

ALCONPAT/08

III Congreso Uruguayo y II Congreso Regional de
GESTIÓN DE LA CALIDAD, PATOLOGÍA y RECUPERACIÓN de la CONSTRUCCIÓN
3 al 5 de diciembre de 2008 / LATU / Auditorio y Hall / Montevideo - Uruguay

CHOQUE DEL BUQUE “ROSITA” EN EL MUELLE DE FRAY BENTOS, AÑO 2000. ENSAYOS DE DIAGNÓSTICO Y REPARACIONES

Á. Leez¹, M.N. Pereyra²

RESUMEN

El presente trabajo informa sobre las tareas de diagnóstico realizadas para determinar el estado del muelle de Fray Bentos, luego del choque de la embarcación “Rosita” en el año 2000, así como de los trabajos de reparación realizados en el mismo muelle.

El impacto del buque destruyó localmente la superestructura del muelle así como varios pilotes ubicados en la cercanías de la zona donde se produjo el impacto y además, provocó una roto-traslación del muelle, afectando de esta manera la gran mayoría de los pilotes (64 pilotes) y ocasionando el estallido de parte de la junta entre tramos.

La DNH realizó un proyecto de reparación, que incluía la recuperación de muchos de los pilotes por medio de inyecciones con epoxis, la demolición de la parte más afectada incluyendo el retiro de los pilotes que habían resultado totalmente destruidos, y la construcción en esa zona de un dolphin de amarre integrado al propio tramo del muelle.

Se realizó un estudio por parte del LCCF (Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones) mediante el ensayo sónico de integridad de pilotes, para determinar la presencia de posibles fisuras bajo el nivel de agua o del suelo y que por lo tanto no se percibían a simple vista.

A partir de los resultados del ensayo de integridad, se establecen 3 grupos de riesgo: Pilotes de bajo riesgo (18), Pilotes de riesgo intermedio (35 pilotes) y Pilotes de alto riesgo (5). Se definen medidas a tomar para cada grupo de pilotes.

Palabras Clave: Impacto del buque, diagnóstico, SIT, Ensayo de carga, Reparaciones, Inyecciones

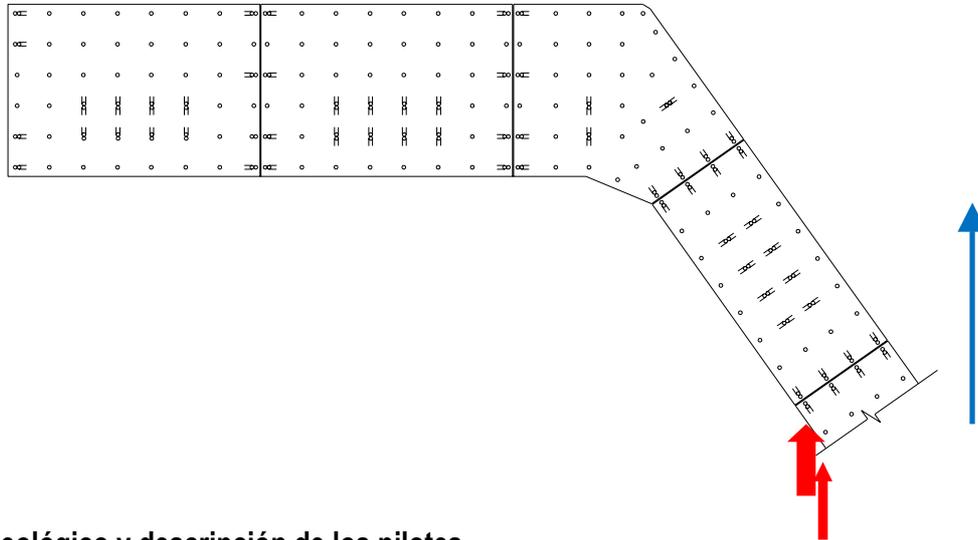
¹ Stiler S.A.

² Departamento de Construcción, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería

SITUACIÓN PREVIA AL CHOQUE DEL BUQUE

El muelle en el Puerto de Fray Bentos fue construido en el año 1930. Consiste en módulos consecutivos de aproximadamente 50 m de largo apoyados sobre pilotes de hormigón armado, verticales e inclinados, de 75 cm de diámetro. La estructura está diseñada para una carga de 2500 kg/m² y es utilizada para la carga y descarga de diversas mercaderías.

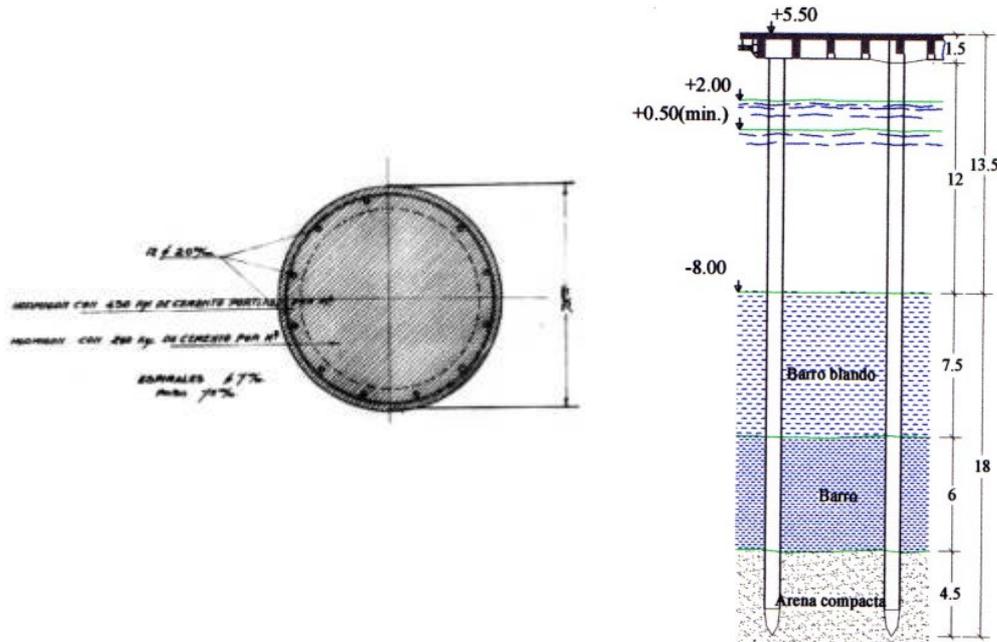
Figura 1. Planta del muelle



Perfil geológico y descripción de los pilotes

Los pilotes existentes constan de una camisa anular de hormigón premoldeado de alta resistencia para la época en que fueron construidos, con un contenido de cemento de 450 kg/m³, con armadura vertical, y un núcleo de hormigón de bajo contenido de cemento, 260 kg/m³, sin armadura y colado posteriormente (Figura 2). El diámetro de los mismos es de aproximadamente 0.75 m y su longitud cercana a los 30 m, debiendo estar empotrados en una arenisca (probablemente formación Asencio), de acuerdo a la información obtenida de la Dirección Nacional de Hidrografía del MTOP (Figura 2).

Figura 2. Datos obtenidos de la Dirección Nacional de Hidrografía



Los datos sobre el perfil geotécnico: lecho del río, espesor de la capa de barro, espesor de la arenisca, así como la longitud de los pilotes y, por tanto, su empotramiento en la arenisca

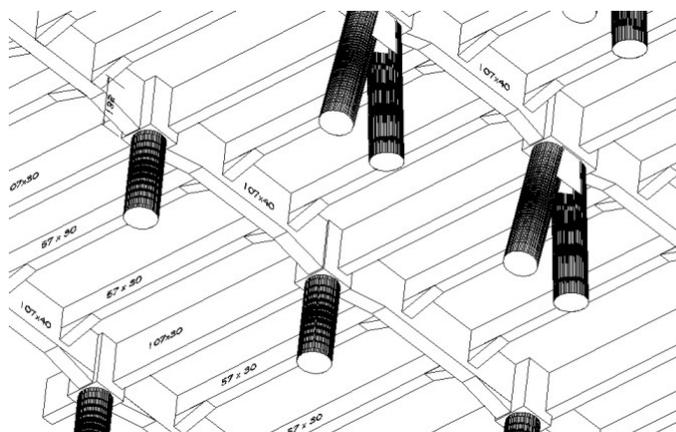
son tan solo aproximados y deben ser tomados como una referencia y no como datos fijos del problema de estudio.

Del total de pilotes, la gran mayoría son verticales (40 en el módulo que sufrió el impacto), e individualmente unidos a las vigas que componen un emparrillado sobre el que apoya la losa de circulación del muelle. Existen también pilotes inclinados (24 en el módulo afectado por el impacto) dispuestos en pareja (en algunos casos con un pilote vertical). Por lo tanto la distribución de pilotes no es uniforme ni simétrica, por lo que no puede esperarse un comportamiento igual de todos los pilotes frente al impacto del buque.

Superestructura

La estructura superior consiste en un entramado de vigas compuesto por vigas transversales de 1.20 x 0.40 m de sección y vigas longitudinales de 1.20 x 0.30 m de sección, las cuales forman una malla de aproximadamente 6,00 x 6,00 m. Dicha malla es complementada por vigas menores intermedias de 0.70 x 0.30 dispuestas longitudinalmente (Figura 3). Este entramado está culminado con una losa estructural de 0.15 m de espesor y un sobre piso hormigón de 0.12 m sin armadura.

Figura 3. Esquema del entramado de vigas de la estructura superior



EL ACCIDENTE

Descripción

El día 24 de enero de 1999 el buque mercante "Rosita" (de 40000 Toneladas de desplazamiento) embiste frontalmente el muelle en su extremo NW ocasionando daños que afectaron seriamente la estructura del último segmento, cuando se desplazaba aproximadamente a 6 nudos.

Este barco posee un bulbo que sobresale en la parte inferior de la proa, aproximadamente al nivel de la línea de flotación, en consecuencia, por debajo de la altura donde trabajan las defensas del muelle. Esto hizo que el comienzo de la colisión fuera el choque de dicho bulbo del barco directamente con los pilotes de ese sector antes que la proa embistiera la superestructura destruyendo localmente la losa y la viga más próxima al borde.

En la siguiente fotografía (Foto 1) se observa la completa demolición de uno de los pilotes de la esquina, con su armadura a la vista. El pilote simple de la izquierda, esta completamente quebrado en su unión con el cabezal. También se aprecia la destrucción de la primera viga de 1.20 m de altura y 0.30 de ancho.

Relevamiento y evaluación de los daños

El accidente afectó solamente al último módulo del muelle, cuyas dimensiones en planta son de 34 m de ancho por 50 de largo, el cual es soportado por un conjunto de 64 pilotes de 0.75 m de diámetro, dispuestos según se indicó anteriormente.

Podemos diferenciar dos tipos de daños provocados por la colisión:

- Destrucción total de los tres pilotes y de la superestructura localizada en el sector del impacto.
- Daños estructurales de todo el conjunto producidos por el esfuerzo horizontal extraordinario al que fue sometido el muelle.

En el primero de los casos, la sola inspección ocular basta para comprobar la dimensión del daño. Los pilotes del sector del impacto quedaron completamente destruidos lo que hizo imposible su recuperación, como puede apreciarse en la Foto 1.

Foto 1. Estado del muelle tras la colisión del buque

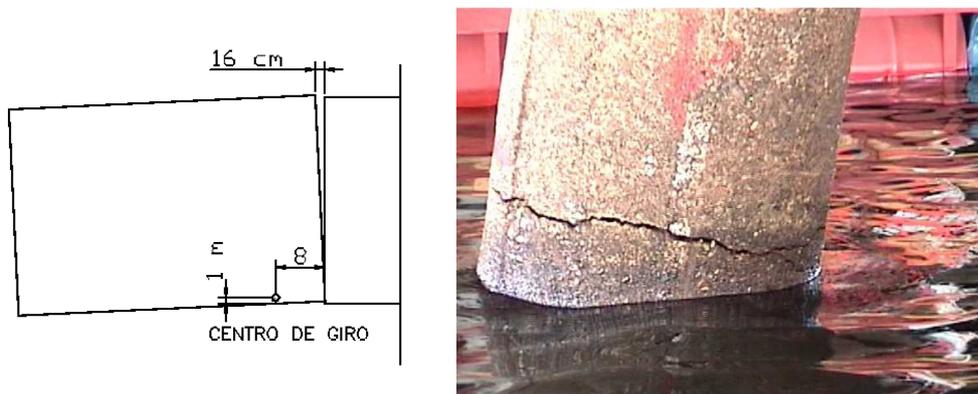


En el segundo caso, la evaluación de los daños requiere de un estudio más detallado.

La estructura en su conjunto sufrió una roto traslación, que en primera instancia no afectó la integridad de la superestructura pero sí los nudos que la vinculan con los pilotes. En la gran mayoría de los casos se produjeron fisuras y grietas en los pilotes en las proximidades del cabezal que los vincula a la losa; en otros, las fisuras se extendieron al propio cabezal e incluso a las vigas empotradas en éste. En la Figura 4, se aprecia un esquema de la roto traslación mencionada y una foto de las grietas producidas en los pilotes debido a la misma.

Los daños mencionados anteriormente pudieron ser detectados y evaluados por simple inspección visual, debido a que los mismos se encuentran por encima del nivel del agua. Por debajo del nivel del agua y en una primera instancia, se realizó una inspección del fuste de los pilotes con buzos, los que no pudieron detectar ninguna anomalía. Ésta fue simplemente una inspección al tacto, ya que el agua de río de color oscuro y de nula transparencia, impidió la realización de una inspección visual, aún en la zona más próxima a la superficie del agua.

Figura 4. Roto traslación del muelle y daños causados en los pilotes



Con posterioridad al inicio de los trabajos de reparación, se decide reconsiderar el estudio de la integridad de los pilotes por debajo del nivel del agua mediante un método que fuera más allá de la inspección ocular o al tacto. Es así que, en coordinación con el Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones dependiente de la Facultad de Ingeniería, se decidió realizar el estudio de los pilotes por el método sónico de integridad (SIT), método basado en la teoría de la ecuación de la onda.

Se tomaron señales en el pilote N° 3, que estaba completamente cortado en unos 3 m en su parte superior, con el fin de regular la velocidad de propagación de la onda en el hormigón para el ensayo de integridad. Adicionalmente se utilizó dicho trozo de pilote para comparar las señales que se obtenían golpeando y ubicando el sensor en la corona exterior (que es donde se ubican las muescas en las que se realizaron los ensayos de integridad) y las señales obtenidas golpeando y ubicando el sensor en el núcleo del pilote como se hace habitualmente. Se obtuvieron señales claras en ambos casos y no se notaron mayores diferencias entre las mismas.

Interpretación de resultados:

Los pilotes fueron agrupados en tres grandes grupos de riesgo, clasificados únicamente en base a criterios derivados del ensayo sónico de integridad.

Tipo a) Pilotes de bajo riesgo: Resultaron muy pocos pilotes que se pueden considerar sin problemas y con señales nítidas (solamente 18 de los 64 existentes en el módulo ensayado). Estos pilotes presentaron posibles reducciones de sección o fisuras de importancia aparentemente menor de acuerdo al SIT.

Tipo b) Pilotes de riesgo intermedio: 35 pilotes fueron clasificados en esta categoría. Las señales de algunos de estos pilotes manifestaron una reducción de importancia intermedia en su sección, mientras que otros presentan reducciones importantes sin que se aprecie claramente la repetición característica de los pilotes cortados.

Tipo c) Pilotes de alto riesgo: Dentro de esta categoría fueron clasificados solamente 5 pilotes del total ensayados en esta primera instancia. Estos pilotes presentan señales que indican la muy probable interrupción de la sección, debido a la repetición de la señal a partir de una profundidad determinada.

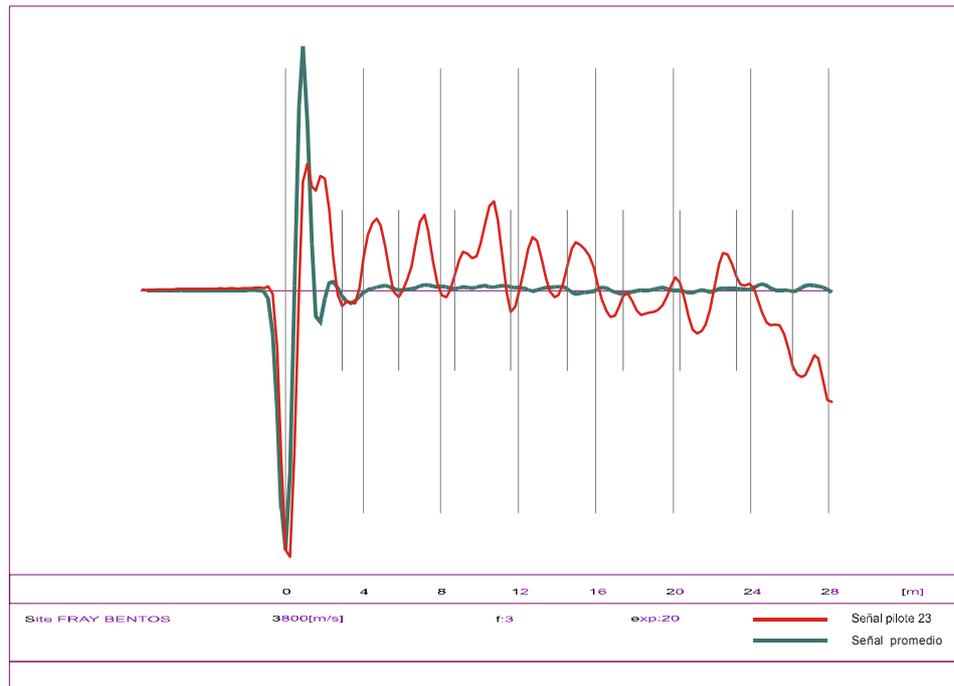
Según la distribución de los pilotes en el muelle, no fue posible definir una zona de pilotes con defectos, ni una tendencia que marque los pilotes más afectados. Es posible que las diferencias de longitudes de empotramiento en los distintos pilotes hayan sido más significativas en la consecuencia de su grado de afectación frente al impacto que la importancia misma del desplazamiento de cada pilote individual. Es decir, que si bien hay pilotes que están alejados del centro de rotación de la losa, supuesta rígida en su plano, en algunos casos, éstos estarían apenas apoyados en al arenisca resistente y por lo tanto se desplazarían con el muelle sin ofrecer una resistencia rígida, comportándose el suelo en este caso como un amortiguador. Esto explica el caso de pilotes muy cercanos a la zona de impacto, que según el ensayo de integridad no presentan reducciones de importancia.

La longitud de los pilotes, según el ensayo de integridad, se corresponde con la longitud real según los datos obtenidos de la Dirección Nacional de Hidrografía del MTOP. Dichas longitudes estimadas son del orden, en todos los casos, de los 25 m, siendo la mínima longitud registrada de 22 m y la máxima próxima a los 29 m.

Como verificación se realizó el mismo ensayo en los pilotes del módulo adyacente no dañado. Las señales en este caso confirmaron el buen estado de los pilotes agregando confiabilidad a los resultados obtenidos de los pilotes del muelle afectado por el impacto.

En la figura 5 se presenta la señal perteneciente a un pilote clasificado de alto riesgo, en comparación con la señal promedio de los pilotes del segundo tramo del muelle considerados sin defectos a partir del ensayo de integridad.

Figura 5. Comparación de un pilote de “alto riesgo” con el promedio de los pilotes no dañados del segundo tramo del muelle



PROYECTO DE REPARACIÓN

A continuación se presenta el conjunto de trabajos que se realizaron para devolver al muelle su capacidad de trabajo, desarrollando algunos de ellos:

- A. Reconponer la integridad estructural de los pilotes fisurados y agrietados, pertenecientes al grupo de bajo riesgo según el SIT, mediante la inyección de resinas epoxi de muy baja viscosidad.
- B. Construcción de un refuerzo estructural (cabezal de amarre) sobre 15 pilotes nuevos en la esquina donde se produjo el impacto, capaz de absorber los esfuerzos que suponen las maniobras de atraque y amarre de los barcos en ese sector.
- C. Ejecución de una llave de conexión entre el módulo dañado y el adyacente, capaz de transferirle a este último, esfuerzos horizontales normales al eje, colaborando de esa forma, a soportar los esfuerzos de atraque de las embarcaciones.
- D. Ejecución de refuerzos estructurales para la colocación de nuevas defensas.
- E. Reconponer la junta con el módulo vecino realineando los rieles de la grúa y vagones de carga
- F. Los pilotes del grupo C, (5 pilotes) se decide sustituirlos por dos pilotes cada uno y una viga superior que se une a las preexistentes de la superestructura del muelle, el hecho de que un pilote se sustituya por 2, surge como necesidad por la geometría de la estructura..

Para los pilotes del grupo B, se decide realizar una prueba de carga, para determinar su capacidad resistente. Se estudian los resultados de los ensayos y se escoge el pilote cuyos ensayos han dado peores resultados.

Tratamientos de fisuras y grietas en los pilotes

Las fisuras y grietas de los pilotes, ubicadas sobre el nivel del agua, fueron tratadas mediante la inyección de resinas epoxi para su sellado, reconstituyendo de esta manera la

estructura monolítica de los pilotes. Las fisuras bajo agua, tanto de los pilotes de bajo riesgo como los de riesgo intermedio, no fueron reparadas ya que al estar sumergidas el proceso de corrosión que pudieran inducir en la armadura, sería extremadamente lento, al no estar en contacto con oxígeno y por otra parte los ensayos de integridad o la prueba de carga descrita más adelante indican que no existen consecuencias estructurales.

Las inyecciones fueron realizadas de la siguiente manera: en una primera instancia se procedió al ensanchamiento de la fisura con amoladora y disco apropiado, luego de limpiada de polvo la zona de la fisura, se colocaron los tubos de inyección y se selló la fisura con una resina epoxi que “calafateó” la misma. Posteriormente se procedió a inyectar la fisura con la resina epoxi de baja viscosidad de a un tubo a la vez, hasta observar la aparición de la resina por alguno de los tubos contiguos.

Durante la ejecución del trabajo, el recipiente que contenía la resina de dos componentes preparada en el depósito de la bomba de inyección, se mantenía dentro de otro recipiente con hielo, de forma de asegurar que la resina no perdiera fluidez.

Finalmente se procedió a dejar la superficie del hormigón prolija, retirando la resina que se había utilizado para e calafatear la fisura.

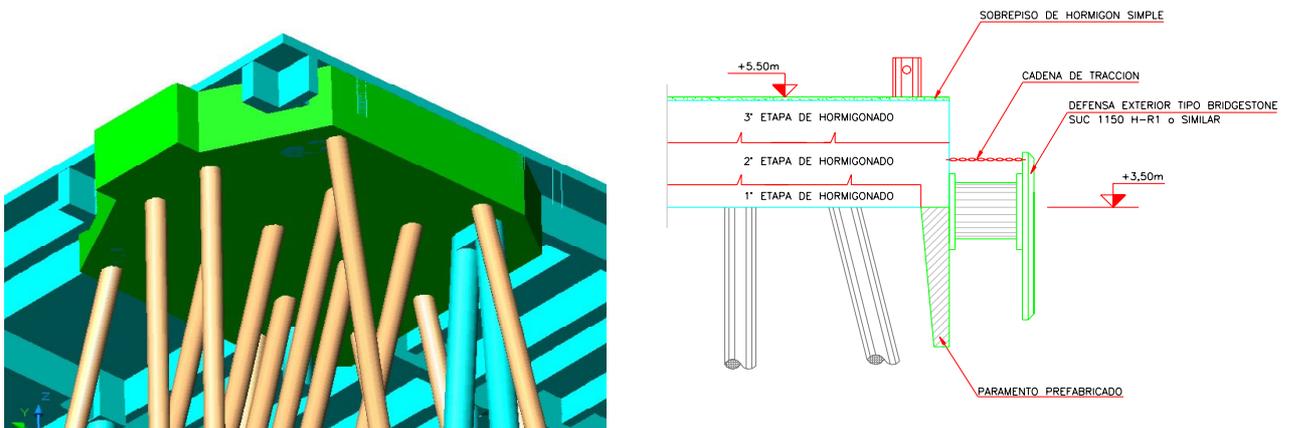
Foto 2. Tratamiento de las fisuras con resinas epoxi



Construcción del cabezal de amarre

Se trata de una construcción proyectada independientemente del resto de la estructura del muelle. Está diseñada para absorber, por sí sola, los esfuerzos de atraque y amarre de las embarcaciones. Consiste en una losa de hormigón de 1,90 m de espesor sobre 15 pilotes nuevos de 55 cm de diámetro, verticales e inclinados. Los pilotes están diseñados para resistir 40 toneladas de tracción y 110 toneladas de compresión. Los mismos constan de una camisa de acero de 9 mm de espesor, posteriormente llenos de hormigón armado inmerso. La Figura 6 muestra un esquema del cabezal proyectado.

Figura 6. Esquema del cabezal de amarre proyectado



El hormigonado del cabezal debió realizarse en diferentes etapas, debido a las grandes dimensiones del mismo. El volumen total de hormigón que conforma el cabezal es de más de 300 m³. Por este motivo el llenado se realizó en 3 etapas, las cuales se indican en la Figura 6. El volumen de hormigón de cada etapa se calculó de manera tal que el calor de hidratación generado por el mismo no produjera fisuras por excesivos gradientes térmicos (se realizaron los llenados de forma tal que el máximo gradiente térmico no superara los 20C). En la figura 6, se puede observar además la nueva defensa que se colocó en el muelle.

Reconstrucción de la junta entre losas, realineación de rieles y otros elementos accesorios

Debido al desplazamiento sufrido por el módulo dañado, se hizo necesaria la reconstrucción de la junta entre ambos, así como la realineación de los rieles para devolverles su operabilidad. Se incorporaron además al muelle, nuevas defensas y bitas de amarre.

Ensayo de carga de un pilote considerado de riesgo intermedio

El ensayo de carga de un pilote puede considerarse de calibración, permitiendo realizar una estimación de la capacidad de carga de los pilotes considerados de riesgo intermedio, según el ensayo de integridad SIT.

Dispositivo de ensayo

La estructura utilizada para el ensayo consistió en la construcción de 2 pilotes y un cabezal o viga por debajo del tablero, de manera tal de poder cortar el pilote a ensayar. El gato hidráulico, utilizado para dar la carga en el ensayo, fue colocado entre el cabezal y la cara superior del pilote cortado. Los nuevos pilotes construidos resultan traccionados durante el ensayo y posteriormente, en servicio, comprimidos, sustituyendo el pilote de ensayo, desviando las cargas a los nuevos pilotes por medio del cabezal. Por tal motivo el cabezal debe ser armado superiormente para resistir los esfuerzos sufridos durante el ensayo, e inferiormente para los esfuerzos de servicio. Los pilotes de reacción fueron dimensionados para resistir 60t a la tracción durante el ensayo y 100t a la compresión, sustituyendo el pilote ensayado en servicio. El resto de carga de reacción para el ensayo estaría dada por la sobrecarga existente de la losa de circulación del muelle. La Foto 3 muestra el dispositivo de ensayo.

Foto 3. Dispositivo de ensayo y registro de los desplazamientos para el ensayo de carga del pilote



El registro de los desplazamientos del pilote ensayado, fue realizado mediante cuatro flexímetros, cada uno de los cuales cuenta con un recorrido máximo de 50 mm y una apreciación de 0.01 mm. Habitualmente los flexímetros son colocados diametralmente opuestos en el nivel superior del pilote. En este caso, el pilote de ensayo debió ser independizado del resto de la estructura del muelle, por lo que fue cortado a un nivel de difícil acceso desde la balsa donde se encontraba el personal. Por tal motivo, se diseñó un

sistema especial para la colocación de los flexímetros, de manera tal que las lecturas pudieran ser hechas desde la balsa. El mismo consiste en brazos metálicos, solidarios al pilote, que se abren desde la parte superior del mismo. Sobre ellos se apoyan los flexímetros, cuya referencia fija son barras solidarias a la losa de circulación del muelle en puntos lo mas alejados posibles de la viga de reacción, de forma tal que no tuvieran interferencia con los movimientos provocados por el ensayo mismo. Dicho sistema se muestra en la Foto 3.

El ensayo fue realizado siguiendo la norma Brasileña MB-3472: Estacas – Prova de carga estática. El procedimiento utilizado en la ejecución de los ensayos se resume a continuación:

La carga máxima de ensayo propuesta se estableció en 200 toneladas. Dicha carga es alcanzada en incrementos de 40 toneladas. Cada intervalo de carga intermedio se mantiene hasta la estabilización de los desplazamientos, como mínimo 30 minutos y como máximo 2 horas. (Se define estabilización de desplazamientos cuando se verifica una tasa menor o igual a 0.25 mm/h). La carga máxima de ensayo es mantenida hasta la estabilización de los desplazamientos, como mínimo 12 horas y como máximo 24 horas. La descarga se realiza en cuatro escalones aproximadamente iguales, cada uno de los cuales se mantiene hasta la estabilización de los desplazamientos, como mínimo 30 minutos y como máximo 1 hora. En cada intervalo intermedio, y según corresponda, se toman registros de carga y desplazamientos a los 2, 4, 8, 15, 30, 60 y 120 minutos. En los mantenimientos de carga, luego de las 2 horas, se realizan las lecturas cada una hora hasta el final del mantenimiento.

Observaciones particulares

Se realizaron 2 ciclos de carga, hasta 200 Ton. Los tiempos de estabilización en los intervalos intermedios fueron en todos los casos de 30 minutos, aunque se tomaron intervalos generalmente de 1 hora, debido a la influencia de la inestabilidad de la carga en la estabilización de los desplazamientos. El mantenimiento de la carga máxima del ensayo se prolongó durante 10 horas. No fue posible alcanzar las 12 horas, debido a que el nivel del agua del río subió alcanzando el sistema de referencia en el cual se apoyaban los flexímetros.

1er ciclo de carga: El primer ciclo de carga tiene un comportamiento prácticamente lineal elástico, observándose en carga y descarga que se sigue la misma recta:

$$\delta \text{ (mm)} = 0.0041 q \text{ (kN)}.$$

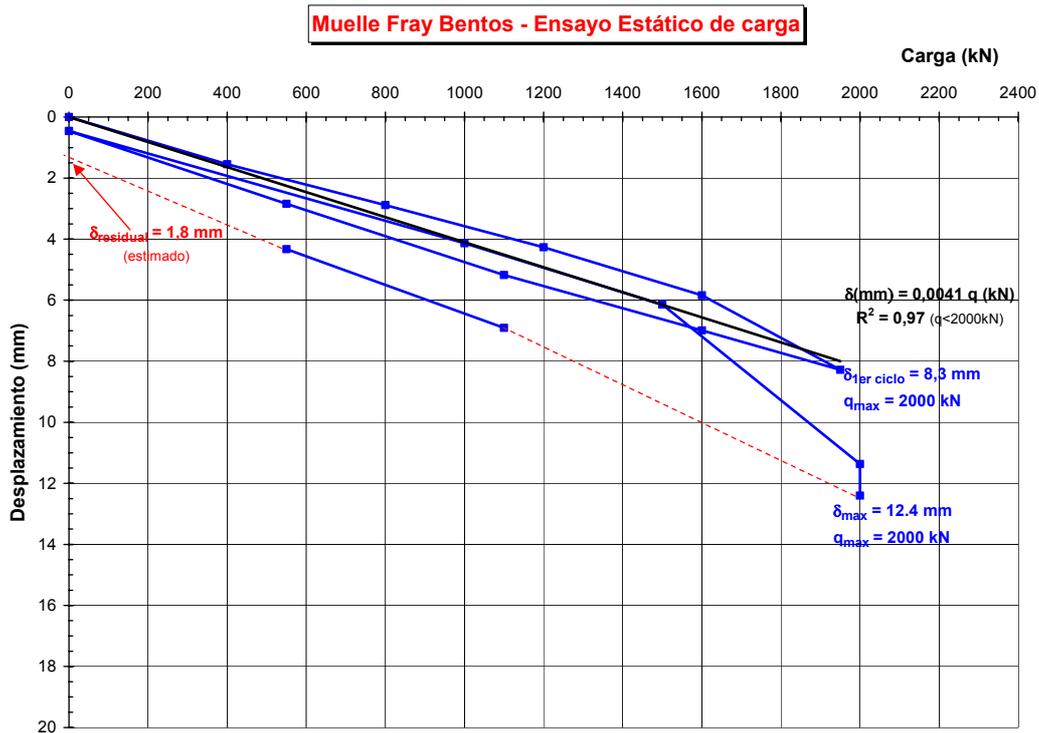
El coeficiente de correlación encontrado para el modelo lineal que representa carga y descarga es de 0.97. El desplazamiento máximo obtenido, bajo una carga de 195 toneladas fue 8.3 mm. El desplazamiento remanente, encontrado al finalizar la descarga del primer ciclo, fue 0.46 mm. (Figura 7)

2do ciclo de carga: Durante la carga de este ciclo, no fue tomada en cuenta la estabilización de los desplazamientos, en los intervalos intermedios. La descarga en este segundo ciclo sigue una curva no lineal. No se midieron los valores de estabilización finales pero se estimó que el desplazamiento residual es inferior a 1.8 mm. El desplazamiento máximo obtenido para la carga máxima de ensayo de 200 toneladas fue 12.4 mm. (Figura 7)

El 1er ciclo de carga muestra que hasta 195 toneladas el comportamiento es prácticamente lineal reversible (elástico) con desplazamientos totales muy bajos para la longitud de pilote considerada, del orden del desplazamiento elástico del pilote considerado como columna.

Cabe resaltar, que el pilote ensayado podía ser desplazado horizontalmente con relativa facilidad aplicando en forma manual cargas en su cabeza, por lo que consideramos que trabaja como simplemente apoyado en la punta, no estando empotrado en el suelo de formación Fray Bentos, como se indicó anteriormente.

Figura 7. Gráfico Carga - Desplazamiento obtenido



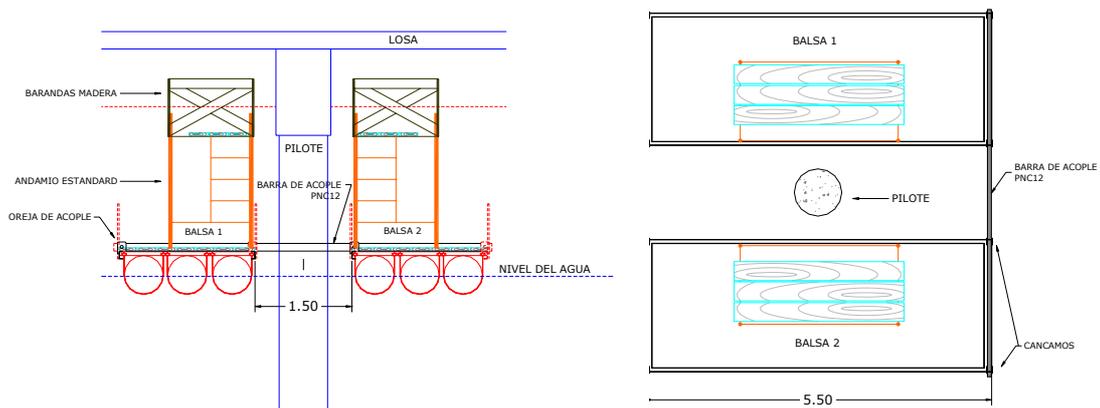
Conclusiones del ensayo de carga

De acuerdo a los resultados obtenidos, el pilote considerado se comporta prácticamente como una columna simplemente apoyada, con fricciones laterales del suelo muy bajas, y para las cargas máximas de ensayo planteadas (200 t) comienza a observarse la pérdida de linealidad de los desplazamientos llegando a valores del orden del doble de los del período elástico (12.4 mm). Por este motivo se considera que el pilote ensayado y por tanto todos los pilotes considerados de “riesgo intermedio” y de “bajo riesgo”, son de aceptación, pudiendo ser los mismos utilizados como estructura portante del muelle en reparación.

EQUIPO FLOTANTE PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

A los efectos de la ejecución de las tareas de inyección de fisuras, encamisados, refuerzos estructurales para las defensas, etc., se diseñaron balsas con flotabilidad y espacio suficiente como para soportar un grupo de hasta 6 personas con herramientas, equipo y andamios, ya que según el nivel del río, es necesario acceder hasta una altura de 4 m. La Figura 8 muestra un esquema de dicho equipo

Figura 8. Equipo flotante para la ejecución de los trabajos



CONCLUSIONES GENERALES

La reparación de la estructura abordada en este caso, es de un monto elevado y gran complejidad. El impacto del buque con una velocidad de 6 nudos y con una carga de 40 000 Ton, causó gravísimos daños y destrucción en el modulo final del Muelle del Puerto de Fray Bentos. Al estar una parte sustancial de la estructura bajo el nivel de las aguas, se debió recurrir a diferentes técnicas y ensayos para poder realizar un diagnóstico acertado que permitió tomar las medidas adecuadas para su reparación. Como resultado de los diagnósticos fue necesario realizar 10 pilotes para sustituir 5 pilotes dañados en diversas zonas de la estructura y por otra parte reconstruir totalmente la zona del impacto, donde además se construyó un dolphin de amarre integrado al propio muelle para tomar los esfuerzos de amarre, construido sobre 15 pilotes.

Para la ejecución del dolphin se realizó una plataforma metálica provisoria, sobre la cual incluso se posicionó la pilotera. Esta plataforma provisoria además de tomar los esfuerzos del peso de la pilotera, debía absorber los esfuerzos dinámicos durante el trabajo de hinca.

El dolphin, a consecuencia de sus dimensiones, fue llenado en varias etapas utilizando cemento de bajo calor de hidratación.

Las fisuras de los pilotes que podían ser reparados fueron inyectadas con resinas epoxis adecuadas.

De esta forma se logró recuperar una importante estructura, con un desembolso y un plazo mucho menor al que hubiera requerido demoler el módulo de muelle y construirlo nuevamente. El muelle quedó en perfectas condiciones y se mantiene operando normalmente.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Fundacoes. Teoria e Prática. Editores técnicos: Waldemar Hachich, Federico F. Falcón, José Luis Saes, Régis G. Q. Frota, Celso S. Carvalho, Sussumu Niyama. PINI
- 2- Norma brasileira MB-3472: Estacas - Prova de carga estática
- 3- Informe "Ensayo de carga de un pilote. Muelle de Fray Bentos. Río Negro. Diciembre de 2000". Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones – Instituto de Estructuras y Transporte
- 4- Informes de ensayo de integridad de pilotes: 1^a y 2^a etapa. Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones – Instituto de Estructuras y Transporte