

**Aspectos constructivos, consideraciones de diseño y
monitoreo de muros anclados en excavaciones profundas.
Caso Práctico: Edificio Cipreses Lima**

M. Saucedo, L. Raygada, G. Matos¹

1

Mariano Saucedo Sulzer, Gerente Técnico. Pilotes Terratest Peru SAC
msaucedo@terratest.com.pe

Luis Raygada Rojas, Ingeniero de Proyectos. Pilotes Terratest Peru SAC
lraygada@terratest.com.pe

German Matos Paucar, Ingeniero de Proyectos. Pilotes Terratest Peru SAC
gmatos@terratest.com.pe

Aspectos constructivos, consideraciones de diseño y monitoreo de muros anclados en excavaciones profundas.

Caso Práctico: Edificio Cipreses Lima

M. Saucedo, L. Raygada, G. Matos

RESUMEN

La tecnología del Muro Anclado se ha establecido en la ciudad de Lima como una de las preferidas para realizar los trabajos de estabilización de excavaciones profundas en zonas urbanas. Esto se debe principalmente a las características del suelo que presenta esta ciudad, especialmente en las zonas de mayor construcción en altura como Miraflores y San Isidro, donde el suelo presenta parámetros de resistencia muy altos y no existe presencia de nivel freático. Estas condiciones son ideales para la aplicación del Muro Anclado, ya que permite la excavación secuencial mediante el uso de paneles intercalados. El presente artículo muestra los aspectos constructivos, las consideraciones de diseño y los trabajos de monitoreo final de los muros anclados ejecutados en el proyecto “Edificio Cipreses”, ubicado en el distrito de San Isidro en la ciudad de Lima, mediante los cuales se determinó con precisión la deformación real que sufre el suelo debido a la excavación.

PALABRAS CLAVE: Muro anclado, Anclajes, Entibaciones, Excavaciones profundas, Inclinómetro, Monitoreo geotécnico, Deformaciones en muros.

1. INTRODUCCIÓN

El método constructivo del muro anclado utiliza a la vez los muros perimetrales de la estructura como elementos de contención para la excavación de los sótanos, lo cual permite llegar a fondos de cimentación profundos optimizando costos, espacio y tiempos de trabajo.

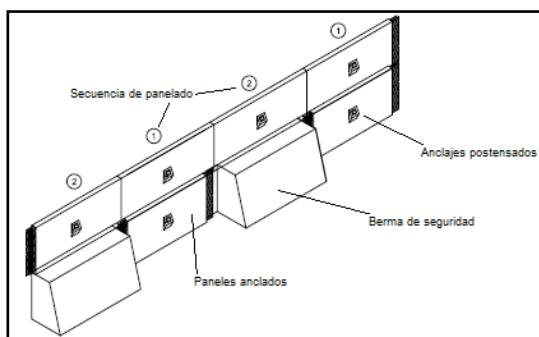


Figura 1. Secuencia de ejecución de un muro anclado

Para resistir los empujes laterales del suelo y las sobrecargas vecinas, los muros son reforzados con anclajes postensados que otorgan un alto grado de seguridad durante los trabajos de excavación. La construcción de los muros se ejecuta por etapas, abriendo paneles intercalados en el terreno. Una vez que los paneles se encuentran debidamente tensados, se procede con la construcción de los paneles contiguos. Una vez que todo un nivel de muro se encuentra completamente anclado, se procede con el siguiente nivel de excavación para conformar el nuevo anillo de muros y así sucesivamente hasta llegar al fondo de cimentación deseado.

2. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Debido a que los muros anclados son a la vez los muros perimetrales de la estructura definitiva, los

mismos llevan desde un principio la armadura estructural definitiva, incluido un refuerzo adicional en la zona de los anclajes. Como la construcción se realiza por partes, se deben dejar los empalmes listos para la conexión con los muros contiguos e inferiores. Asimismo, se dejan marcados los puntos de conexión con las futuras vigas y losas del edificio. Las columnas embebidas en el muro llevan igualmente la armadura definitiva, permitiendo así que las columnas se construyan de arriba hacia abajo.



Figura 2. Paneles primarios en proceso constructivo del muro anclado. Foto obra “Edificio Cipreses”.

Una vez ejecutados y tensados los paneles primarios, se procede con la ejecución de los paneles secundarios. La longitud de los paneles dependerá del tipo de estructura vecina. Si existen muros frágiles o estructuras muy altas en los terrenos colindantes, se tratará de reducir la longitud de los paños para aminorar el riesgo de asentamiento en los vecinos.

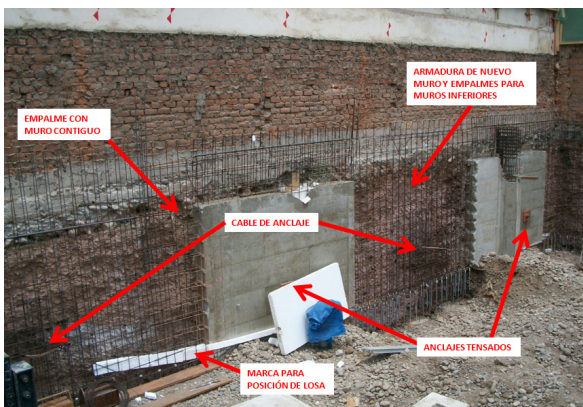


Figura 3. Paneles secundarios en proceso constructivo del muro anclado. Foto obra “Edificio Cipreses”.

La construcción requiere orden y un tren de trabajo adecuado, con una excelente coordinación entre los trabajos de perforación de anclajes, el perfilado del

terreno, la construcción del muro y el tensado final de los anclajes para dar paso al siguiente estado constructivo. Si se trabaja de forma segura, sin abrir longitudes mayores a las que manda el diseño geotécnico, es posible lograr grandes profundidades de excavación sin dañar las estructuras vecinas y ofreciendo seguridad a los trabajadores en la obra.



Figura 4. Muro anclado concluido e inicio de los trabajos de cimentación. Foto obra “Edificio Cipreses”.

El destensado final de los anclajes se realiza cuando las losas de la nueva estructura emergente son capaces de tomar la carga del empuje del suelo. De esta manera, los anclajes son destensados de forma paulatina conforme va subiendo la estructura. Los muros deben estar por tanto diseñados para resistir la carga de los anclajes en la etapa constructiva y la carga del suelo con el soporte de las losas en el estado definitivo.

3. DISEÑO DEL MURO ANCLADO DEL PROYECTO “EDIFICIO CIPRESSES”

El diseño del proyecto “Edificio Cipreses” se realizó mediante métodos de equilibrio límite, con lo que se obtuvo un valor de la longitud y carga necesaria de los anclajes. Posteriormente, conocidos estos valores, se calculó el sistema en un modelo de elementos finitos, con la finalidad de determinar las deformaciones máximas del muro en su etapa final y durante las etapas constructivas.

Para el diseño se consideraron las fases constructivas en las que no existe muro, por lo que no se analizó solamente la falla global del talud, sino también las

fallas locales durante las etapas constructivas.

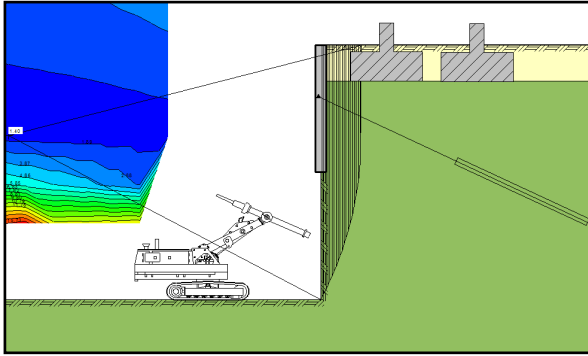


Figura 5. Verificación de estados constructivos en programa de equilibrio límite GGU-STABILITY

El diseño mediante el método de equilibrio límite considera al muro como una viga en voladizo, sobre la que actúa una sobrecarga debida al empuje del suelo, y donde cada uno de los anclajes hace las veces de un apoyo, permitiendo así realizar un análisis estático para determinar las reacciones en los apoyos (cargas de los anclajes), las solicitaciones actuantes en el muro (momentos, cortantes y normales) y finalmente la deformación del muro.

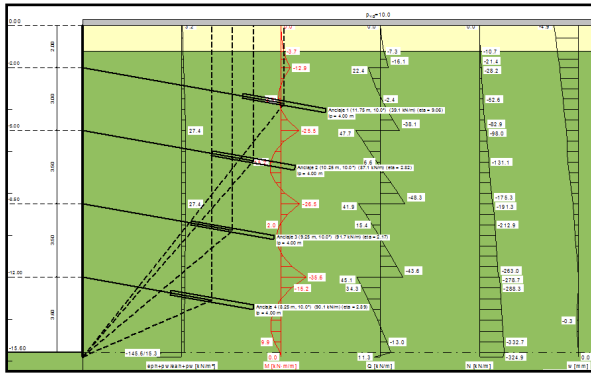


Figura 6. Diseño en el programa GGU-RETAIN del muro anclado mediante el método de equilibrio límite del muro

El diseño mediante el método de equilibrio límite se realizó con el programa GGU-RETAIN de origen alemán, en el cual también es posible determinar las longitudes necesarias de los anclajes, usando la denominada teoría de falla de cuña profunda, o cuña de *Kranz* (1988). Mediante esta teoría, es posible estimar la longitud necesaria de un anclaje, de forma que el terreno no falle por detrás de los anclajes (Véase la Figura 8).

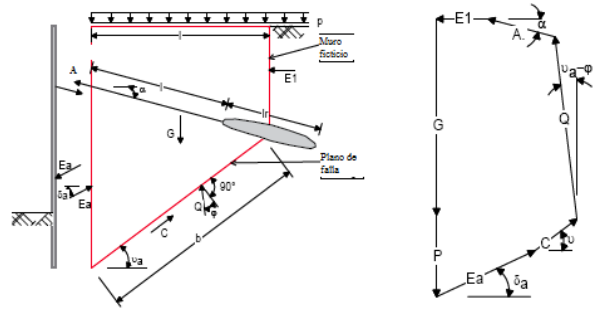


Figura 8. Diagrama de fuerzas actuantes en la cuña de falla profunda para determinación de la longitud adecuada de los anclajes

Una vez determinadas las fuerzas y longitudes necesarias de los anclajes, se realizó el diseño en un modelo de elementos finitos mediante el programa PLAXIS, donde se estimó con mayor precisión la deformación del suelo en cada una de las etapas constructivas, así como los empujes del suelo en la interacción suelo-estructura y las posibles zonas de plastificación del suelo. La Figura 7 muestra el modelo de elementos finitos deformado luego del cálculo de todas las fases constructivas, así como la deformación máxima obtenida, con un valor de 8.3mm, mientras que la deformación calculada en la corona del muro fue de 5mm.

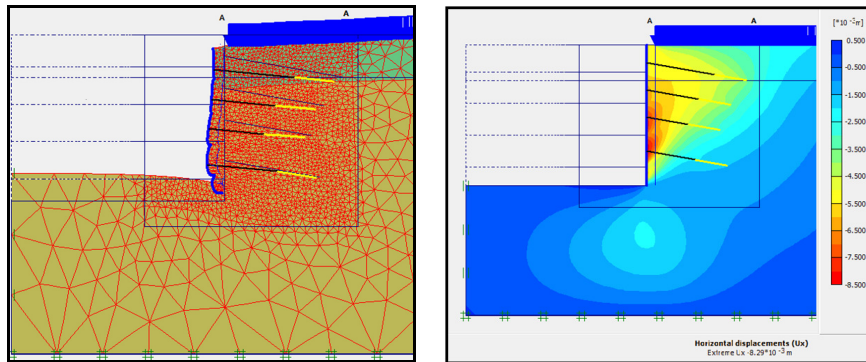


Figura 7. Izq.: Deformación del modelo de EF después del cálculo en PLAXIS (ampliada 200 veces). Der.: Rango de deformaciones obtenidas en el modelo de EF.

4. TRABAJOS DE MONITOREO

Para comprobar las deformaciones estimadas en el diseño, se realizó un programa de monitoreo del movimiento del muro anclado mediante inclinómetros. La instrumentación mediante inclinometría permite localizar y medir los desplazamientos laterales y deformaciones del terreno. Básicamente la metodología seguida para la obtención de resultados inclinométricos es la siguiente:

- Instalación de la tubería inclinométrica.
- Realización de la primera lectura, considerada medida origen. Esta lectura sirve de referencia a las posteriores, para conocer los desplazamientos existentes, y para obtener el perfil de la tubería instalada.
- Medidas posteriores.



Figura 9. Personal técnico durante la toma de mediciones con el inclinómetro

Para las mediciones se utilizó una sonda inclinométrica biaxial de última generación del fabricante *RST Instruments Ltd*. El equipo empleado consta básicamente de los siguientes elementos:

- Tubería doblemente acanalada según dos direcciones perpendiculares entre sí, a través de las cuales se guía la sonda inclinométrica durante su descenso.
- Sonda inclinométrica biaxial, esto es, capaz de medir simultáneamente según dos direcciones perpendiculares entre sí.
- Unidad de lectura PDA wireless, apta para sonda biaxial, la cual registra de forma inalámbrica la deformación de la tubería cada 0,5 m.

Las mediciones se realizaron durante todas las fases constructivas. Con esto fue posible corroborar los

movimientos del muro que se presentan cuando se excava un nuevo nivel, durante el perfilado del terreno para el vaciado de los muros y luego del tensado de los anclajes. El desplazamiento máximo medido con el inclinómetro fue de 6.5mm, el cual se dio, a nivel de la corona del muro una vez alcanzada la cota final de excavación.

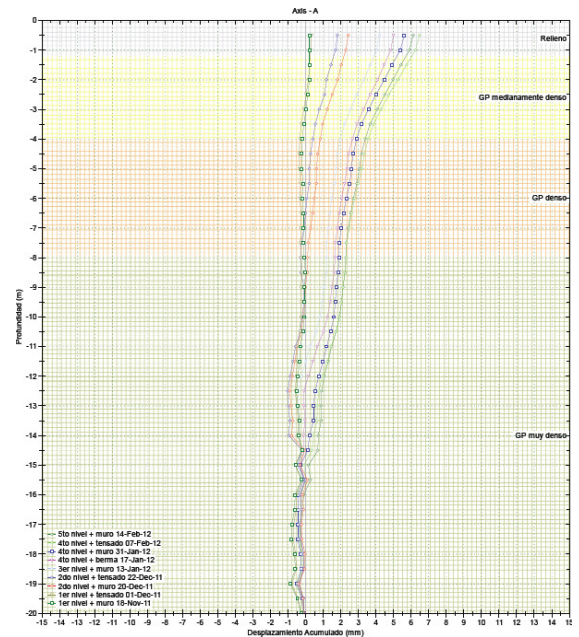


Figura 10. Gráfico de desplazamientos obtenidos durante cada fase constructiva del muro anclado

5. CONCLUSIONES

El muro anclado es un método constructivo, que permite lograr grandes profundidades de excavación de forma segura, controlando las deformaciones del suelo y aumentando la resistencia en el plano de falla mediante la fuerza que transfiere el bulbo de los anclajes al suelo por detrás del plano de falla.

Este método es aplicable en suelos con rigidez suficiente para mantenerse estables durante la fase inicial, donde es necesario realizar excavaciones antes de la ejecución de los primeros anclajes. Para evitar deformaciones debidas al proceso constructivo, es también de suma importancia que los paneles en el primer nivel no excedan la altura máxima definida en el diseño y que se respete la construcción intercalada de los muros en el menor ancho posible, para que las estructuras vecinas no pierdan soporte. Una vez ejecutada y tensada la primera línea de anclajes, es

posible realizar excavaciones mayores en los niveles inferiores, siguiendo los lineamientos establecidos en el diseño de cada proyecto.

En el proyecto específico “Edificio Cipreses” se siguió un proceso constructivo adecuado, mediante la apertura intercalada de paños para no desestabilizar el terreno y siguiendo las alturas máximas de cada etapa según el diseño, lo cual permitió terminar la obra sin contratiempos y de forma segura.

En el modelo de EF se calculó una deformación final en la corona de 5mm, tomando en cuenta todas las fases de excavación, mientras que la deformación real obtenida en la medición fue de 6.5mm, mostrando una gran concordancia entre la medición real y las estimaciones realizadas en los modelos matemáticos.

Con los resultados de las mediciones, se calibraron los parámetros que Pilotes Terratest utiliza para el cálculo de sus proyectos, permitiendo realizar diseños cada vez más próximos a la realidad. Esto otorga un mayor grado de confiabilidad y permite realizar proyectos cada vez más óptimos y seguros.

La realización de mediciones en proyectos de excavación profundos es recomendable, no solo para confirmar las deformaciones que se han estimado en el diseño, sino para alertar en caso de producirse deformaciones mayores a las que se estimaron. Con las mediciones inclinométricas, Pilotes Terratest incorpora un servicio de vanguardia, basado no solo en el diseño de los muros anclados, sino en el seguimiento controlado de las excavaciones.

6. REFERENCIAS

- [1] Baugruben (Excavaciones). Weissenbach (1977).
- [2] Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugrubenumschließungen (Una contribución al cálculo de estabilidad de muros de excavaciones sostenidos por anclajes múltiples). Ranke / Ostermayer (1968). Die Bautechnik 45 - Pags. 341 – 350.
- [3] Ein Beitrag zum Nachweis der Standsicherheit auf der tiefen Gleitfuge (Una contribución para la verificación de la estabilidad en el plano de falla profundo). Franke / Heibaum (1988). Bauingenieur 63 - Pags. 391 – 398.
- [4] Verpreßanker im Lockergestein. Anclajes inyectados en suelos. Feddersen (1974). Der Bauingenieur 49 - Pags. 302 – 310.
- [5] Overall Stability of Anchored Retaining Walls. Anderson / Hanna / Abdel-Malek. JGED - ASCE - Vol 109 – Nov 1983.
- [6] Empfehlungen des Arbeitskreises “Baugruben” (EAB - Recomendaciones de la comisión de trabajo: Excavaciones). Sociedad alemana de suelos y fundaciones. (2006)
- [7] Standard test method for monitoring ground movement using probe-type inclinometers – ASTM 6230 – 98 reapproved (2005)
- [8] RST Instruments. www.rstinstruments.com
- [9] GGU-Software. www.ggu-software.com
- [10] PLAXIS. www.plaxis.nl