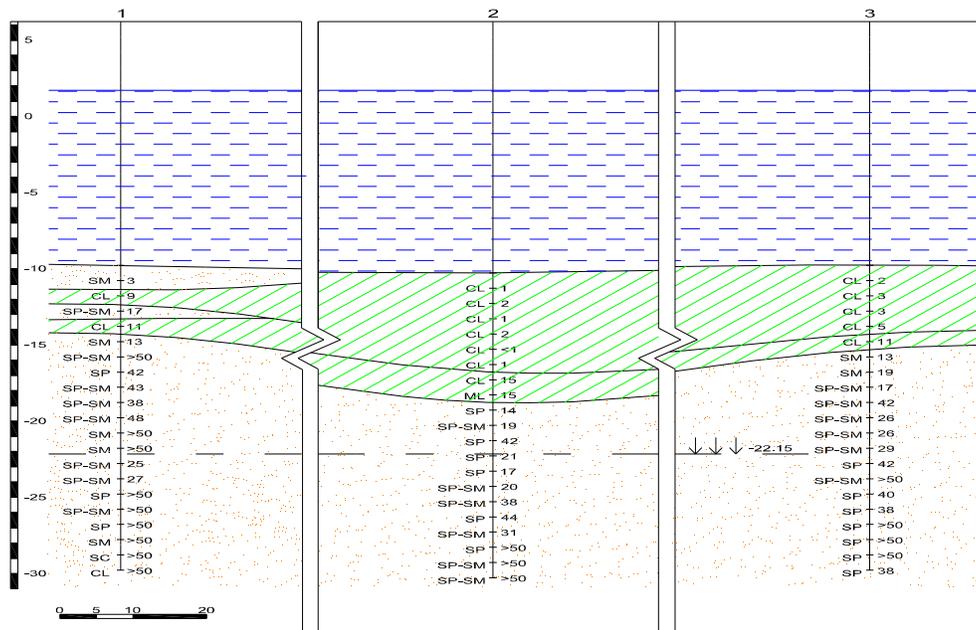


Figura N° 9: Perfil estratigráfico longitudinal paralelo a la pantalla del lado agua

Analizando la situación estructural de la pantalla a partir de los resultados expuestos, vemos que la presencia del manto arcillosos blando del lado donde se generan empujes pasivos, aumenta notablemente la luz de los pilotes considerados como una viga simplemente apoyada con lo cuál el momento máximo que deben resistir se incrementa notablemente, aún sin sobrecargas en el muelle. Pero si además a este esquema le adicionamos que la mayoría de los tensores se encuentran cortados, la estabilidad de la pantalla se ve seriamente comprometida.

Es evidente además que el tramo fallado que contiene a las bitas 4 y 5 se apoya en los adyacentes y estos últimos se ven recargados, con lo cuál de ocurrir una falla en cadena de los últimos tensores sanos que los sostienen, se produciría la falla y el derrumbe del muelle en coincidencia con la junta cercana a la bita N° 6.

Finamente se modeló teniendo en cuenta las siguientes etapas de los trabajos:

- a) Estado actual de la pantalla
- b) Colocación de los anclajes y postesado de los mismos
- c) Construcción de los cilindros de refuerzo en el tramo afectado por el perfil de la figura N° 10
- d) Aplicación de las cargas.

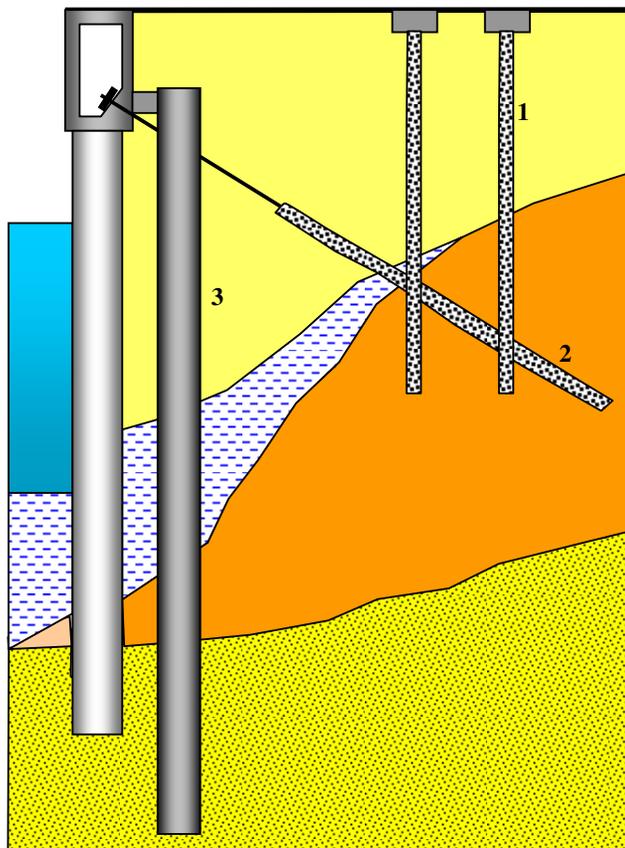


Figura N° 11: Esquema final de la remediación adoptada.

- 1) **Micropilotes inyectados para la fundación de las vigas carrileras**
- 2) **Anclajes inyectados para el soporte horizontal superior de la pantalla**
- 3) **Cilindros para soportar parte del empuje activo**

Las cargas consideradas fueron las siguientes:

Las vigas carrileras sustentan tanto al riel de la grúa GANZ de 264,7 kN, como el de la GANZ de 196 kN. La primera tiene una trocha de 10,00 metros, mientras que el de la segunda es de 7,00 m. En ambos casos, el riel de tierra adentro, se apoya sobre una zapata continua construida sobre el relleno de arena refulada y tiene las siguientes dimensiones:

Para el análisis de las cargas consideremos que cada pata de la grúa tiene seis (6) ruedas y transmiten una carga de $Q = 200$ kN en cada rueda, lo que nos da una carga lineal sobre el riel del orden de $Q_L = 241,2$ kN/m.

Teniendo en cuenta el tipo de operación del puerto y las cargas que en él se movilizan, hemos realizado distintas hipótesis de solicitaciones, con el objeto de poder aplicar en forma uniforme, los máximos valores de cargas, de manera tal de no aumentar las solicitaciones de los tensores y de mantener la separación entre los mismos en 2,00 metros.

Como conclusión se adopta finalmente prohibir el deposito de cargas aisladas sobre el muelle, en una franja de 12,00 m tomados desde el riel del lado agua de la grúa GANZ de 264,7 kN y a todo lo largo del

muelle y permitir la presencia de sobrecargas uniformemente distribuidas que podrán llegar hasta las 80 kN/m² a partir de esta distancia.

Micropilotes para las vigas carrileras:

Carga máxima sobre la viga: 245 kN/m

Ubicación: En la línea central de las vigas carrileras existentes a razón de 1 cada 2,00 m para la viga de 10,00 m de trocha y de 1 cada 2,30 m en la viga de 7,00 m de trocha.

Diámetro: 0,18 m

Armadura: Longitudinal 5 ϕ 25 mm, transversal 1 ϕ 10 cada 0,30 m

Longitud: 15 m

Carga admisible: 490 kN

Cantidad de micropilotes: 210 unidades

Sistema constructivo: IRS (Inyección Selectiva y Repetitiva) con manguitos cada 1,00 m de separación

Anclajes inyectados en la viga cajón:

Carga admisible de cada anclaje en el sentido del tensor: 1.030 kN

Separación de los tensores: Uno cada 2,50 m a lo largo del muelle

Diámetro: 0,16 m

Armadura: 7 cordones trenzados de 7 cables cada uno (un alma de ϕ 5,35 y seis cables de ϕ 5,20 mm)

Longitud total: 26 m (11 m de longitud libre y 15 m de longitud inyectada)

Inclinación con respecto a la horizontal: 30°

Cantidad de micropilotes: 100 unidades

Sistema constructivo: IRS (Inyección Selectiva y Repetitiva) con manguitos cada 1,00 m de separación

Cilindros de hormigón armado:

Ubicación de los cilindros: Entre progresivas +25,0 m y +150,0 m

Diámetro: 1,20 m

Longitud: 31,75 m (cota +3,75 m a cota -28,00 m)

Separación entre cilindros: uno cada 2,50 m en el sentido longitudinal del muelle y a 2,10 m del centro de los pilotes de la pantalla.

Cantidad de cilindros: 50

Anclajes Inyectados en la viga cajón

Al momento de dimensionar los anclajes inyectados se tuvo que resolver dos situaciones, una que tenía que ver con la prestación del anclaje en si y la otra, con el sistema constructivo.

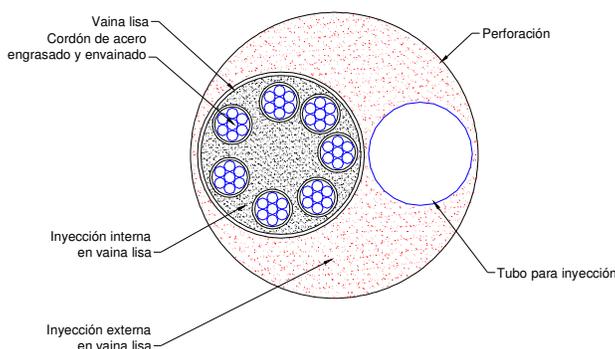


Figura N° 12: Corte transversal de los anclajes proyectados

La primera de estas situaciones se presenta por la gran deformación que experimentan los cables del anclaje de la zona libre de los mismos para brindar la carga máxima que resulta del cálculo de la estabilidad de la pantalla con las máximas sobrecargas.

La armadura de los anclajes proyectados está conformada como ya mencionamos por siete cordones dispuestos como se muestra en la figura N° 12. De tal forma que los mismos conforman una sección de armadura de $10,49 \text{ cm}^2$, teniendo en cuenta que el acero de estos cordones tiene una resistencia a la rotura de 261 kN para cada cordón, que la carga que produce una deformación del 1 % en los cordones es de 235 kN y que el módulo elástico se ubica en el orden de 19.320 kN/cm^2 . Se obtienen los siguientes valores límites:

Carga máxima de rotura del tensor: 1.827 kN

Carga al límite elástico: 1.645 kN

Carga de tracción admisible: $0,65 \times 1.645 \text{ kN} = 1.069 \text{ kN}$

La deformación del tramo libre de los tensores proyectados, que en nuestro caso era de 1100 cm, cuando reciba la carga admisible, será de 58 mm. Este valor de deformación de la pantalla para la carga admisible, es inadmisibles para el buen funcionamiento de las estructuras proyectadas, por lo tanto es necesaria la aplicación de una carga inicial de post tesado de los anclajes y la previsión de que la misma se mantenga en el tiempo, para evitar al alargamiento excesivo de la longitud libre de los anclajes al momento de recibir la carga admisible.

Por esta razón, a cada anclaje se le dio una carga inicial de post tesado de 500 kN y en cinco de ellos, se instalaron celdas de carga como la que se muestra en la figura N° 13, para verificar que durante la operación del muelle y durante la vida útil de las obras proyectadas se mantenga aplicada esta carga para reducir las deformaciones de los anclajes durante la operatoria del puerto.



Figura N° 13: Celda de carga colocada en los tensores instalados

Teniendo en cuenta que para una carga uniformemente repartida de 80 kN/m^2 sobre el muelle, ubicada más allá de los 2,00 m de la viga carrilera de 10,00 m de trocha, tenemos en el tensor una carga de 956 kN. Se verificó que la elongación adicional del tramo libre de los tensores es de:

$$\Delta L = \frac{(956 \text{ kN} - 500 \text{ kN}) \times 1100 \text{ cm}}{10,49 \text{ cm}^2 \times 19.320 \text{ kN/cm}^2} = 24,7 \text{ mm}$$

Con lo cuál vemos que se reduce al 43 % la deformación total del tensor.

Otra situación se presenta al abordar la etapa constructiva de los anclajes, ya que por la condición de inestabilidad que presenta la pantalla de pilotes, no es recomendable que sobre la viga cajón se apoyen o se “cuelguen” equipos para ejecutar las perforaciones.

Teniendo en cuenta ello, se recomendó que la máquina perforadora se apoyara en una plataforma con patas apoyadas directamente en el lecho del río, de forma que ésta operación no afecte la estabilidad de la pantalla, tal como se aprecia en la figura N° 14.



Figura N° 14: Ejecución de los anclajes desde la plataforma

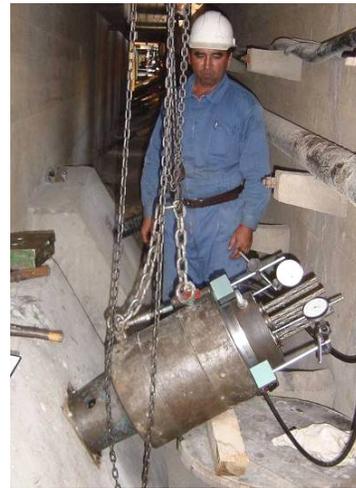


Figura N° 15: Ensayos de carga de los anclajes dentro de la viga cajón

Cilindros de refuerzo de la pantalla de pilotes

Los cilindros de refuerzos se construyeron entre las progresivas de +25 m y + 159 m tomando como referencia el extremo norte del muelle. La ubicación de los mismos se ubica en la parte interna de la pantalla de pilotes existentes, a una distancia de de 2,10 m de la misma y a de 2,50 m entre si, en todos los casos las distancias se tomaron entre ejes de pilotes.

Estos cilindros tienen un diámetro de 1,20 m, y están ubicados en profundidad entre las cotas + 4,00 m y la - 28,00 m con lo cuál se logra una largo total de los mismos de 32 m.

La parte superior de los cilindros se encontraban arriostrados entre si con una viga horizontal y además cada uno de ellos se vincula con la parte inferior de la viga cajón con un puntal de hormigón armado, como se muestra en las figuras N° 16 y 17.



Figura N° 16: Construcción de los cilindros de refuerzos de la pantalla



Figura N° 17: Cabezales de los cilindros de refuerzos y su vinculación con la viga cajón

Metodología y procedimiento de cálculo de las solicitaciones

La evaluación de la estabilidad de la pantalla con las soluciones planteadas, se utilizó un software de elementos finitos desarrollado por PLAXIS, en su versión profesional V-8.

Para evaluar la eficiencia de la solución estructural presentada, se seleccionó el perfil de suelos que se detalla en las figuras 8 y 9 que se adjunta a la presente y que se ubica en coincidencia con la bita N° 5 por entender que el mismo refleja la peor condición desde el punto de vista geotécnico.

Para que el procedimiento de cálculo refleje con la mayor exactitud posible las solicitaciones en la pantalla, se ha considerado y aplicado en los cálculos la secuencia constructiva, los hechos acaecidos y la aplicación de cargas que experimenta la pantalla existente desde su construcción hasta la terminación de la obra. Se modela también el deterioro sufrido por la pantalla debido al corte de los anclajes y la secuencia constructiva de las tareas de reparación que se programaron.

Para ello, se toma la obra de la pantalla actual de cilindros de 1,00 m de diámetro construidos con una separación de 1,15 m entre ejes y suponiendo que los anclajes originales materializados por barras de acero de 32 mm de diámetro en paquetes de cuatro cada dos metros con una tensión de fluencia del acero es de 921,6 Mpa, no tienen ningún defecto y que se encuentran todos en perfectas condiciones.

Las etapas de cálculo modeladas en esta etapa son:

Construcción de los pilotes, construcción del relleno ubicado tras los pilotes, aplicación de las cargas sobre el muelle y corte de tensores. A fin de simular la rotura de anclajes, se aumenta la separación de los mismos hasta lograr una estabilidad muy baja que se refleja en un valor del coeficiente de seguridad, cercano a la unidad, esto se logra dándole una separación a los paquetes de anclajes del orden de los 7,45 m y tomando como carga última de los anclajes existentes un valor de 2.965 kN, es decir, con el acero en la tensión de fluencia.

Durante estas etapas se supone un desnivel en el pelo de agua en el río con respecto al nivel de la napa de agua en el suelo de 3,00 m.

Cuando se modela la secuencia constructiva de los pilotes hasta el corte de los tensores, se aprecia el riesgo que se corre al producirse el corte de los tensores debido al cambio que se observa en el diagrama de momentos flectores de los pilotes, representado en la Figura N° 18. Este “desplazamiento” del diagrama se debe al efecto combinado del incremento del empuje pasivo en el empotramiento y a la disminución del empuje activo del sector del muelle.

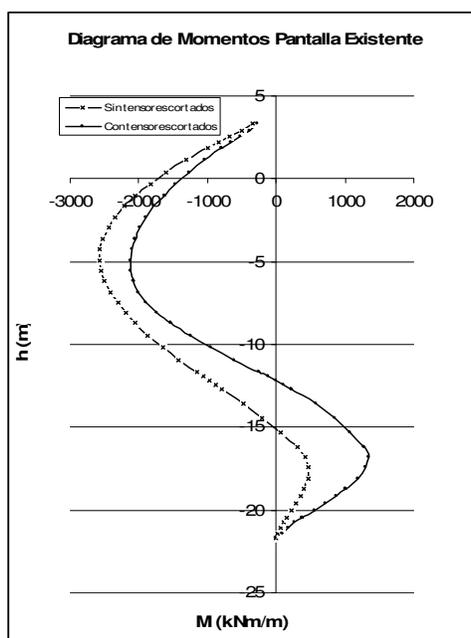


Figura N° 18: Solicitaciones en la pantalla tras la rotura de tensores. (Izquierda lado agua)

A fin de evitar que esta situación se agrave se adopta como solución para la reparación del muelle, la construcción en conjunto de una serie de tensores en la viga cajón y de una pantalla discontinua de pilotes que se ubican por detrás de los pilotes existentes.

Previo a la simulación de las etapas constructivas de los refuerzos, se simula el retiro de la carga sobre el muelle. El diagrama de solicitaciones de la pantalla tras la descarga se observa en el gráfico de la figura N° 19.

Tras el retiro de la carga en el muelle se simula la construcción de los nuevos anclajes, la construcción de la pantalla discontinua de pilotes de refuerzo y se le agrega la carga de post tensado a los cables de los anclajes nuevos, de manera que cada anclaje tome una carga de 500 kN. Finalmente se aplican las sobrecargas sobre el muelle.

Tras la resolución del modelo se observa que las solicitaciones en la pantalla de pilotes existente y en el tramo inferior de los mismos, permanece sin mayores modificaciones desde la etapa en que se produce la descarga del muelle hasta la etapa final del cálculo, lo que indica que tras la construcción de los refuerzos, un incremento en las cargas sobre el muelle no provoca un aumento del empuje pasivo en el frente de la pantalla debido a la colaboración de los refuerzos, tal como se muestra en la figura N° 20.

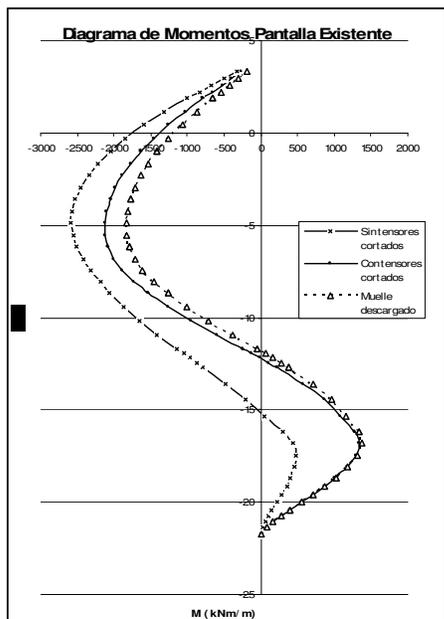


Figura N° 19: Solicitaciones en la pantalla tras la descarga. (Izquierda lado agua)

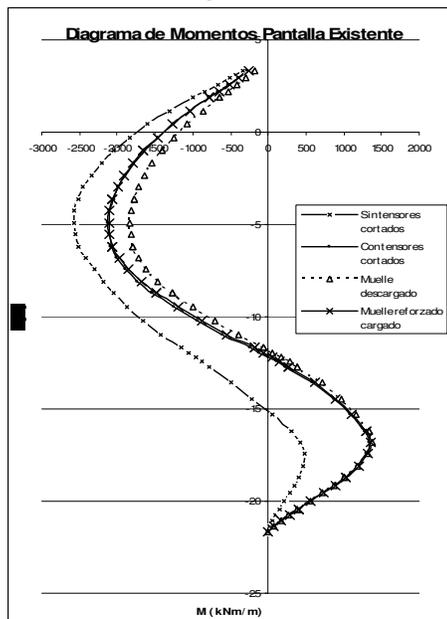


Figura N° 20: Solicitaciones en la pantalla tras la reparación con la sobrecarga. (Izquierda lado agua)

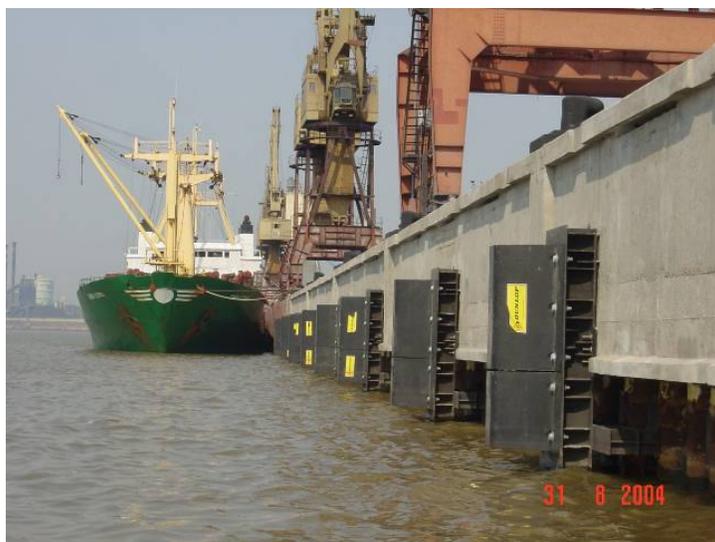


Figura N° 21: Muelle terminado

Conclusiones finales

Como resumen final, podemos decir que el presente trabajo muestra claramente las consecuencias de ejecutar obras civiles de envergadura sin un estudio geotécnico acorde, sobre el que se apoye el proyecto de las estructuras que lo conforman.

Por otra parte muestra una solución técnica, económica e ingeniosa, que utiliza en su totalidad a las estructuras existentes y construye los refuerzos necesarios con un mínimo de roturas de la infraestructura existente.