

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**MANEJO DE MATERIALES DE DRAGADO UTILIZANDO TUBOS
GEOTEXTILES**

Francisco Pedocchi, Rodrigo Mosquera, Valentina Groposo y Luis Teixeira

*Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República, Uruguay*

kilo@fing.edu.uy, rmosquer@fing.edu.uy, vgroposo@fing.edu.uy, luistei@fing.edu.uy

RESUMEN:

La construcción de un nuevo muelle en el Puerto de Montevideo, Uruguay, implicará el dragado de grandes volúmenes de sedimentos finos que en algunos casos tienen niveles de contaminación elevados. Esto requiere un manejo especial de estos barros de dragado ya que no pueden ser descargados en las zonas utilizadas rutinariamente en las maniobras de dragado.

La composición de los barros hace que tengan tiempos de sedimentación y consolidación muy extensos, y que la reducción del agua que contienen se dé muy lentamente. Una posibilidad para acelerar el drenaje del agua, es la incorporación de floculantes poliméricos al barro fluido, y su posterior bombeo dentro de tubos de geotextil. De esta manera es posible drenar gran parte del agua contenida en los barros, reteniendo los sedimentos dentro del tubo geotextil. Como gran parte de los contaminantes se encuentran adsorbidos en la superficie de los sedimentos, estos son retenidos junto a estos dentro del tubo geotextil.

En este trabajo se describen los diferentes ensayos que fueron realizados para determinar las concentraciones de sedimento, dosificación de polímero y tipo de geotextil más adecuados para el manejo de los barros del Puerto de Montevideo. Se discuten además aspectos relacionados con la aplicación de ingeniería de los tubos geotextiles rellenos con barros floculados.

ABSTRACT:

The construction of a new pier at the Port of Montevideo, Uruguay, will require dredging large volumes of fine sediments, which may contain high levels of contaminants. This would require the use of special procedures for managing these dredged muds, since they cannot be discharged at the same location used during regular dredging operations.

Due to their composition, muds have very long sedimentation and consolidation times, and drainage of the pore contained water is slow. In order to accelerate the water drainage it is possible to add polymeric flocculants to the fluid mud before pumping it into a geotextile tube. In this way large part of the water contained in the mud is drained, and sediments are retained inside the tube. Since most of the contaminants tend to be adsorbed on the sediment grains, they are retained inside the geotextile tube together with the sediments.

In this work we describe a series of tests that were performed to determine the most suitable sediment concentration, polymer dose, and geotextile type, for managing the Port of Montevideo muds. Issues related to the engineering application of mud filled geotextile tubes are also discussed.

PALABRAS CLAVES: tubos geotextiles, barros de dragado, sedimentos cohesivos

INTRODUCCIÓN

La construcción de un nuevo muelle en el Puerto de Montevideo, Uruguay, requerirá el dragado de grandes volúmenes de sedimentos finos. Estos sedimentos compuestos en su mayoría por limos y arcillas, se denominan usualmente barros y en algunos casos tienen niveles de contaminación elevados, fruto de la actividad portuaria pasada. Esto requiere un manejo especial de los barros ya que no pueden ser depositados en las zonas usuales de descarga de dragado.

Los barros se comportan como un fluido con reología, estando sus propiedades fuertemente condicionadas por la composición de los sedimentos y las propiedades químicas del agua en la que se encuentran. Su composición hace que tengan tiempos de sedimentación y consolidación muy extensos, y que el drenaje del agua contenida en ellos se dé muy lentamente. Una posibilidad para acelerar el drenaje es la incorporación de floculantes poliméricos al barro fluido, y su posterior bombeo dentro de tubos de geotextil. De esta manera es posible retener los sedimentos dentro del tubo permitiendo la salida del agua.

Los primeros usos de los tubos geotextiles se dieron en la ingeniería de costas para protección de la costa contra la erosión, pero su uso se ha extendido a otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería ambiental. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran su uso para la construcción de estructuras costeras, la protección contra la erosión, la contención de materiales contaminados y la deshidratación de lodos y barros (Newman 2003, Howard et al. 2009).

Para determinar cómo será la interacción entre el material de llenado y el contenedor se realizan ensayos de laboratorio. Los ensayos incluyen ensayos del material de llenado, ensayos de filtrado y retención de sólidos del geotextil y ensayos de llenado de mini tubos o bolsas colgadas. Con estos ensayos se busca determinar por adelantado cómo será el llenado del tubo, si el geotextil se colmatará impidiendo la salida del agua, cuáles serán las tasas de filtrado y cuáles las pérdidas de volumen durante la salida del agua. En caso de que el material de llenado sea sedimentos finos conteniendo arcillas y limos, se estudia también el efecto de la adición de un polímero para promover la agregación de las partículas de tamaño pequeño, de forma que sean retenidas en los poros del geotextil y no los colmaten.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS TUBOS GEOTEXTILES

Los contenedores geotextiles pueden ser desde pequeñas bolsas rellenas de sedimentos o lodos de desecho, hasta grandes contenedores tubulares de varios metros de diámetro por varias decenas de metros de largo. Los tubos geotextiles, son construidos a partir de planchas de geotextil unidas mediante costuras para formar un tubo o “almohada”. En general el material geotextil utilizado para la construcción de contenedores geotextiles es tejido a partir de fibras sintéticas (“woven” en inglés). Existen también geotextiles no tejidos (“non woven”) pero su uso para la construcción de contenedores es poco común. Finalmente, existen aplicaciones en que materiales tejidos y no tejidos son combinados en capas de forma de lograr prestaciones especiales. Las dimensiones típicas de los tubos geotextiles suelen estar entre 1 m y 10 m de circunferencia y largos de hasta 100 m. Los geotextiles utilizados son en general geotextiles tejidos de aspecto similar a una arpillera plástica, de unos pocos milímetros de espesor (Lawson 2008). En este trabajo se reportan ensayos utilizando cinco geotextiles diferentes, cuatro de ellos tejidos y uno compuesto por una combinación de geotextil tejido y no tejido.

El llenado de los tubos se realiza a través de puertos de llenado que se ubican en la parte superior del tubo. Los puertos de llenado son en general mangas construidas con el mismo geotextil y unidas al tubo mediante costuras. También es posible utilizar como puerto de llenado bridas plásticas a las que se conecta la tubería que transporta el material desde la draga. El tamaño del tubo y el material de llenado definen el espaciamiento entre los puertos de llenado. Cuando el material de llenado es de tipo arenoso, este tiende a acumularse en la cercanía del puerto de llenado, y se requieren puertos de llenado más cercanos entre si. Cuando el material que se bombea dentro del tubo geotextil es un barro líquido, el mismo fluye fácilmente dentro del contenedor y un número de

bocas de llenado menor será suficiente. También pueden incluirse puertos de alivio similares a los de llenado para asegurar que las presiones dentro del tubo no resulten excesivas.

Las principales limitaciones para la aplicación de los tubos geotextiles se asocian a su estabilidad frente a factores ambientales, como la radicación UV y la actividad biológica, además de la limitada resistencia a la abrasión y perforación (Davis y Landin 1998). Esto requiere que en aplicaciones definitivas los tubos deban ser protegidos del ambiente, por ejemplo enterrándolos o cubriéndolos con materiales resistentes.

APLICACIONES CONSIDERADAS

Durante las etapas iniciales de este trabajo se consideraron tres posibles aplicaciones para tubos geotextiles rellenos de barros de dragado: fines estructurales, disposición en el mar y deshidratación.

Fines estructurales:

Los tubos geotextiles llenos con sedimento son usados en el general como estructuras semipermanentes con el fin de atenuar el oleaje y retener sedimentos. Debido a la alta densidad y reducida consolidación de la arena, la experiencia reportada en la literatura indica una fuerte preferencia por el uso de la misma como material de relleno en estas aplicaciones. Los sedimentos finos, limos y arcillas, requieren tiempos más prolongados para consolidarse y desarrollar resistencia mecánica (Shin et al. 2002). Observaciones preliminares realizadas confirmaron este comportamiento para los sedimentos de la zona de estudio por lo cual se decidió descartar el uso estructural de los tubos geotextiles en este caso.

Disposición de materiales de dragado en el mar:

Contenedores geotextiles se han utilizado también para drenar, transportar y depositar en el lecho marino materiales de dragado. Para este fin se utilizan dragas de cantara que permiten la descarga del contenedor geotextil por el fondo. La integridad de los contenedores durante la descarga y el impacto con el lecho presenta gran variabilidad dependiendo de factores no siempre controlables en campo. Esto resulta crítico si el material dragado se encuentra contaminado ya que su dispersión en la columna de agua puede resultar en un problema ambiental importante.

Deshidratación de lodos:

En esta aplicación los barros son bombeados dentro de los tubos geotextiles, el tejido retiene los sedimentos dejando salir el agua a través de los poros del tejido. El efluente que drena de los tubos se colecta y puede ser descargado o reutilizado con o sin tratamiento previo. El proceso de deshidratación o “dewatering” logra reducir significativamente el volumen total del barro. Generalmente es necesario utilizar floculantes poliméricos para evitar la colmatación del geotextil y acelerar el proceso de deshidratación. Gran parte de los contaminantes suelen encontrarse adsorbidos en la superficie de los sedimentos. Al retener a estos últimos dentro del tubo geotextil, la concentración de metales pesados y contaminantes de origen orgánico en el efluente puede reducirse significativamente. Esta fue la solución sugerida en este caso y los ensayos se centraron en torno a esta aplicación.

La relación entre el volumen inicial V_0 del barro contenido en el tubo geotextil y el volumen final V_f luego de consolidado puede calcularse a partir del contenido de sólidos $S_c = M_s/M_T$, con M_s la masa de sedimentos y M_T la masa total del barro (agua+sedimentos),

$$\frac{V_f}{V_0} = \left(\frac{1}{S_{cf}} + \frac{\rho_w}{\rho_s} - 1 \right) / \left(\frac{1}{S_{c0}} + \frac{\rho_w}{\rho_s} - 1 \right) \quad [1]$$

El contenido de sólidos se define como el cociente entre la masa de sólidos y la masa total de barro. En la Ecuación (1) S_{c0} y S_{cf} corresponden al contenido inicial y final de sólidos, respectivamente, y ρ_w y ρ_s la densidad del agua y de los sólidos, respectivamente. Esta ecuación

puede ser usada sucesivamente cuando el llenado se da en múltiples etapas. El contenido de sólidos a la salida de la draga en el momento de llenado suele ser del orden de 10 a 20 %. Mientras que el contenido de sólidos final obtenible dentro de los tubos luego de la consolidación se encuentra entre el 35 y el 70 %, dependiendo del contenido de material orgánico. A mayor porcentaje de partículas de origen orgánico menor el contenido final de sólidos (Lawson 2008).

ENSAYOS

Se realizaron los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, utilizados usualmente en mecánica de suelos, para caracterizar suelos cohesivos. Además se realizaron ensayos relacionados al acondicionamiento químico de los sedimentos y a la interacción de los sedimentos con los materiales geotextiles.

Descripción de los barros

El barro suministrado es de color negro o marrón oscuro y huele a hidrocarburos. Presenta zonas con grumos de material rojizo y conglomerados de arcilla con grava que resultan difíciles de desagregar. Se observan además caparazones de moluscos, escombros y restos de metal y plástico. El material provisto se encuentra saturado con una densidad aproximada de $\rho_b=1680 \text{ kg/m}^3$, lo que corresponde a un contenido de sólidos $S_c=65 \%$. En esta última equivalencia se asume que el espacio entre los granos de sedimento del barro se encuentra saturado completamente con agua. Esto permite relacionar la densidad bruta $\rho_b=M_T/V_T$ con el contenido de sólidos $S_c=M_S/M_T$; con M_T la masa total del barro (agua+sedimentos), V_T el volumen total del barro (agua+sedimentos) y M_S la masa de sedimentos.

Granulometría

Este ensayo se realizó utilizando tamices estándar para la fracción gruesa y un difractómetro laser Malvern Mastersizer 2000 para la fracción más fina. A partir de las curvas granulométricas se puede apreciar que los sedimentos contienen aproximadamente un 4 % de materiales gruesos en el rango de las gravas. La observación visual muestra que esta fracción contiene caparazones de moluscos y escombros de diverso origen. Un 14 % de la muestra queda retenido en el tamiz #200, representando las arenas aproximadamente el 10 % de la masa de la muestra. Del análisis granulométrico con el difractómetro láser surge que el 64 % de los sedimentos están en el rango de los limos y un 22 % en el de las arcillas.

Límites de Atterberg e índices

Se determinaron los límites de Atterberg, límite líquido y límite plástico para los sedimentos y los índices asociados a estos. El límite líquido (LL) corresponde a una humedad del 29 % y el límite plástico (LP) a una humedad del 21 %, por lo que el índice plástico (IP) es 8 %. Estos valores ubican a los sedimentos en el diagrama de Casagrande en el rango de las arcillas inorgánicas de baja y media plasticidad, arcillas limosas y arcillas arenosas, lo que está en concordancia con lo observado en el análisis granulométrico.

Caracterización del agua

Para las muestras de agua provistas se determinó la salinidad a partir de la medición de la conductividad del agua obteniendo un valor de aproximadamente 2 g/kg. Este valor se encuentra en el rango más bajo de salinidades observadas en la zona de la bahía que en general superan los 3 g/kg y llegan hasta los 30 g/kg en los meses estivales. De todas formas este valor de 2 g/kg se encuentran por encima del nivel de salinidad crítica para las arcillas y se puede observar un claro cambio de comportamiento de la mezcla de agua dulce y sedimento al incrementar la salinidad a 2 g/kg. Los cambios en el comportamiento de las arcillas en suspensión para salinidades por encima de 10 g/kg se suelen considerar menores (Mehta y McAnally 2008). El agua suministrada es

ligeramente básica con un pH=8, otras mediciones existentes en la bahía indican un agua esencialmente neutra a ligeramente ácida, pH entre 6 y 7.3.

Acondicionamiento químico

La primera caracterización fue el análisis de la acidez (determinación del pH) del agua que acompaña los sedimentos. Esta información junto a ensayos preliminares con varios floclulantes permitió determinar que polímeros catiónicos de peso molecular medio-alto eran los que producirían los mejores resultados para el agua y sedimentos estudiados, formando un agregado o floc adecuado para la aplicación.

Debido a que las cadenas poliméricas se adhieren a la superficie de las partículas de sedimento formando los flocs, se anticipó que la dosis de polímero debe ser proporcional a la masa de sedimentos secos contenidos en el barro, lo que fue confirmado por los experimentos como se muestra en la Figura 1. Sin embargo se observó que para lograr un mezclado adecuado del polímero y del barro se requiere una concentración de sedimentos menor al 25 %. Afortunadamente la concentración a la descarga de la draga se encuentra en este rango. A partir de los ensayos realizados se determinó que la dosis óptima era aproximadamente 2g de polímero seco por cada 1 kg de sedimento seco. Un contenido de sólidos entre 10 y 20 % se seleccionó en forma preliminar para los ensayos anticipando la necesidad de contar con un barro líquido para que sea fácil de bombear y transportar en tuberías durante las operaciones de llenado de los tubos geotextiles.

Pequeñas muestras de barro con la dosis de polímero optima se volcaron sobre un filtro formado por cada uno de los geotextiles a ensayar y se observó la rapidez de filtrado, la presencia de sedimentos en el efluente y la consistencia del material retenido en el filtro. Las densidades del barro retenido en el filtro rondaron los 1300 kg/m³ para todos los geotextiles. En todos los casos se observó un efluente claro con presencia de cantidades muy pequeñas de sedimento.

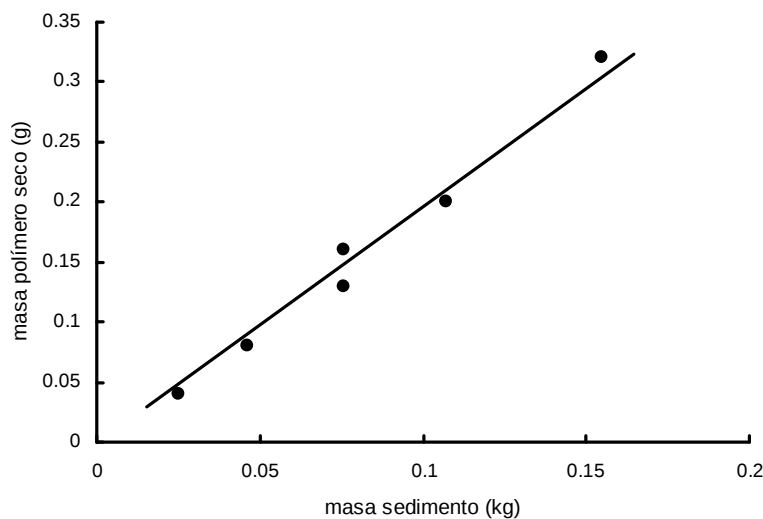


Figura 1.- Resultados de los ensayos de dosificación, expresados como gramos de polímero granular por kg de sedimento seco contenido en el barro fluido. Los puntos corresponden a la dosis óptima de polímero para las diferentes densidades de barro fluido ensayadas. La recta indica una proporción de 2 g de polímero seco por cada 1 kg de sedimento seco contenido en el barro fluido.

Diferentes geotextiles

Para evaluar la respuesta de los diferentes geotextiles en condiciones similares a las de campo se estudió el llenado de almohadillas de geotextil (Figura 2). Las almohadillas fueron conectadas a una tubería de 1 m de longitud de manera de imponer esta carga hidráulica en el interior de la almohadilla. El proceso de llenado se inicia con la inyección del barro floclulado dentro de la almohadilla hasta lograr el llenado total de la misma. Una vez que la almohadilla deja de drenar agua y la tubería vertical se encuentra sin barro o agua, se remueve la tubería, se toma una muestra del barro dentro de la almohadilla y se coloca un tapón en el puerto de llenado. Luego de

algunas horas cuando el drenado se detiene, se puede comprobar el inicio del proceso de consolidación y el volumen inicial del barro dentro de la almohadilla se reduce dejando espacio dentro de la misma para la adición de más material. Este proceso de drenado y rellenado puede repetirse en general dos veces luego del llenado inicial logrando agregar aproximadamente un 20 % más de barro al interior de la almohadilla. La densidad del barro luego que el agua deja de drenar, pero cuando todavía está saturado ronda los 1550 kg/m³.



Figura 2.- Configuración experimental utilizada para el llenado de las almohadillas. El tubo vertical tiene 1 m de alto. La almohadilla se apoya sobre una rejilla, permitiendo la descarga del agua por toda la superficie de la almohadilla. El agua es recolectada en el tanque inferior.

Se tomaron muestras del efluente durante el llenado y la consolidación para evaluar la calidad del mismo. La presencia de sedimentos en el efluente mostró ser poco dependiente del tipo de geotextil utilizado. Sin embargo ensayos utilizando una dosis menor de la óptima mostraron que esto provocaba la rápida colmatación del geotextil con la generación de sobrepresiones dentro del mismo (Figura 3). Estas sobrepresiones provocaron el escape de barro en cantidades significativas. Se destaca que en condiciones de campo la generación de sobrepresiones por colmatación del geotextil puede provocar la rotura del tubo.

Luego de la consolidación inicial el aumento de la densidad del barro dentro de la almohadilla se produce lentamente por deshidratación y evaporación del agua contenida en el barro a través de la tela. El barro luego de un mes dentro de la bolsa tiene el aspecto de un suelo arcilloso (Figura 4). La humedad final del barro contenido en las almohadillas será tan baja como lo permitan las condiciones ambientales donde se encuentren dispuestas. La pérdida de humedad de la arcilla produce la disminución del volumen de vacíos consolidándola. Este proceso que se observa en los suelos finos se conoce como consolidación por drenado (Terzaghi y Peck 1973). La consolidación por drenado no se produce cuando la muestra se encuentra bajo agua, ya que las fuerzas capilares juegan un rol fundamental y estas no se desarrollan mientras el material está saturado.



Figura 3.- Izquierda: almohadilla que ha siendo rellena con barro con la dosis óptima de polímero. No se observa escape de material luego que la torta de filtrado se ha formado, incluso presionando firmemente la almohadilla con los dedos. Derecha: almohadilla que ha siendo rellena con barro con una dosis insuficiente de polímero. Se observa claramente la perdida de material a través del geotextil y de las costuras. Notese que en el geotextil es el mismo, destacando la importancia de utilizar la dosificación adecuada de polímero, más allá de las características del geotextil.



Figura 4.- Barro seco luego de más de un mes en la almohadilla. El material tiene el aspecto de un suelo arcilloso y no se desagrega al sumergirlo bajo agua.

Llenado de almohadillas bajo agua

Se realizarán ensayos de llenado de almohadillas bajo agua, de forma de estudiar los cambios en el proceso de drenado y consolidación cuando el tubo geotextil se encuentra sumergido. Este aspecto es de relevancia si en algún momento el llenado de los tubos se realiza en aguas bajas en la cercanía de la costa. No se observaron diferencias relevantes durante el llenado y el volumen que se pudo inyectar en todos los caso dentro de la almohadilla fue similar al caso del llenado fuera del agua. En este aspecto el geotextil funcionó tan bien como fuera del agua para retener los sedimentos en su interior y dejar drenar el agua fuera de la almohadilla (Figura 5).

La diferencia principal observada entre el llenado bajo agua respecto al llenado en seco tiene que ver con el proceso consolidación luego que el llenado de la bolsa a finalizado. En este caso la consolidación por drenado no es posible, ya que la almohadilla y el sedimento que contiene se encuentran sumergidos y no pueden desarrollarse efectos capilares. La consolidación en este caso solo puede ser por acción del peso propio del barro sumergido, lo que genera sobrepresiones muy pequeñas dentro del material y logra una consolidación muy débil, similar a la que se observa en los depósitos de barro generados durante la sedimentación libre del barro en la columna de agua. Varias

semanas luego del llenado, el barro dentro de la bolsa sumergida presenta prácticamente la misma densidad y características que luego del llenado.

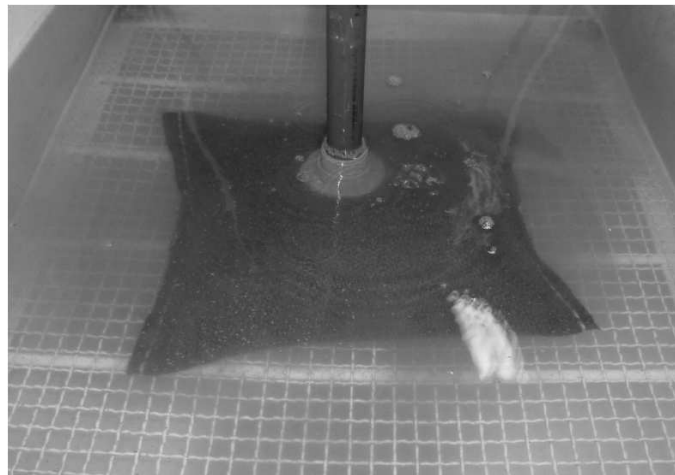


Figura 5.- Llenado bajo agua de una almohadilla, inicialmente se observa la salida de aire y pequeñas cantidades de sedimento, previo a la formación de la “torta” de filtrado.

CONCLUSIONES

Los ensayos mostraron que el relleno de tubos geotextiles con barros de dragado acondicionados químicamente con floculantes poliméricos es viable para la reducción del contenido de agua de los barros. Los ensayos de dosificación mostraron que si se toma una concentración de sólidos aproximada $C=1090 \text{ kg/m}^3$ para los barros en estado natural en la zona de estudio se necesitarían aproximadamente 2,2 kg de polímero granular seco por cada 1 m^3 de barro a dragar del lecho de la bahía. Por otro lado, teniendo en cuenta que la densidad del depósito de barro en la zona de estudio es de aproximadamente $\rho_b=1680 \text{ kg/m}^3$ y la densidad inmediatamente luego de finalizado el llenado del tubo geotextil ronda $\rho_b=1550 \text{ kg/m}^3$, puede verse que el volumen necesario para alojar el barro dentro de los tubos será muy similar al volumen original ocupado por el barro en el lecho de la bahía.

Se encontró que la determinación del tipo y dosis adecuada de polímero son críticos para el éxito de la aplicación. Por otro lado, se determinó que el rol del tipo de geotextil no es tan importante para retener el barro, siempre que su resistencia mecánica le permita soportar los esfuerzos durante y luego del llenado. Las características mecánicas de los geotextiles y las costuras esta bien documentada por los fabricantes, sin embargo se destaca que los métodos disponibles actualmente para el cálculo de los esfuerzos a los que el geotextil es sometido son todavía limitados.

Los ensayos mostraron que el barro contenido dentro de las almohadillas se consolida al drenar el agua cuando las almohadillas se encuentran fuera del agua. Esto puede permitir el uso del barro previamente consolidado dentro de los tubos geotextiles como un suelo arcilloso preconsolidado. Este mecanismo de consolidación no puede desarrollarse bajo agua, por lo que las propiedades mecánicas del barro no mejoran sustancialmente respecto a las que presentaba en su estado original en el lecho de la bahía.

La revisión bibliográfica y las observaciones hechas durante los ensayos indican que para los barros de la bahía la aplicación de tubos geotextiles más promisorio es la asociada a la deshidratación de lodos. En esta aplicación se espera que gran parte de los contaminantes que se encuentran en la superficie de los sedimentos sean retenidos junto con el barro dentro de los tubos geotextiles. Si se dispone de un apoyo adecuado, capaz de soportar el peso de los tubos geotextiles, y que permita el drenado y consolidación del barro contenido dentro de ellos, estos pueden ser concebidos como elementos de relleno y el espacio generado encima de ellos puede ser eventualmente aprovechado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de las tareas realizadas dentro del asesoramiento que el IMFIA realizó a la Administración Nacional de Puertos de Uruguay (ANP), siendo las contrapartes el Lic. Ricardo Vallejo y el Ing. Daniel Goldzak; la participación de la Bach. Antonella Galeano de la ANP fue de gran ayuda durante los ensayos. Se agradece además la colaboración del personal del Taller del IMFIA, Daniel Barboza y Ricardo Zouko para el armado de las instalaciones.

REFERENCIAS

- Davis, J. E. and Landin, M. C.** (1997). *Proceedings of the national workshop on geotextile tube applications*. Technical Report TR WRP-RE-17, Wetlands Research Program, U.S. Army Corp of Engineers.
- Howard, I. L., Smith, M., Saucier, C. L., and White, T. D.** (2009). *2008 geotextile tubes workshop*. Technical Report SERRI Report 70015-002, Mississippi State University, Civil and Environmental Engineering Dept.
- Lawson, C. R.** (2008). "Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering". *Geosynthetics International*, 15(6):384–427.
- Shin, E., Ahn, K., Oh, Y., and Das, B.** (2002). "Construction and monitoring of geotubes". *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, volume 12, pages 469–473.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B.** (1973). "Mecánica de suelos en la ingeniería práctica". 722 pgs. *Editorial El Atneo*, Buenos Aires.
- Mehta, A. J. and McAnally, W. H.** (2008). "Fine grained sediment transport". En M. H. García editor, *Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice*, pages 253-306.
- Newman, P.** (2003). "Geotextile bags for the containment, filtering and decontamination of slurries". En Dixon, N. and Smith, D., editors, *Geosynthetics: Protecting the Environment*, pages 107-120.