

OBRA: Cimentaciones (pantallas y pilotes) en Delhi Metro Rail Corp. (DMRC) en Nueva Delhi (India)

# El Sistema G3<sup>®</sup> de Geo se consolida como alternativa eficaz a la bentonita en el mercado de cimentaciones indio

Las ventajas competitivas del Sistema G3<sup>®</sup> frente a la bentonita, también tiene su cabida en un mercado de cimentaciones como el Indio, con precios muy bajos de la bentonita. En este artículo se comprueba la trascendencia sobre el coste final de la obra el aumento de la producción y la eliminación de los costes asociados a los fallos de calidad, tal como se expone en este artículo. Ambos beneficios son aportados por el Sistema G3<sup>®</sup>.

Palabras clave: BENTONITA, CAKE, DENSIDAD, ESTABILIZACIÓN, MEMBRANA, MURO COLADO, MURO DIAFRAGMA, MURO MILAN, PANTALLAS, PILA, PILOTES, POLÍMERO, POLYMUD, SISTEMA G3, SUELO, TIXOTROPÍA.

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

Eónio TRINDADE, Dpto. Técnico de GEO - Ground Engineering Operatiopns, S.L.

Actualmente la red de metro en Nueva Delhi tiene en servicio 142 estaciones y un total de 189,7 Km de longitud. Las instalaciones están diseñadas para garantizar la fiabilidad y la seguridad en la circulación de trenes, está equipado con las más modernas comunicaciones y sistema de control de trenes. Dispone de coches con aire acondicionado, venta de tickets y control de los pasajeros a través de sistema automático, con frecuencias de cada 3 minutos, estaciones con escaleras mecánicas, integrado con otros medios de transporte público, etc. En resumen, el Metro de Delhi es un referente para otras ciudades del país y en la región de Asia del Sur.

Dentro de los planes estratégicos de DMRC está cubrir la totalidad de Delhi con un red de

metro para el año 2021, actualmente se están ejecutando las obras de la Fase III.

Por el tipo de obra urbana con poco espacio, gestión medio ambiental del fluido, mucho servicios afectados, dificultad en la logística de la obra, entre otros, el Sistema G3<sup>®</sup> aporta grandes ventajas para las empresas de cimentaciones. Este artículo versa particularmente sobre 2 nuevas estaciones pertenecientes a una misma línea de metro: Janpath Road y Mandi House.

## Las obras

La fase III del Metro tiene proyectado un conjunto de 28 estaciones con un total de unos 500.000 m<sup>2</sup> de pantalla. Cada estación tiene aproximadamente 18.000 m<sup>2</sup> de pantalla. Además, está previsto ejecutar pilas-pilote en las

estaciones para apoyo de las losas. El plazo de ejecución previsto es de 5 años.

El presente artículo versa sobre 2 estaciones contiguas actualmente en ejecución. En la Fig. 2 se pueden ver las dos estaciones en el dia-



Vista de las obras en una de las avenidas.

grama de la nueva línea, Mandi House y Janpath Road.

Las empresas participantes en los proyectos son: LRS Kamar Infra, en la estación de Mandi House, y Vijay Nirman Company y RV Akash Ganga en la estación de Janpath Road. Todas están ejecutando pantallas con 0,8 m de espesor, con profundidad de 23 m y cada panel tiene entre 3 a 6 m de largo.

Los pilotes son ejecutados por las empresas RV Akash Ganga, en Janpath Road, y LRS



[Fig.1].- Red actual en operaciones del Metro.



Estación de Metro.



[Fig. 2].- Esquema de la nueva línea de metro (fuente: The Times of India).



[Figura 3].- Mezcla del polímero.

Kamar, en Mandi House. Cada pilote con  $\varnothing$  1000 mm y profundidad media de 33 m. Es hormigonado hasta los 18-14 m de profundidad siendo posteriormente instalada una pila metálica hasta la superficie del terreno y el restante espacio (hueco) relleno con arena.

## Caracterización del fluido de estabilización

Debido a no tener los riesgos ambientales que están asociados a la bentonita, el **Sistema G3<sup>®</sup>**, de la empresa **GEO**, con base en el granulado de polímero sintético **Polymud<sup>®</sup>**, ha sido el elegido para los proyectos de cimentaciones del metro de Delhi (**DMRC**). El **Polymud<sup>®</sup>** es altamente concentrado y ha sido concebido únicamente para, una vez diluido en agua, interactuar químicamente con los distintos tipos de suelo. De alto peso molecular, origina una solución de alta viscosidad que está indicada para la estabilización de excavaciones para cimentaciones y otras aplicaciones geotécnicas. Los restantes productos que componen el **Sistema G3<sup>®</sup>** han sido desarrollados para actuar sobre el polímero principal de forma a mejorar sus características en situaciones más exigentes. Para preparar el fluido de estabilización basta añadir a un flujo constante de agua.

En la obras de **DMRC**, el **Polymud<sup>®</sup>** es utilizado como el único producto en la ejecución de las cimentaciones (pilotes y pantallas). El fluido preparado con **Polymud<sup>®</sup>**, agua y sosa caustica, es suficientemente eficaz para mantener la estabilización de los terrenos excavados y de mantenerse limpio, sin recurso a otro tipo de aditivos.

**Su eficiencia de estabilización ha sido comprobada por mantener secciones de pantallas excavadas abiertas hasta 7 días con un sobreconsumo de hormigón inferior a 10%.**

## Características del suelo

La geología de las dos obras es muy similar. Se caracteriza por un suelo de relleno

de hasta 3 m de profundidad, seguido de limo arenoso hasta los 12 m, con intercalaciones más o menos arenosas. A partir de los 12 m el limo presenta también alguna composición de arcilla y se pasa a tener intercalaciones de más o menos arena y/o de más o menos arcilla. A la profundidad final de excavación (hasta 23 m en las pantallas y hasta 33 m en los pilotes) el suelo es mayormente una arcilla limo-arenosa. Independiente del tipo de composición del suelo todas las capas presentan una coloración marrón claro (Fig. 4). El nivel freático se encuentra a cerca de 9 metros de profundidad.

Es importante referir que, como se puede comprobar por la figura, el terreno excavado se mantiene casi completamente seco, aparte de una cantidad mínima de polímero que lo recubre. Ese hecho es muy valorado por la empresa **DMRC**, pues la zona de trabajo se mantiene más limpia y facilita el transporte del material.

## Equipamientos

### Mandi house

La estación de **Mandi House** está siendo ejecutada por la empresa **LRS Kamar infra**. Esta empresa emplea 2 máquinas de excavación **MAIT HR180**, una pilotadora y otra adaptada para excavación de pantallas. Para auxiliar en los tra-



[Fig. 4].- Aspecto del suelo excavado.

bajos se usan dos grúas: una con capacidad hasta 15 toneladas y otra de 40 toneladas.

Para perforación de los pilotes se utilizan herramientas de  $\varnothing$ 1000 mm (barrena y *bucket*). Para iniciar la perforación un tubo guía de  $\varnothing$  1100 mm y 3 m de largo.

En las pantallas, con cuchara de 800 mm de espesor y 2800 mm de largo, se ejecutan la excavación de los diversos módulos.

### Janpath Road

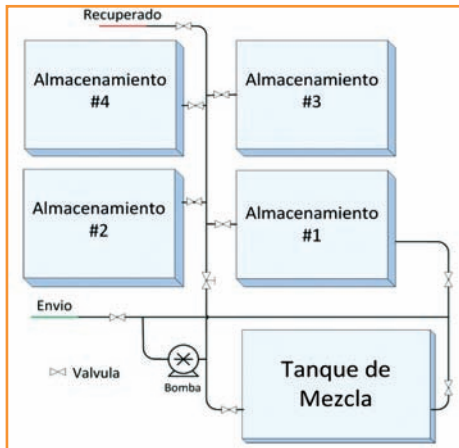
En los trabajos de la estación de **Janpath Road** los equipamientos utilizados por cada empresa son:

- **Vijay Nirman Company**: una máquina de excavación de pantallas **SoilMec SR30**, con dos grúas de apoyo (capacidad de 16 y 35 ton); cuchara de 800 mm de espesor y 2800 mm de largo.
- **RV Akash Ganga**: una pilotadora **Bauer BG 34**, una máquina de excavación de pantallas **Mait HR130**; barrena y *bucket* de  $\varnothing$ 1000 mm, con uso de tubo guía de 1100 mm y 3 m de largo; cuchara de 800 mm de espesor y 2800 mm de largo; más dos grúas de apoyo de 20 y 35 t de porte.

### Plantas de lodos

Las plantas de lodos son totalmente distintas para cada una de las 3 empresas pero la configuración básica es la misma. Se utilizan tanques para almacenar el lodo de polímero en número suficiente para completar el volumen necesario de producción. De estos tanques al menos uno está destinado y preparado para la mezcla de nuevo lodo.

En la **Fig 5** se puede ver una de las plantas de lodo. En este caso concreto el tanque de mezcla tiene 25 m<sup>3</sup> de capacidad y cada tanque de almacenaje 54 m<sup>3</sup>. Las demás plantas siguen la misma configuración básica, con un tanque de mezcla y tanques de almacenamiento. En los 3 tajos, el fluido polimérico se mantiene limpio.



[Fig. 5].- Esquema simplificado de una de las plantas de lodo.

## Calidad

En las obras se alcanzan parámetros de calidad muy altos. Las características del suelo, asociadas a las propiedades únicas del **PolyMud®** han facilitado las operaciones de excavación, estabilización y limpieza.

En todas las excavaciones ejecutadas donde el nivel del fluido se mantiene siempre en el interior del murete guía (nunca abajo de 1,5 m de profundidad) y de la camisa metálica (nunca por debajo de los 3 m), no se ha detectado ningún colapso. Todas las excavaciones se han ejecutado sin problemas y algunas se han quedado abiertas durante 7 días. La gran calidad de estabilización es registrada a través del test **Koden®** que se realiza en todas las secciones de pantallas excavadas en todas las obras del **DMRC**. En la **Fig. 6.B** se puede ver un ejemplo del registro **Koden®**, y la superficie de la pared con pocas protuberancias.

Para comprobar la calidad de la estabilización de la excavación tenemos también el registro del sobre-consumo de hormigón, que es de media un 11% para las pantallas y de 3% para los pilotes. Los parámetros de calidad del lodo polimérico se controlan asiduamente y sus valores medios están representados en la **Tabla I**.

Todos los valores de calidad aquí presentados revelan las condiciones óptimas en que se mantiene el lodo a lo largo de las obras.

Tanto para pantallas como para pilotes el contenido de arena, al final de la excavación, es siempre muy reducido (o incluso nulo) lo que demuestra la eficiencia de limpieza del fluido de polímero en los terrenos limosos y que proporciona un ahorro substancial de tiempo. Comparado con el necesario proceso de desarenado que se tendría de efectuar en la situación de recurrir al lodo de bentonita tradicional.

Debido a la gran eficiencia demostrada por el **PolyMud®** en este proyecto, no ha sido necesario recurrir a ninguno de los aditivos del **Sistema G3®**: **Alfabond®** para mejoría de la estabilización o **MicroBond®** para auxiliar en el efecto de limpieza del lodo polimérico.



[Figura 6].- Registro **Koden®** de una sección de pantalla (A) y respectivo diagrama (B).

Viscosidad (seg.)	pH	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de arena (%)
55 a 65	10 a 12	1,00 a 1,02	0 a 0,5

[TABLA I] .- Parámetros medios del lodo registrados en las obras del **DMRC**.

## Producción

La producción tiene distintos factores condicionantes: logísticos, mecánicos y de proyecto. Sin condicionantes entorpeciendo la producción, es posible terminar una sección de pantalla (0,8 m de ancho, 6 m de largo y 23 m de profundidad) y 2 pilotes (Ø 1000 mm y 33 m de profundidad), a cada turno y por máquina de excavación. En la **Fig. 7** se muestra un mosaico de fotos relacionados con la producción en las obras.

## Conclusiones

Las ventajas competitivas del **Sistema G3®** frente a la bentonita, también tiene su cabida en un mercado de cimentaciones como el indio, con precios muy bajos de la bentonita. Comprobándose la trascendencia sobre el coste final de la obra el aumento de la producción y eliminar los costos asociados a los fallos de calidad. Ambos beneficios son aportados por el **Sistema G3®**.

En las obras del **DMRC** tienen especial valor el uso del **Sistema G3®** al aportar las siguientes ventajas:

- El polímero aumenta la ecoeficiencia del proyecto al eliminar el riesgo medio ambiental típico de la bentonita y reducir el costo del tratamiento del fluido tras finalizar la obra.
- El lodo de **PolyMud®** es sencillo de utilizar y es eficiente en la estabilización del suelo, con sobreconsumo bajos de hormigón.
- Los tiempos de desarenado son eliminados por completo, potenciando un aumento de producción.
- La calidad de las cimentaciones es de alto nivel, con bajos contenidos de arena.
- El fluido polimérico permite también una zona de trabajo más limpia, donde el

suelo excavado puede ser fácilmente transportado.

- El **PolyMud®** representa un ahorro en relación a los demorados procesos de mezcla de la bentonita, desarenación, en el transporte del suelo excavado con gran porción de lodo bentonítico. □



[Fig. 7].- a) Pilotadora perforando; b) Máquina de excavación de pantallas; c) Colocación de la armadura de una pantalla; d) Colocación de una armadura de un pilote.

**GEO-Ground Eng. Operations, S.L.**

Av. Vía Láctea, s/n -Local 25  
28830 S. Fdo. de Henares (Madrid)

Tel: 912 773 179 • Fax: 912 919 776

E-mail: [info@geosoil.com](mailto:info@geosoil.com)

Web: [www.geosoil.com/espana](http://www.geosoil.com/espana)