

Cimentación de viaducto sobre rail de alta velocidad en Alor Setar (Kedah, Malasia)

Estabilización de pilotes de Ø 2.800 mm mediante Sistema G3[®] de Geo

GEO participa actualmente con la empresa de cimentaciones especiales *Bauer (Malaysia) Sdn. Bhd.* en una obra donde se van a ejecutar pilotes de gran diámetro. La obra tiene como objetivo la construcción de un viaducto en Alor Setar (Malasia) dentro del macro proyecto llamado *Electrified double track (EDT)* que unirá el país de Norte a Sur mediante tren de alta velocidad. El objetivo del presente artículo es compartir con la comunidad de cimentaciones especiales el conocimiento adquirido por GEO, dado lo poco usual del diámetro diseñado para los pilotes y su profundidad.

La obra está situada en Alor Setar, en el estado de Kedah, Norte de Malasia, a lo largo de una de las principales vías de la ciudad donde se ha dispuesto un carril de 10 m de ancho para la realización de los trabajos. Los pilotes tienen un diámetro de Ø 2800mm y una profundidad media de 33 m (Fig. 1).

Bauer (Malaysia) –ejecutora de la obra–, solicitó los servicios de *GEO* para asegurar la estabilización y la calidad de todos los pilotes mediante el Sistema G3[®] de polímeros.

El terreno perforado consiste en 13 metros de arcillas grises (SPT entre 1 y 3), seguidos

de 2 metros de arena con limo (SPT 6) y 2 metros de arcilla grisácea muy densa. Por debajo de la arcilla, se encuentran 2 m de arena con alto contenido en grava y escasa matriz arcillosa. El pilote se empotra 13 m en pizarra negra bastante fracturada. Cabe destacar que en los primeros metros la roca se halla muy fragmentada.

La planta de lodos

Dado que en esta obra el coste de la superficie disponible para la planta de lodos corre a cargo de *Bauer (Malaysia)*, en el diseño de la

Palabras clave: BENTONITA, CAKE, DENSIDAD, ESTABILIZACIÓN, MEMBRANA, PANTALLAS, PILOTES, POLÍMERO, POLYMUD, SISTEMA G3, SUELO, TIXOTROPÍA.

Key Words: BENTONITE, DIAPHRAGM WALL, G3 SYSTEM, MEMBRANE, PILES, POLYMER, SOIL STABILIZATION.

 **Javier FERNÁNDEZ GARCÍA.**
Dpto. Técnico de
GEO—Ground Engineering Operations, S.L

misma se pretende optimizar al máximo el espacio disponible.

La planta consiste en 5 depósitos abiertos para la preparación de la mezcla, almacenamiento de agua y decantación de sólidos para su reciclaje. El volumen necesario para el almacenamiento se consigue mediante 6 silos verticales (Fig. 2).

Cada uno de los depósitos está equipado con aire a presión que provoca un burbujeo para el constante movimiento del lodo.

Con el diseño dispuesto se reduce el espacio al ser posible el almacenamiento en verti-



■ [Figura 1] .- Vista de la obra en Alor Setar (Kedah, Malasia).



■ [Figura 2].- Vista del tanque de mezcla y silos de almacenaje.

cal. Otro aspecto a destacar es que el **Sistema G3[®]** permite eliminar el equipamiento típico de lodos minerales (Bentonita).

Maquinaria y equipamientos

El equipo utilizado consiste en una pilotadora a rotación **Bauer BG 40 BS 110** de 27 metros de altura, un peso aproximado de 140 toneladas y un par de torsión de 390 kNm y una grúa auxiliar **Sumitomo LS-218RH5**, de 50 toneladas de capacidad. Además de una retroexcavadora para la retirada del material excavado.

En la perforación de los pilotes se utilizan herramientas de diferentes diámetros:

- Ø 2.800mm barrena, carruteri (core barre) y bucket de limpieza (Fig. 3).
- Ø 2.500mm barrena y bucket.
- Ø 1.800mm bucket.

Lodo polimérico utilizado en la excavación

Los pilotes han sido ejecutados utilizándose el polímero sintético **PolyMud[®]** como polímero base del **Sistema G3[®]**, y los aditivos **AlfaBond[®]** y **MicroBond[®]**.

AlfaBond[®] es un aditivo del **Sistema G3[®]** que tiene funciones varias como evitar pérdidas de fluido y aumentar la viscosidad localmente. En concentraciones superiores a 0,5% aumenta la capacidad del fluido para suspender sólidos y por tanto aumentar su densidad consiguiendo excavaciones más perfectas (Fig. 4).

En el caso de **MicroBond[®]**, la función es la limpieza del fluido tanto en la punta del pilote como la columna del mismo. Este aditivo se utiliza diluido con agua en una proporción 1/20. **MicroBond[®]** interactúa con el polímero base **PolyMud[®]** atrapando las partículas sólidas en suspensión y formando agregados que por su mayor densidad decantan al fondo de la excavación para poder ser retirados posteriormente por un bucket de limpieza. Para la limpieza de la columna de la excavación, la mezcla se vierte directamente al pilote en proporciones más diluidas y en el caso de una actuación más localizada, como la punta del



[Figura 4] .- Con los polímeros del Sistema G3[®] de GEO, se consiguen mejores excavaciones por una mayor concentración de los sólidos.

pilote, la mezcla se manda al fondo de la excavación mediante una bolsa de plástico en forma de bomba.

Ejecución

La perforación comienza con la colocación de un tubo guía de acero de 5 m de longitud y 2,84 cm de diámetro interno dejándolo 0,50 m más elevado que la plataforma de trabajo.

La perforación prosigue con bucket de Ø 2500mm hasta encontrar la roca compacta, donde se cambia por un carruteri de Ø 2800 mm que le da el diámetro a los primeros 20-25 metros. El sedimento es recogido por el cazo de limpieza Ø 2800mm. Para optimizar el par disponible del equipo, la roca se perfora hasta la cota deseada con el bucket de Ø 1800mm. Una vez alcanzada la cota, se pasa a utilizar carruteri y bucket de limpieza de Ø 2800mm hasta la cota final.

En algunos casos y debido a la dureza de la roca se ha necesitado pasar previamente por diámetro Ø 2500mm. El proceso de excavación lleva aproximadamente 25 horas en turnos de día que en algunos casos se alargaron hasta la noche.

Tras la limpieza del pilote, se procede a la instalación de la armadura en 3 tramos, provista de tubos sónicos y con un peso total de 13000 kg. La soldadura e inserción de la armadura conlleva unas 3 horas (Fig. 5).

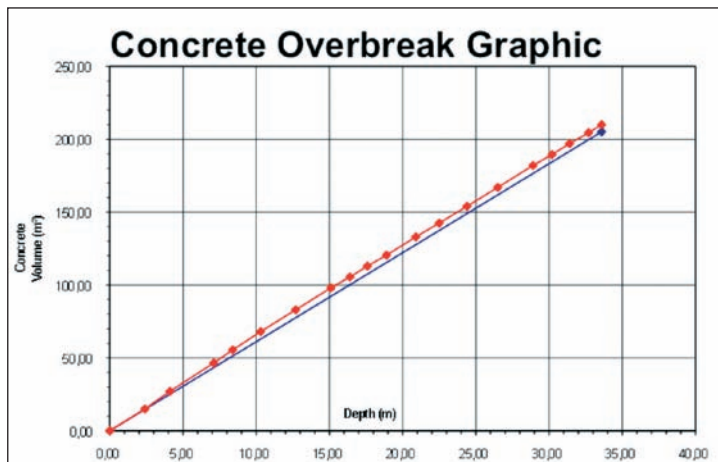
El hormigonado está restringido a la noche



[Figura 5] .- Instalación de la armadura y clavado del tubo guía.



[Figura 3] .- Herramienta de Ø 2800 mm (Altura del técnico 1,77 m).



■ [Figura 6] .- Gráfico de hormigonado.

debido al tráfico diurno. Se realiza mediante tubo *Tremie* de Ø 305 mm y tolva de Ø 2500 mm entre 3 y 5 horas dependiendo del tiempo empleado en las dos plantas que suministraron hormigón. En la **Fig. 6** se muestra un detalle de un gráfico de hormigonado donde la línea azul muestra el ascenso teórico del hormigón y la línea roja el ascenso real. En este caso el sobreconsumo fue del 5%. El sobreconsumo medio de hormigón de la obra es del 6%.

Prueba de carga

Previamente al inicio de los trabajos, para comprobar el diseño realizado, se ha realizado una prueba de carga.

Para llevarla a cabo se ejecutó un pilote de Ø1.000 mm. La estructura de reacción utilizada consta de 2 pilotes de Ø1.350 mm y 40 metros de profundidad. La unión entre pilotes de reacción y el bastidor se ha materializado mediante cables incorporados a las pilas de reacción (**Figs. 7a, 7b y 7c**).

Las pruebas han sido destructivas, los pilotes sobre los que se han realizado las pruebas de carga no formarán parte de la estructura definitiva y se han ejecutado con este fin.

Los resultados de las pruebas han sido totalmente satisfactorios, confirmándose el di-

seño realizado y con la aceptación del procedimiento propuesto para la ejecución de los pilotes.

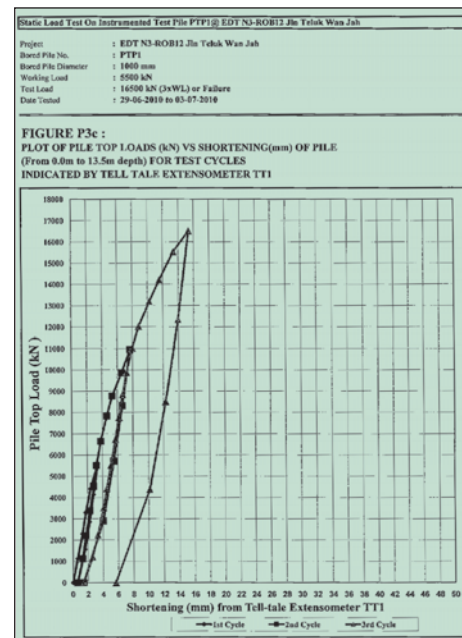
Medio ambiente

En los traslados intermedios, el fluido ha podido ser desechado previa autorización de las autoridades locales y previo tratamiento con ácido clorhídrico e hipoclorito cálcico. El objetivo de este tratamiento es reducir el pH y la viscosidad del lodo transformándolo en agua residual pudiendo ser, o bien utilizado para otras actividades, o bien vertido al sistema general de alcantarillado sin ningún riesgo para el medio ambiente.

Conclusión

Dadas las características del proyecto, era necesario la utilización de un procedimiento de trabajo con plena garantía de calidad. Bauer ha depositado confianza en los servicios de GEO en este proyecto para la utilización de lodos poliméricos.

El **Sistema G3[®]** de polímeros ha asegurado la estabilidad y la calidad de pilotes de 2.800 mm de diámetro en terrenos poco consistentes con la presencia de la línea de tren actual a pocos metros de la obra. Cabe destacar también que debido a las características



■ [Figura 7c] .- Registro de deformaciones en uno de los extensómetros.

de la obra, los pilotes han permanecido hasta 2 noches abiertos y el sobreconsumo de hormigón es del 6%.

La gestión del fluido puede ser realizada sin ningún riesgo medio ambiental, y con un coste muy inferior al necesario para lodos bentónicos.

El método de trabajo ha aumentado la Ecoeficiencia del proyecto al permitir aumentar la producción, reduciendo los recursos necesarios, a la vez que elimina el riesgo medio ambiental típico de la bentonita.

Agradecimientos

Expresar el agradecimiento a todas las personas y entidades que han colaborado aportando fotografías, gráficos, acceso a documentación, y todo lo preciso para poder publicar el artículo.

También expresar agradecimiento especial al equipo directivo de *Thomas Samuel* por la oportunidad para colaborar juntos para la ejecución de esta obra. Además de al equipo técnico formado por Ing. *Mohd Rashid* e Ing. *Krishna Chelliah* por la total accesibilidad desinteresada toda la información necesaria



■ [Figuras 7a y 7b] .- Prueba de carga (Izda.) y detalle de la auscultación de la cabeza del pilote durante la prueba de carga (Dcha.).

GEO-GROUND ENG. OPERATIONS
 Avda. Vía Láctea, s/n - Local, 25
 28830 S. Fdo. de Henares (Madrid)
 ☎: 912 773 179 • Fax: 912 919 776
 E-mail: info@geosoil.com
 Web: www.geosoil.com/espana

