

Diseño y ejecución de muros anclados, pilotes, inyecciones y micropilotes en la nueva sede de GyM en Lima. Un proyecto con múltiples desafíos geotécnicos.

M. Saucedo¹

El nuevo edificio de GyM ubicado en la Av. Petit Thouars en la ciudad de Lima, cuenta con 4 sótanos y el nivel de fondo de cimentación más profundo se encuentra a -16.60m. Al tratarse de un proyecto en la zona urbana de Lima, el proyecto inicial consideraba el uso de la tecnología de muro anclado para toda la entibación, la cual es ampliamente utilizada en los proyectos profundos de la ciudad de Lima. Sin embargo, durante las primeras investigaciones de campo, se detectaron zonas conflictivas en las cuales se hacía imposible la construcción de los muros por fases de acuerdo al proceso típico de muros anclados, por lo que se tuvieron que aplicar otras técnicas de entibación y refuerzo del suelo mediante inyecciones tipo lanza y micropilotes. El presente artículo muestra en detalle las soluciones adoptadas en las zonas conflictivas del proyecto, junto con el análisis de la entibación mediante pilotes discontinuos, que se adoptó para la construcción de una estructura “top-down” para el emplazamiento de una subestación eléctrica.

Palabras clave: muros anclados, anclajes, pilotes, inyecciones, micropilotes, top-down.

1. PROYECTO

La nueva sede del edificio de oficinas de la empresa Graña y Montero está ubicada en la Av. Petit Thouars en la ciudad de Lima. El proyecto cuenta con 4 sótanos y el nivel de fondo de cimentación más profundo se encuentra a -16.60m.

El estudio de suelos indicaba la presencia de un material de relleno no controlado de hasta 5m de profundidad en algunas zonas, compuesto de grava con matriz de arena limosa, con presencia de ladrillos, plásticos y raíces. Debajo de este material de relleno se encontró el estrato competente de grava con matriz arenosa y bolonería, también conocido en el medio como el “Conglomerado de Lima”, de compacidad medianamente denso, aumentando la compacidad en la profundidad. Este último estrato se caracteriza por tener parámetros de resistencia y rigidez muy altos, lo cual, sumado a la inexistencia de nivel freático, otorga las condiciones ideales para la aplicación de muros anclados construidos mediante la excavación secuencial de paneles intercalados de arriba hacia abajo hasta alcanzar el nivel de cimentación deseado.

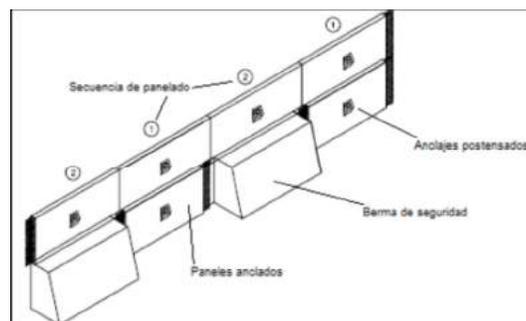


Figura 1. Secuencia de ejecución de un muro anclado

¹ Ing. M.Sc. Mariano Saucedo Sulzer
Gerente Técnico Pilotes Terratest Perú SAC.
msaucedo@terratest.com.pe

Por este motivo, en los sectores en los que el relleno no superaba 1m de altura, se diseñó la entibación mediante la tecnología de muros anclados. Los sectores con un relleno de mayor profundidad fueron reforzados mediante inyecciones lanza y micropilotes, para permitir la excavación hasta encontrar el estrato competente y continuar con los muros anclados convencionales. Esta solución será tratada en detalle más adelante.

2. MUROS DE PILOTES EN SUBESTACIÓN ELECTRICA

En el eje colindante con la Av. Petit Thouars existía una subestación eléctrica que debía ser demolida para poder iniciar las excavaciones. Sin embargo, la subestación no podía dejar en ningún momento de abastecer de energía eléctrica a la zona. La solución planteada fue iniciar los trabajos de construcción para el nuevo emplazamiento de la subestación antes de empezar con la excavación masiva del resto del proyecto. El nuevo emplazamiento de la Subestación se proyectó en el sótano del edificio, en la esquina que se aprecia en la Foto 1.

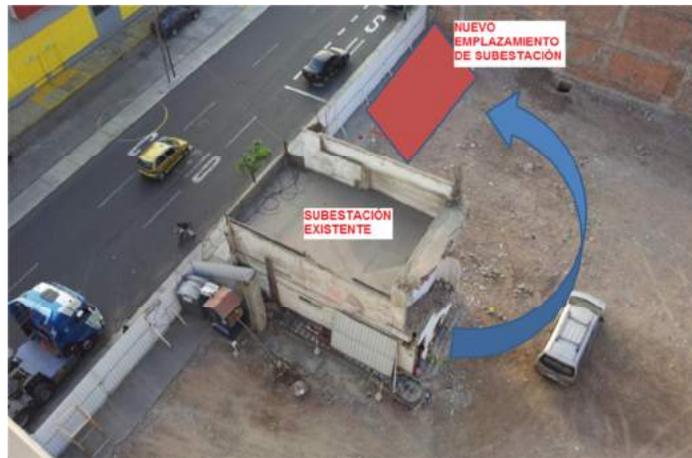


Foto 1. Ubicación de la Subestación eléctrica en el centro del terreno

En la Figura 2 se aprecia un esquema en planta con el emplazamiento original y la nueva ubicación de la subestación eléctrica subterránea. Para posibilitar la ejecución inmediata de la nueva subestación, se decidió ejecutar un muro de pilotes para sostener la excavación colindante con la calle y 3 pilotes adicionales para poder construir la estructura de arriostre que sostendrá la nueva subestación. Cabe destacar, que los pilotes centrales se diseñaron adicionalmente como parte del sostenimiento general del edificio, reemplazando las columnas que estaban diseñadas en estos puntos.

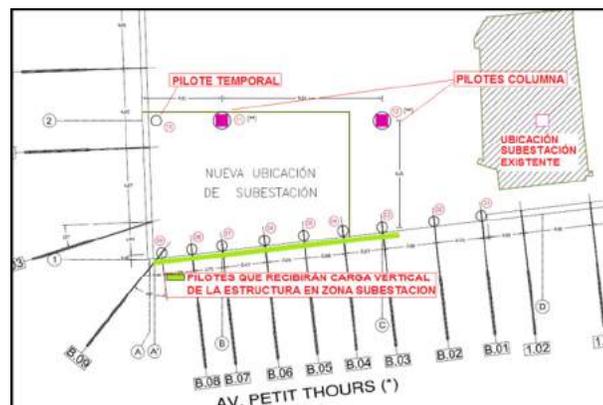


Figura 2. Ubicación del nuevo emplazamiento de la subestación y zona de pilotaje en eje 1

La solución planteada para la ubicación de la nueva subestación eléctrica se muestra en un esquema 3D en la Figura 3 junto con una fotografía que muestra el estado definitivo conteniendo la subestación en la zona superior de la estructura y permitiendo la continuidad de los trabajos de excavación por debajo.



Figura 3. Izq: Esquema 3D de la solución top-down para el nuevo emplazamiento de la subestación. Der: Foto durante los trabajos de excavación debajo de la nueva subestación.

En la Figura 4 se aprecia la disposición en elevación del muro de pilotes ejecutado sobre el eje de la Av. Petit Thouars en el sector de la Subestación Eléctrica, los mismos que tienen una separación máxima entre ejes de 2.50m. Esta separación se seleccionó a raíz de que el relleno en esta zona es prácticamente nulo y se encuentra casi superficialmente el estrato firme del conglomerado de Lima que tiene la suficiente rigidez para no desmoronarse entre los pilotes, ayudado también del efecto arco que generan los pilotes sobre el empuje del suelo.

Los pilotes tienen un diámetro de 0.60m y la longitud de empotramiento en el suelo se calculó mediante el software alemán GGU-RETAIN® que realiza un cálculo del muro de pilotes en estados límites. Mediante este software se analizaron las solicitaciones y deformaciones del muro de pilotes para los distintos estados constructivos. En total se analizaron 4 etapas constructivas:

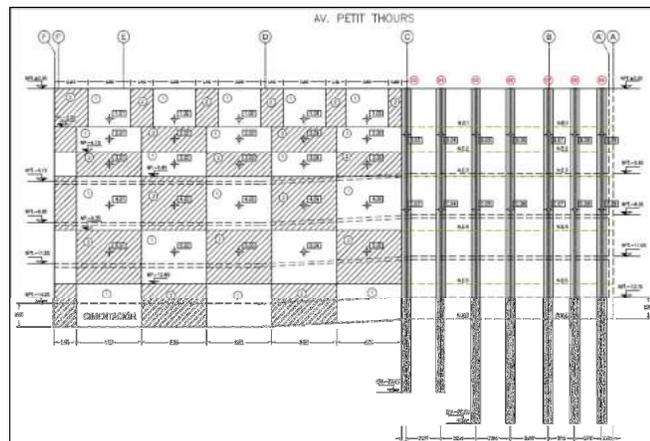


Figura 4. Elevación definitiva en el eje de la Av. Petit Thouars. Entre el eje C al F se ejecutaron muros anclados tradicionales. Entre el eje A al C se realizó un muro de pilotes discontinuos. Los pilotes más largos reciben además carga de la subestación.

- ETAPA 1: Los pilotes se encuentran ejecutados y se realiza la excavación hasta 1m por debajo de la primera línea de anclajes.
- ETAPA 2: La primera línea de anclajes se encuentra perforada y tensada. Se realiza la excavación hasta el fondo de losa de la subestación.
- ETAPA 3: La Subestación está terminada y se inician los trabajos de excavación por debajo de la misma hasta 1m por debajo de la segunda línea proyectada de anclajes.
- ETAPA 4: Etapa final, con la subestación lista y la segunda línea de anclajes tensada. La excavación alcanza el nivel de fondo de cimentación del proyecto.

La Figura 5 muestra la secuencia de cálculo del muro de pilotes para las distintas fases constructivas y las fotos correspondientes a la ejecución de cada etapa de diseño.

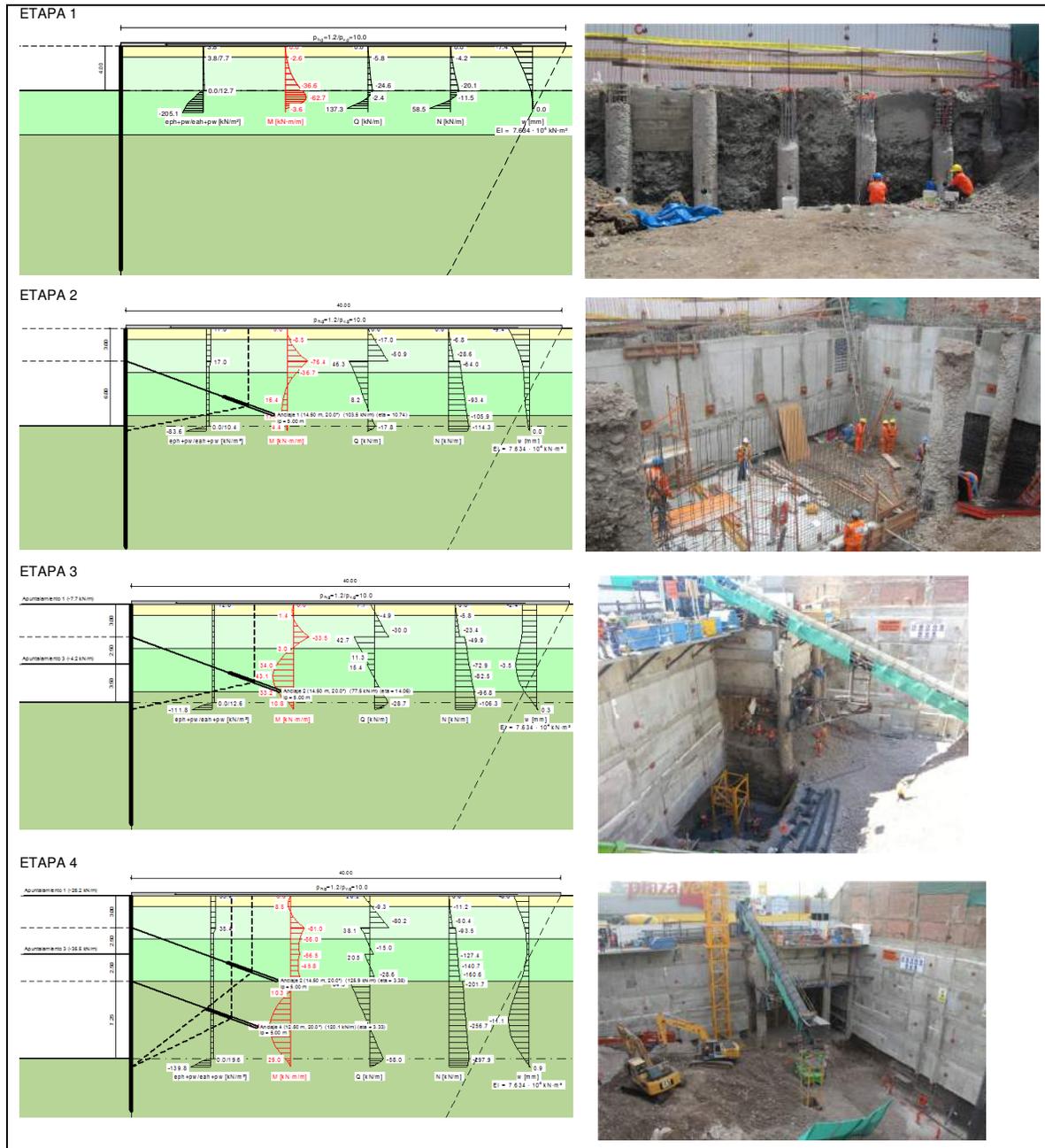


Figura 5. Secuencia constructiva y etapas analizadas en el diseño

Los pilotes columna centrales sobre los que se apoya la subestación eléctrica y que a su vez serán parte de la estructura tuvieron consideraciones especiales, ya que al ser ejecutados desde la superficie, se haría imposible la ejecución de zapatas para las columnas reemplazadas. Estos pilotes no reciben carga lateral del suelo pero fueron diseñados además para tomar adecuadamente las cargas horizontales durante un posible evento sísmico. El diámetro seleccionado para los pilotes columna fue de 1m.

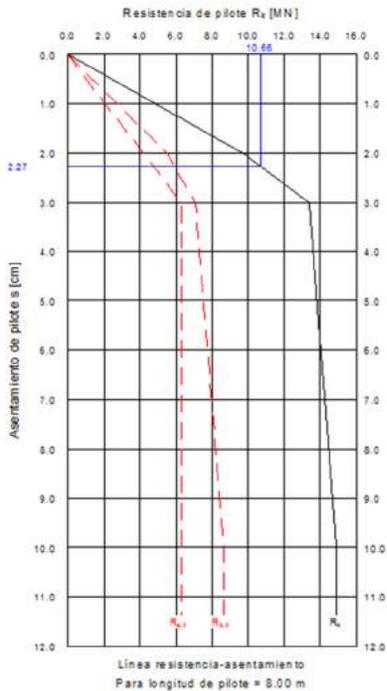


Figura 6. Curva estimada de carga-asentamiento que tendrán los pilotes-columna

en el programa GGU-AXPILE® que se aprecia en la Figura 6. Para un pilote de 8m de longitud en el estado límite de falla se obtuvo una resistencia característica igual a $R_{1,k} = 1492Tn$ con la que se cumplieron las verificaciones, por lo que esta fue la longitud mínima requerida de embebimiento del pilote por debajo del nivel de fondo de cimentación del nuevo edificio, quedando finalmente pilotes de 25m de longitud perforados desde la superficie del terreno. Para la resistencia de diseño del pilote R_d , se determinó un asentamiento máximo de 2.3cm.

Las cargas actuantes sobre los pilotes que se determinaron en el diseño estructural son:

- Carga Muerta: 135Tn
- Carga Viva: 580Tn

Para el diseño se emplearon factores parciales de acuerdo al nuevo código europeo y a la norma DIN1054:2005, donde se debe demostrar que las acciones de diseño E_d son menores que la reacción de diseño del pilote R_d de la siguiente forma:

$$E_d \leq R_d$$

$$CM \cdot 1.35 + CV \cdot 1.50 \leq \frac{R_{1,k}}{1.40} \text{ (caso estático)}$$

$$CM \cdot 1.00 + CV \cdot 1.00 \leq \frac{R_{1,k}}{1.40} \text{ (caso sísmico)}$$

Finalmente, para determinar la resistencia del pilote, se estimó la curva carga-asentamiento en el



Foto 2. Foto durante la perforación de un pilote columna de 1m de diámetro mediante máquina piloto tipo Bauer BG-24

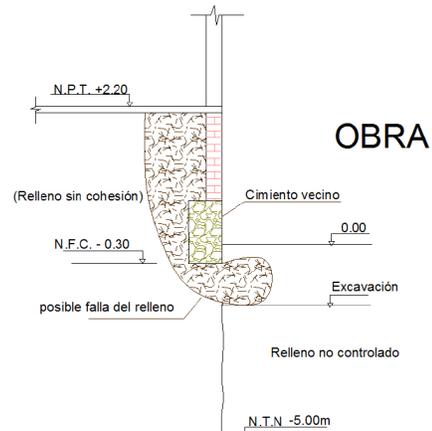
3. INYECCIONES Y MICROPILOTES EN ZONA DE RELLENOS

Para el inicio de la construcción, en el eje 7 colindante con viviendas muy precarias de hasta 3 pisos, se habían realizado trabajos de demolición que dejaron las viviendas vecinas sin confinamiento de suelo en alturas de hasta 2.75m, sin notar que detrás de la

cimentación vecina existía un relleno precario de grava con arena sin ninguna cohesión, por lo que cualquier intento de excavación por debajo de los cimientos resultó en la falla inmediata del relleno (véase la Foto 3. y el esquema en la Figura 7).



Figura 7. Nivel 0.0 del proyecto quedaba hasta 2.75m por debajo del nivel superior del relleno



De acuerdo al estudio de suelos, en esta zona existía adicionalmente un relleno de material no controlado hasta profundidades de 5m por debajo del nivel 0.00m del proyecto.



Foto 3. Primeros intentos de excavación por debajo de los cimientos resultaron en la falla local del relleno posterior

Esta situación, hacía crítica la intervención en esta zona y cualquier intento de excavación a mayor escala podría haber resultado en el colapso de alguna de las viviendas.

Por tal motivo, se presentaron diversas soluciones de entibación, como el mejoramiento del relleno mediante inyecciones de alta presión, el uso de pilotes tangentes o el refuerzo mediante anclajes y micropilotes. Las 2 primeras opciones fueron descartadas debido a su alto costo, además de la restricción del proyecto de arquitectura que no permitía la pérdida de aproximadamente 1.50m en el perímetro debido al tamaño de los pilotes, dejando la última alternativa como la más factible, tanto económica, como operativamente, ya que los equipos y materiales necesarios se encontraban directamente en obra.

El primer paso fue por tanto ejecutar un muro sobre el nivel 0.00m, junto con un anclaje profundo con una carga tal que permita el equilibrio del sistema, pero que no induzca deformaciones en las estructuras vecinas. Adicionalmente, para estabilizar de forma vertical el nuevo muro y reforzar los cimientos vecinos, se ejecutaron micropilotes que atravesaron tanto el muro como el cimiento vecino. El detalle en corte de la solución ejecutada puede ser revisado en la Figura 8.

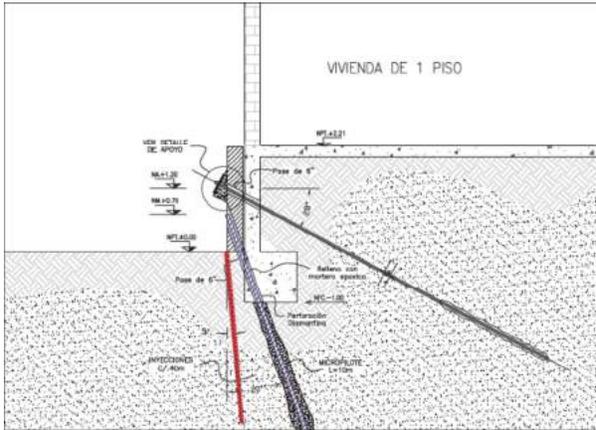


Figura 8. Detalle en sección del refuerzo en la zona de rellenos mediante anclajes profundos, micropilotes e inyecciones lanza.

El siguiente problema fue lograr la ejecución del primer nivel de excavación sin que el relleno suelto se deslice. Para ello, se ejecutaron inyecciones tipo lanza cada 40cm, que consisten en la introducción de una barra hueca del tipo TITAN40/16 en el suelo hasta una profundidad dada y el retirado de la misma por etapas, inyectando lechada de cemento a presión a través del orificio central de la barra en cada una de las etapas. De esta forma se logra mejorar el terreno en un diámetro aproximado de 20cm alrededor de la inyección, con lo

cual se forma un estrato de suelo-cemento más rígido que no deja que el suelo se deslice con facilidad, permitiendo así la excavación para la ejecución del siguiente nivel de muros.

La altura de excavación máxima del siguiente nivel fue de 2.50m

El cálculo para determinar las fuerzas requeridas de los anclajes se realizó en el programa GGU-RETAIN® y las verificaciones de estabilidad del talud se realizaron en el programa GGU-STABILITY®. La Figura 11 muestra la verificación de estabilidad después de la primera fase de excavación, donde se modeló el aporte del anclaje, el micropilote y la inyección, obteniendo un factor de seguridad de 1.30, adecuado para la fase constructiva.



Figura 9. Barras del tipo TITAN 40/16 empleadas para la ejecución de las inyecciones lanza

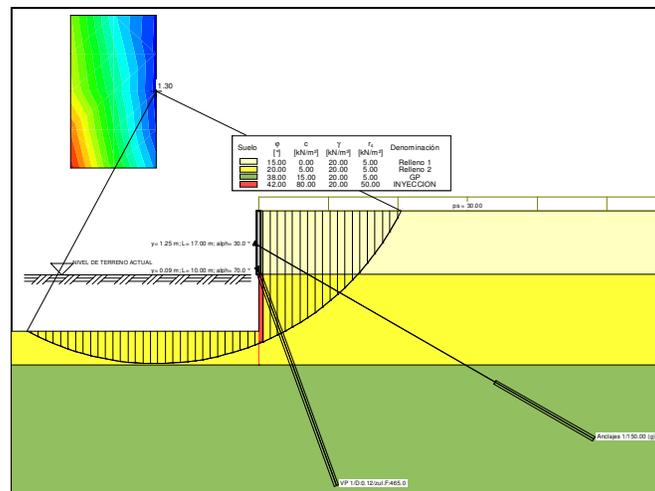


Figura 10. Verificación de la estabilidad de la primera excavación en el programa GGU-STABILITY®

Una vez lograda la primera excavación con éxito, se ejecutó la segunda línea de anclajes, dejando el talud estable para continuar de la misma manera hasta alcanzar el nivel de cimentación del proyecto.



Foto 4. Se aprecia la primera fase de excavación por debajo del muro con anclajes profundos y micropilotes. La zona de rellenos se mejoró con inyecciones tipo lanza.

En total se ejecutaron 5 filas de anclajes para alcanzar el nivel de cimentación proyectado. La Figura 11 muestra las verificaciones de estabilidad y el cálculo de equilibrio de la excavación en el estado definitivo para la determinación de los empujes del suelo, las cargas de los anclajes y las deformaciones esperadas en el muro.

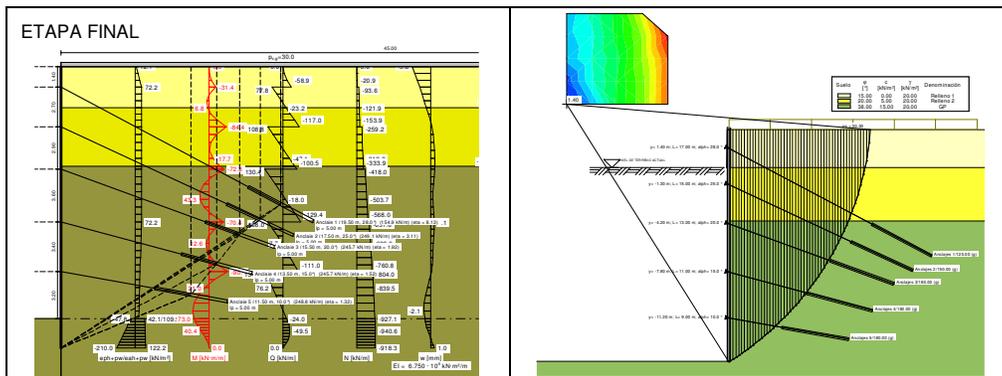


Figura 11. Izq.: Determinación de la fuerza requerida para los anclajes y cálculo de deformaciones. Der.: Verificación de la estabilidad del talud

Con esta solución se logró concluir con éxito la excavación en este eje, empleando la técnica de muros anclados al igual que en los demás ejes que no presentaron problemas de desmoronamiento.



Foto 5. Se aprecia el muro del eje 7 del proyecto concluido con las 5 líneas de anclajes ejecutadas.

4. Conclusiones

El Proyecto de las nuevas oficinas de la empresa GyM fue un proyecto atípico en el que se tuvieron que emplear soluciones geotécnicas innovadoras para los diversos problemas que se presentaron. La solución ejecutada en el eje 7 del proyecto, con refuerzos mediante micropilotes e inyecciones resultó eficiente, segura y mucho más económica que las demás soluciones que se habían estudiado, dando así un ejemplo constructivo a seguir para otros proyectos en los que se presenten situaciones parecidas.

Por otro lado, la estructura del tipo top-down que se realizó para el nuevo emplazamiento de la subestación, fue la primera que se realizó en el Perú, con lo que se demostró que es posible pensar en soluciones constructivas acordes con el estado del arte en el mundo. Actualmente se cuenta con la maquinaria y el conocimiento de ingeniería suficiente para aplicar este tipo de soluciones en cualquier proyecto que requiera la ejecución rápida de la estructura, por ejemplo en estacionamientos subterráneos en zonas de calles, donde es necesario restituir rápidamente el tráfico en la superficie.

Finalmente, no se debe dejar de lado los otros sectores que también se concluyeron con éxito empleando la tecnología del muro anclado, cuyo método permite que el muro de estabilización se convierta finalmente en el muro definitivo de la estructura, hecho que produce un inmenso ahorro económico y la maximización del espacio disponible del terreno.

5. Referencias bibliográficas

- [1]. Weissenbach. Baugruben (Excavaciones). Parte 3 (1977).
- [2]. Ranke, Ostermayer. Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugrubenumschließungen (Una contribución al cálculo de estabilidad de muros de excavaciones sostenidos por anclajes múltiples). Die Bautechnik 45 (1968).
- [3]. Franke, Heibbaum. Ein Beitrag zum Nachweis der Standsicherheit auf der tiefen Gleitfuge (Una contribución para la verificación de la estabilidad en la línea de falla profunda). Bauingenieur 63 - Pags. 391 – 398 (1988).
- [4]. Feddersen. Verpreßanker im Lockergestein (Anclajes inyectados en suelos). Der Bauingenieur 49 - Pags. 302 – 310 (1974).
- [5]. Anderson / Hanna / Abdel-Malek. Overall Stability of Anchored Retaining Walls. JGED - ASCE - Vol 109 - Nov. (1983).
- [6]. Sociedad alemana de suelos y fundaciones. Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) (Recomendaciones de la comisión de trabajo para Excavaciones). (2006).
- [7]. Bustamante, M. Un método para el cálculo de los anclajes y los micropilotes inyectados, Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. (1986).
- [8]. Norma DIN 4125; "Anclajes Inyectados". (1990).
- [9]. Norma DIN 4128; "Micropilotes Inyectados". (1983).
- [10]. Norma DIN 1054; Subsoil; – Verification of the safety of earthworks and foundations. (2005).
- [11]. EAP Recomendaciones de la comisión de trabajo para obras de pilotes. Ernst & Sohn (2007)
- [12]. Hanisch J., Katzenbach R. Estructuras combinadas de losas y pilotes.. Ernst & Sohn (2002)
- [13]. Seitz J.M., Schmidt H.G.. Pilotes perforados. Ernst & Sohn 2000
- [14]. GGU-Software. Manuales y cursos de capacitación. www.ggu-software.com