

Contenciones mediante micropilotes para excavaciones profundas en la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

Miguel Sánchez Cuenca^a, Enmanuel Carvajal Díaz^a, Jorge Melo Ramírez^b

^a*Keller Cimentaciones S.L.U.*

^b*Keller Cimentaciones de Latinoamérica, S.A. de C.V.*

Abstract. Las contenciones de excavaciones mediante el uso de micropilotes suponen una alternativa a las contenciones convencionales, especialmente en entornos urbanos donde los problemas de accesos, gálibos y el uso de maquinaria pesada pueden suponer una dificultad añadida. El alto aprovechamiento de la superficie del predio resulta en una alternativa esencial, especialmente en núcleos históricos.

Keywords. Micropilotes, excavación, flexibilidad, versatilidad.

1. Introduction

En ocasiones no resulta posible, o resulta antieconómico, la realización de contenciones de excavaciones con métodos tradicionales mediante muros colados en zanja, muros de pilas coladas o muros descendentes anclados, por mencionar algunos.

La utilización de una contención mediante micropilotes supone una buena alternativa ya que ofrece una gran flexibilidad en cuanto a ejecución se refiere. El uso de pequeños diámetros permite un gran aprovechamiento de la superficie edificable.

La adaptabilidad de la maquinaria empleada permite trabajar en entornos donde la maquinaria pesada queda totalmente descartada, en zonas de gálibo muy reducido o de muy difícil acceso. Se pueden perforar micropilotes en cualquier tipo de terreno con unos rendimientos muy superiores a los sistemas de perforación de la maquinaria convencional de cimentaciones pesadas. Se pueden realizar micropilotes con cualquier inclinación y su método de instalación tiene nula incidencia sobre las estructuras adyacentes.

2. Definición de un micropilote.

La Norma europea EN 14199:2006 [6] define los micropilotes como “elementos estructurales que transfieren cargas al terreno y que contienen elementos portantes para transferir directa o indirectamente las cargas y/o limitar deformaciones. Su resistencia por fuste o por punta puede ser mejorada (generalmente mediante la inyección de lechada)”. Esta definición, en gran parte, coincide con la de pilas o pilotes pero la

diferencia principal la marca el diámetro del micropilote, que debe ser menor o igual a 300 mm.

La Federal Highway Administration (FHWA) [3] también limita el diámetro de los micropilotes a 300 mm (12 pulgadas) para ser considerado como micropilote, y destaca que la gran parte de la capacidad estructural del micropilote viene determinada por la armadura de acero, a diferencia de las pilas y los pilotes convencionales donde el concreto resulta ser la parte resistente predominante.

3. Aplicación de los micropilotes en contenciones de excavaciones.

Generalmente, un micropilote convencional para contenciones está formado por una armadura tubular, que supone el elemento resistente, colocada en una perforación de 300 milímetros o menos e inyectada con lechada de cemento (Figura 1).



Figura 1. Partes constituyentes de los micropilotes habituales usados en contenciones.

El pequeño diámetro de los micropilotes limita la rigidez a flexión en gran medida por lo que la forma tubular resulta óptima por tener la mayor relación de inercia con respecto a su área. Por otro lado, debido a la baja rigidez a flexión de los micropilotes por su escasa sección, es conveniente también utilizar aceros de alto límite elástico. Por todo ello, la tubería de perforación de acero tipo N-80 de denominación API usados en la industria petrolífera resultan perfiles muy adecuados para las contenciones mediante micropilotes.

Una de las ventajas fundamentales de las contenciones realizadas con micropilotes en ámbitos urbanos es el mayor aprovechamiento del terreno edificable disponible con respecto a muros de pilas o muros colados en zanja convencionales. La maquinaria utilizada en la ejecución de micropilotes es capaz de perforar el eje del micropilote a una distancia de 25 cm con respecto al muro de la edificación vecina adyacente a la excavación, por lo que, en el peor de los casos, el ancho de ocupación de la contención para un diámetro del micropilote de 300 mm sería de unos 40 cm, lo cual aumenta el aprovechamiento máximo del espacio edificable en comparación con otras técnicas de sostenimiento (Figura 2).



Figura 2. Máximo aprovechamiento del espacio edificable con la técnica de micropilotes

Las dimensiones de la maquinaria empleada en la ejecución de micropilotes permiten su utilización en condiciones de espacio reducido y geometrías complicadas. Además, el impacto de la instalación sobre edificaciones vecinas resulta mínimo por lo que es ideal en ambientes urbanos residenciales (Figura 3).



Figura 3. Adaptabilidad y versatilidad de la maquinaria de micropilotes en ambientes urbanos

4. Características diferenciales de las contenciones mediante micropilotes.

Las dimensiones y características intrínsecas de los micropilotes implican una serie de particularidades tanto estructurales como geotécnicas

Las contenciones de micropilotes se encuadran dentro de los sistemas flexibles en comparación con los sistemas de retención de pilas o muro colados en zanja, lo cual tiene sus implicaciones. A continuación, se repasan las especificidades estructurales y geotécnicas de las contenciones realizadas con micropilotes.

4.1. Características específicas estructurales

Los micropilotes presentan una comparativamente baja rigidez a flexión, lo cual supone limitaciones en cuanto a la distancia entre apoyos del muro de micropilotes. Normalmente, y como regla general, se requiere un apoyo cada 3-3,5 metros en las zonas de mayor profundidad de la excavación pudiendo ir a 4 o 5 metros si se trata de los primeros metros del vaciado. Afortunadamente, estas separaciones óptimas entre apoyos suelen coincidir con las distancias entre losas de sótanos habituales en edificaciones. Con esta separación entre apoyos se controlan las flexiones en las armaduras y se limitan las

deformaciones. Existen otras configuraciones que permiten mayores distancias entre apoyos del muro de contención, pero se suelen alejar del óptimo económico y de las dimensiones de armaduras habituales.

Todo lo anterior supone que la presencia de voladizos en los primeros metros de los muros de micropilotes resulta desaconsejable, especialmente junto a edificaciones vecinas, por lo que siempre es conveniente un apoyo en la viga de unión de las cabezas de los micropilotes.

Entre los aspectos a tener en cuenta están las posibles excentricidades, tanto geométricas como mecánicas, en el arranque de los pilares que apoyen sobre la viga de coronación del muro de micropilotes. Normalmente dichas excentricidades deben resolverse mediante soluciones de la propia estructura de edificación ya que la rigidez del muro puede resultar insuficiente.

Otra de las particularidades de los micropilotes son los medios de unión de los distintos tramos de armaduras tubulares. Se debe conocer cual es el desempeño y las limitaciones resistentes que suponen estos medios de unión mediante ensayos a flexión preferiblemente (Figura 4) o mediante referencias altamente contrastadas.



Figura 4. Estudio experimental sobre el comportamiento estructural de uniones de micropilotes. AETESS. España. 2009. Tomada de [8]

4.2. Características específicas geotécnicas

La flexibilidad de los sistemas de contención mediante micropilotes permite considerar que, en casi todas las situaciones más habituales de excavaciones, el suelo se encuentre en su estado límite de empuje activo para los suelos habituales.

La reducida sección de los micropilotes desempeña un papel fundamental en cuanto al comportamiento geotécnico del sistema de contención de la excavación. El hecho de que presente unos diámetros reducidos resulta en un análisis en tres dimensiones del empotramiento bajo el nivel de excavación, que a su vez tiene implicaciones en la magnitud de los empujes que han de recoger tanto los apoyos del muro como los elementos resistentes estructurales del micropilote, es decir, las armaduras, y en la resistencia pasiva del suelo en el empotramiento de los micropilotes bajo el nivel máximo de excavación.

La reducida sección del micropilote provoca un incremento importante de las tensiones en el contacto del terreno con la generatriz del micropilote en el lado de la excavación, el lado de resistencia pasiva. Como consecuencia, se produce una

plastificación del terreno y un ligero desplazamiento hacia el interior de la excavación de la parte enterrada del micropilote hasta alcanzarse el equilibrio estático. Este ínfimo desplazamiento provoca una descarga de las presiones del terreno del trasdós hacia el suelo situado en el intradós (lado de resistencia pasiva del terreno), es decir, se produce un efecto arco dentro del suelo por debajo del nivel máximo de excavación que descarga por completo los micropilotes en la parte enterrada. Como consecuencia, los micropilotes no se encuentran solicitados por el empuje activo en su parte enterrada desde la cota de máxima excavación hasta la punta del micropilote. En la figura 5 se presenta un esquema del comportamiento descrito.

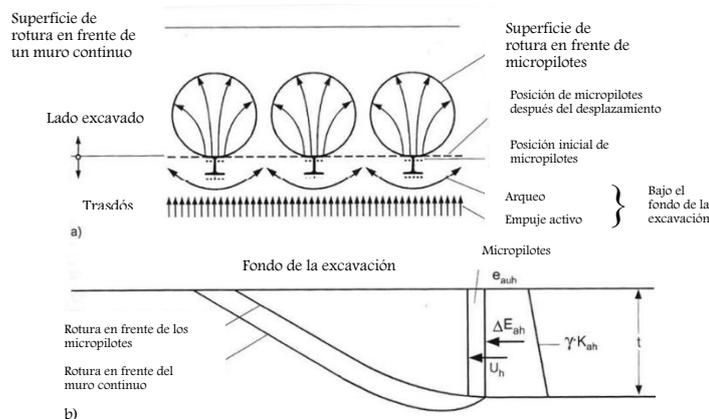


Figura 5. a) Efecto arco horizontal de descarga desde el fondo de la excavación hasta la punta de los micropilotes. b) mecanismo de resistencia pasiva del terreno por debajo de la máxima excavación en muros de micropilotes comparado con muros continuos. Tomada de [1]

Este efecto también tiene consecuencias en la forma y, por consiguiente, la magnitud del empuje o resistencia pasiva del suelo bajo el nivel de máxima excavación. Como se puede ver en la Figura 5b, la superficie de rotura en estado pasivo del suelo para el caso del muro de micropilotes difiere de un muro que pueda considerarse continuo.

Todo lo anteriormente expuesto incide a su vez en las solicitaciones, tanto en el muro de micropilotes como en los apoyos del mismo. Como se puede observar en la figura 6, la forma y magnitud de la redistribución del empuje utilizando un análisis mediante estados límite del suelo, es distinta si se trata de un muro de micropilotes o de uno continuo. Obsérvese como el empuje activo que produce solicitaciones sobre los micropilotes se limita únicamente a la parte que está por encima del fondo de excavación, a diferencia de los muros continuos.

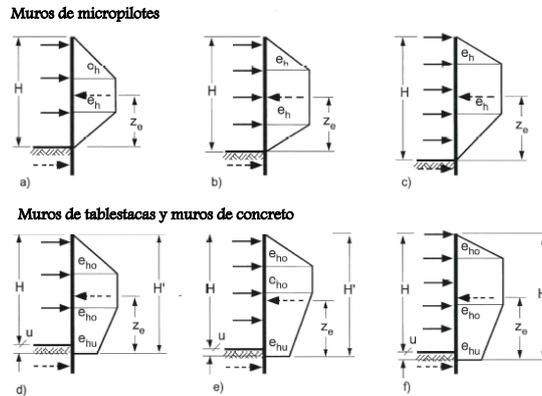


Figura 6. Distribución de empujes recomendada por EAB [4] para muros de micropilotes y para muros continuos. Tomada de [1]

Todo esto se debe tener en cuenta si se quiere analizar un muro de micropilotes en modelos y programas de cálculo en dos dimensiones.

5. Muros de contención de micropilotes en el área metropolitana de Monterrey.

Como ejemplo de aplicación se expone el proyecto y construcción de una contención mediante micropilotes en el término municipal de San Pedro Garza García, en el Estado de Nuevo León en México.

Se trata de la contención mediante micropilotes de una excavación para la ejecución de 4 niveles de sótanos en el Proyecto Amadeus. Las dimensiones en planta de la zona de sótanos eran de unos 25 metros de ancho por 44 metros de largo con una superficie aproximada de 1.118 m². La excavación máxima era de 15 metros desde la cota de terreno natural.

En este caso en concreto, la competencia de los micropilotes se basaba fundamentalmente en un mayor aprovechamiento de la superficie de edificación, aumentado la superficie útil en comparación con la solución inicial de proyecto. Esta solución consistía en la ejecución de pilas coladas in situ con un diámetro de 1,5 metros.

La solución alternativa consistió en un muro de micropilotes de 200 mm de diámetro de perforación, con una separación entre ejes de 50 cm y una armadura tubular de 139,7 x 8,8 mm de calidad de acero N-80 API.

Las características geotécnicas del sitio para el cálculo de presiones y estabilidad de la excavación, se incluyen en la tabla 1. El nivel freático apareció a la profundidad de 19 metros, por lo que no afectó a la excavación.

Tabla 1. Parámetros resistentes Mohr-Coulomb para el cálculo de presiones y estabilidad de la excavación

Tipo de suelo	Cota superior (m)	Ángulo de rozamiento (°)	Cohesión (kPa)	Densidad aparente (kN/m ³)
Arcilla café oscura	0,00	10	20	17
Arcilla limosa con gravas de consistencia muy dura	1,00	25	40	18
Arcilla limosa de consistencia muy dura	4,00	25	50	19

Debido a la dificultad de realizar anclajes por gestión de los permisos correspondientes, y dado el estado de avance del proyecto, se optó por utilizar el método de construcción tipo top-down, por lo que, en todo momento, las losas de los sótanos realizaron la función de apoyo del muro de contención de micropilotes.

Como se puede observar en la tabla 1, se trata de suelos muy competentes desde el punto de vista de desarrollo de empujes sobre el muro de micropilotes. Este tipo de suelos cohesivos de alta resistencia al corte suelen dar lugar a empujes muy bajos que, en ocasiones, resultan despreciables en cuanto los efectos de sus empujes sobre los micropilotes se refiere. Para evitar sobrestimaciones de resistencias al corte o minimizar los peligros de posibles fallas o planos de rotura preferente no detectados durante la exploración geotécnica, es prudente y necesario seguir las recomendaciones de ciertos códigos y normas de edificación que recomiendan la imposición de un valor mínimo del empuje de los suelos a considerar en todas las situaciones. En este caso se aplicó el criterio de la Norma DIN 4085 que establece que la presión horizontal del suelo deber ser siempre como mínimo el 20% de la presión efectiva vertical a cada profundidad, lo que se traduce, a efectos prácticos, en considerar un coeficiente de empuje activo mínimo de valor $k_{ah}=0,20$.

En la figura 7 se puede ver un alzado longitudinal del proyecto de contención mediante micropilote del edificio Amadeus.

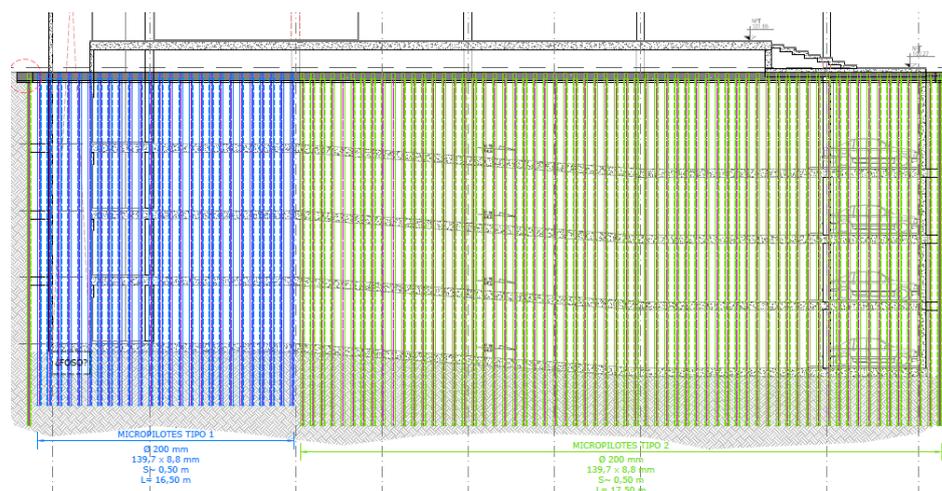


Figura 7. Alzado de la contención mediante micropilotes en el Proyecto Amadeus.

6. Conclusiones.

Las contenciones realizadas con micropilotes resultan una alternativa muy competitiva en determinadas circunstancias frente a la utilización de métodos de contención convencionales. Se convierten en la única opción viable especialmente en entornos urbanos donde las condiciones de trabajo son muy exigentes y el aprovechamiento de la superficie útil de edificación resulta imprescindible. Por otro lado, el cálculo de contenciones de micropilotes presenta algunas peculiaridades, que en un primer análisis no resultan evidentes y que han de tenerse en cuenta.

References

- [1] Geotechnical Engineering Handbook. Ernst & Sohn. Berlín 2003
- [2] Guía para el Proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carreteras. M° de Fomento. España. 2005
- [3] Micropile design and construction. FHWA. EE.UU. 2005
- [4] Recommendations on excavation EAB. Ernst & Sohn. Berlín 2003
- [5] Ground anchors and anchored systems. FHWA. EE.UU. 1999
- [6] UNE EN 14199:2006 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes. AENOR. España. 2006
- [7] Código Técnico de la Edificación CTE. Documento básico. Seguridad Estructural. Cimientos. M° de Fomento. España. 2008
- [8] Estudio experimental sobre el comportamiento estructural de uniones de micropilotes. Asociación de empresas de tecnología del suelo y del subsuelo (AETESS). España. 2009