

Nueva técnica para el recalce de estructuras

MICROPILOTAJE HINCADO POR PRESIÓN

En el presente artículo se pretende dar a conocer la técnica del micropiloteaje hincado por presión a través de su descripción, haciendo hincapié en sus ventajas frente a otros sistemas y dando una pincelada de cómo realizar su dimensionado. Por último, se incluye un ejemplo ilustrativo de una obra de reciente ejecución.

texto Miguel Ángel Monedero Frías (Ingeniero de Minas y director técnico del Departamento de Micropilotes, Geosec España)

A pesar de que la aparición de esta técnica se remonta a los años cincuenta del pasado siglo, el desarrollo de la misma en España ha sido reciente y, en este momento, seguimos explorando las posibilidades que ofrece. Su característica principal es la simplicidad comparada con las técnicas tradicionales de micropiloteaje: la maquinaria a utilizar se reduce a un gato hidráulico, un pequeño bastidor en el que colocar el gato y la centralita electrohidráulica que anima al gato.

Descripción del sistema. El sistema se basa en el anclaje del bastidor en la cimentación a recalzar, la cual hace de contraste en el momento en que el gato empuja al micropilote (figura 1). Dicho micropilote se compone de elementos modulares de 1 m de longitud, que se mecanizan para generarles una unión machihembrada, utilizando acero normalizado de calidad S355. El proceso de ejecución consiste en emplear el empuje continuo (no existe golpeo) del vástago del gato, colocado de manera vertical, para ir introduciendo el tubo de micropilote en el terreno. Una vez introducido el módulo, se enrosca el siguiente módulo y se continúa con el empuje y colocación de nuevos módulos, hasta alcanzar una

profundidad tal que la resistencia que opone el terreno a la hincada sea igual o superior a la carga de proyecto mayorada establecida para cada micropilote. Es importante subrayar que el gato permite la hincada del micropilote hasta 30 t, siendo esta la carga máxima que debe tomarse para proyectar cada micropilote en particular. Cada hincada de micropilote se monitoriza a través del manómetro certificado que está colocado en la centralita hidráulica. El responsable del equipo debe controlar que la presión alcanzada corresponde o es superior a la carga de proyecto. La conversión entre presión y carga se

realiza de manera directa a través de la sección del vástago del gato (figura 2). Este sistema conlleva las siguientes ventajas:

1. Mínima invasividad y necesidad de espacio.
2. Control del resultado individual de la hincada de cada micropilote.
3. Rapidez de ejecución. Puede doblar los rendimientos del micropiloteaje convencional.
4. Ausencia de detritus de perforación al no existir perforación.
5. Ausencia de vibraciones, no hay golpeo ni rotopercusión.
6. Ausencia de ruidos.
7. Ausencia de humos, pues la cen-



FIGURAS 1 Y 2
Equipo de trabajo y manómetro certificado de control de hincada.

tralita hidráulica funciona con energía eléctrica.

Además, existen diversas maneras de proceder a la unión del micropilote con el cimientto, dependiendo de las necesidades de cada obra. La unión se puede hacer mediante adherencia con un mortero de baja retracción y placa antipunzonamiento, con una grapa atornillada al lateral del cimientto, o con una camisa metálica solidaria con zuncho de nueva ejecución en caso de cimentaciones deficientes, no aptas para la colocación directa del micropilote.

Proceso de dimensionado.

Desde el punto de vista del encaje de este tipo de micropilotaje en las normativas actuales, en primer lugar, debe adecuarse a la norma de obligado cumplimiento que es el Código Técnico de la Edificación, pero este código no desarrolla de manera amplia el micropilotaje, por lo que es habitual acudir también a otras normas que, por costumbre, se vienen utilizando por proyectistas, ingenierías y estudios de arquitectura. En este caso, utilizamos la *Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera*, del Ministerio de Fomento que, aunque no se contempla específicamente este tipo de micropilote, sí que podemos utilizar diversos aspectos de la misma para realizar nuestros proyectos de micropilotaje.

A efectos de cálculo, para determinar la resistencia de cálculo (R_c), pueden ser incluidos en el caso de Pruebas de carga, puntos 3.3.2.2. y 3.4.2.2., de la citada *Guía*, pues cada micropilote es ensayado por el propio sistema de ejecución. Pero, por otro lado, también puede ser calculado *a priori* con los puntos 3.3.2.4. y 3.4.2.3., Correlaciones empíricas, de la misma *Guía*. En este punto pueden ser dos los métodos utilizados de cálculo de las resistencias (por punta y por fuste). Estos métodos son los propuestos tanto por el Imperial College of London, a través de su publicación *JCP Design*

Methods for Driven Piles in Sands and Clays, de Richard Jardine *et al.* (2005), como por la publicación *In Situ Testing in Geomechanics: The Main Tests*, de Fernando Schnaid (2009), en su capítulo para el caso de *Driven Displacement*.

Ambos sistemas se basan en las pruebas de carga realizadas sobre diferentes tipologías de terrenos, estableciendo para cada uno de ellos unas relaciones con parámetros específicos, que relacionan los valores de golpeo de las pruebas de penetración con las resistencias unitarias tanto por punta como por fuste.

El cálculo analítico de la profundidad de hinca necesaria para alcanzar el valor de resistencia de diseño (R_k), puede resultar significativo, sobre todo en la fase de dimensionamiento de la intervención. Pero, de hecho, en la fase de ejecución el criterio adoptado para la comprobación no será exclusivamente la obtención de la profundidad de hinca, sino también la superación de la presión de penetración de proyecto.

De cualquier forma, el proceso de dimensionado parte del conocimiento previo de las cargas a transmitir, así como de la realización del estudio geotécnico preceptivo, para, a continuación, determinar el tope estructural del micropilote a utilizar, en el cual se tendrán en cuenta los estudios de pandeo y corrosión, lo que reducirá dicho tope, siguiendo los criterios de la *Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera*, del Ministerio de Fomento, punto 3.6.1., Resistencia estructural del micropilote a compresión.

En función del valor obtenido, y conociendo la limitación de presión de hincado que el gato nos ofrece, se hace la distribución de micropilotes. La profundidad vendrá definida por las correlaciones empíricas anteriormente descritas, pero deberán ser contrastadas con el estudio geotécnico, y, sobre todo, con el criterio de superación de la presión de penetración de proyecto durante la fase de ejecución.

EL SISTEMA SE BASA EN EL ANCLAJE DEL BASTIDOR EN LA CIMENTACIÓN A RECALAR, LA CUAL HACE DE CONTRASTE EN EL MOMENTO EN QUE EL GATO EMPUJA AL MICROPILOTE

Ejemplo práctico. Para ilustrar lo anteriormente expuesto, se puede tomar como ejemplo la ejecución del recalce total de la cimentación de un edificio situado en la madrileña plaza del Marqués de Salamanca. Este edificio, construido en 1932, se enclava en lo que fue el Ensanche de Madrid, de Pedro María de Castro, y que hoy se ha convertido en el entramado urbano de mayor calidad y más demandado de la capital.

La estructura vertical está formada por muros de carga en fachadas y cerramientos de patios, y por pilares metálicos. Desde un punto de vista estructural, se considera que es metálica porticada.

Los pilares son metálicos formados por dos perfiles unidos con presillas o con una chapa continua. Las uniones son roblonadas (figura 3).

FIGURA 3
Pilares metálicos de la estructura porticada.



> **Cimentación original.** Los pilares metálicos tienen una placa base acartelada que apoya sobre una basa de granito, bajo la cual hay un plinto de ladrillo que, a su vez, apoya directamente sobre el cimiento. El cimiento es un pozo de hormigón en masa. El plinto de fábrica sobre el que nacen los pilares trabaja a tensiones excesivas en las comprobaciones realizadas y debe sustituirse. Además, el estudio geotécnico ha

constatado que los suelos sobre los que se apoya la cimentación son rellenos antrópicos de una baja capacidad portante. Por todo lo anterior, se proyecta el recalce total de la cimentación.

Solución para el recalce de la cimentación. El edificio posee una cimentación fuera de la norma actual, y presenta un terreno con unos rellenos de profundidad importante, que

EXISTEN DIVERSAS MANERAS DE UNIR EL MICROPILOTE CON EL CIMIENTO, DEPENDIENDO DE LAS NECESIDADES DE CADA OBRA

alcanzan entre 7 y 10 m de profundidad, según se puede observar en el estudio geotécnico (figura 4). Se ha optado por el recalce de toda la estructura con micropilotes hincados, de diámetro 114,3x8 mm, acero S355, realizados con presión continua, hasta alcanzar, al menos, la carga asignada a cada uno de ellos en proyecto (figura 5). Como se ha comentado antes, el control de la hincada en cada uno de los micropilotes se ha realizado me-

Ensayo tipo: DPSH
 Características: Peso de la maza: 63,5 kg.
 Altura de caída: 76 cm.
 Peso de varilla: 8 kg/m.
 Tipo de puntaza: redonda de 20 cm2 de sección.

GRÁFICO PENETRÓMETRO 3

PROFUNDIDAD (m)	Nº DE GOLPES
0.00-0.20	4
0.20-0.40	4
0.40-0.60	6
0.60-0.80	8
0.80-1.00	4
1.00-1.20	2
1.20-1.40	2
1.40-1.60	3
1.60-1.80	4
1.80-2.00	2
2.00-2.20	2
2.20-2.40	2
2.40-2.60	3
2.60-2.80	3
2.80-3.00	4
3.00-3.20	3
3.20-3.40	3
3.40-3.60	3
3.60-3.80	3
3.80-4.00	5
4.00-4.20	4
4.20-4.40	4
4.40-4.60	3
4.60-4.80	3
4.80-5.00	2
5.00-5.20	2
5.20-5.40	3
5.40-5.60	3
5.60-5.80	3
5.80-6.00	3
6.00-6.20	5
6.20-6.40	5
6.40-6.60	4
6.60-6.80	3
6.80-7.00	11
7.00-7.20	16
7.20-7.40	18
7.40-7.60	23
7.60-7.80	26
7.80-8.00	32
8.00-8.20	45
8.20-8.40	71
8.40-8.60	100
8.60-8.80	
8.80-9.00	
9.00-9.20	
9.20-9.40	
9.40-9.60	
9.60-9.80	
9.80-10.00	

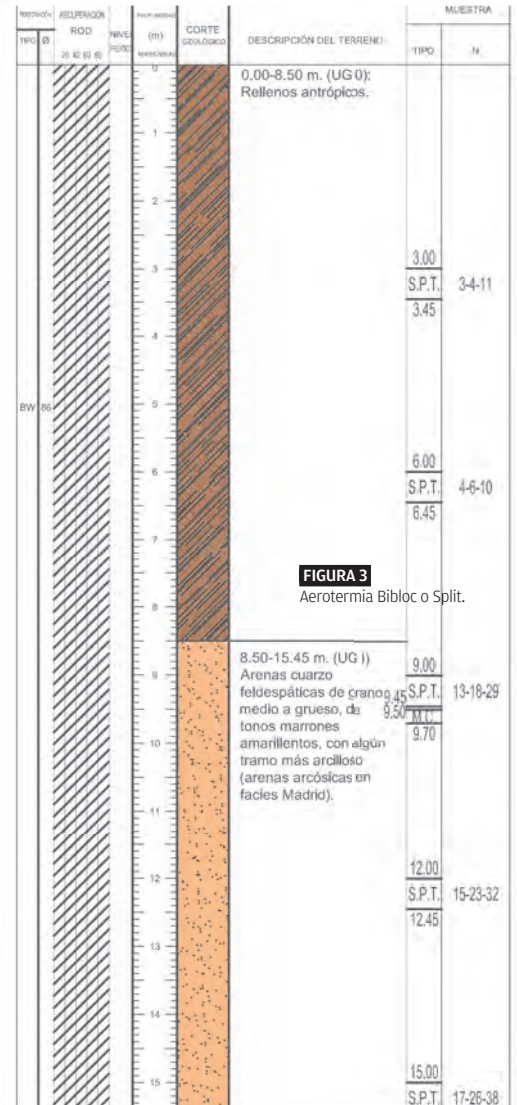
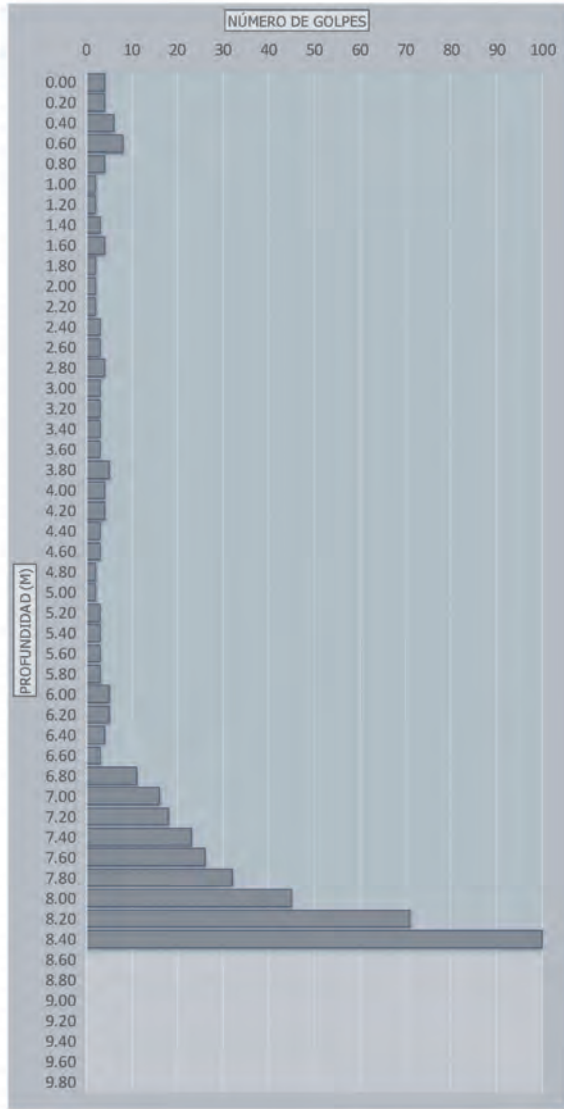


FIGURA 3
 Aeroterminia Bibloc o Split.

FIGURA 4
 Penetrómetro DPSH y sondeo geotécnico.



FIGURA 5 Tubería para micropilotes de diámetro 114,3 mm y espesor 8 mm.



FIGURA 6 Camisa metálica embebida en encepado provisional.



FIGURA 7 Proceso de hincado del micropilote por presión continua.

diente manómetro certificado, unido a la centralita electrohidráulica, midiendo la presión de hincado, que equivale a la fuerza en kN asignada a cada micropilote en particular, permitiendo obtener la trazabilidad de todos y cada uno de los micropilotes. En este sentido, el objetivo perseguido ha sido el recalce de toda la cimentación, tanto de los pilares centrales como del muro de carga perimetral del edificio, garantizando la total seguridad de este.

Así pues, por un lado, la totalidad de los pilares interiores ha sido recalzada realizando un encepado provisional, para, a continuación, ejecutar los micropilotes. Estos se han hincado a través de un tubo camisa metálico, previamente colocado en el encepado provisional, que hace las veces de soporte del gato y de elemento estructural, ya que está solidarizado con la propia armadura del encepado (figura 6).

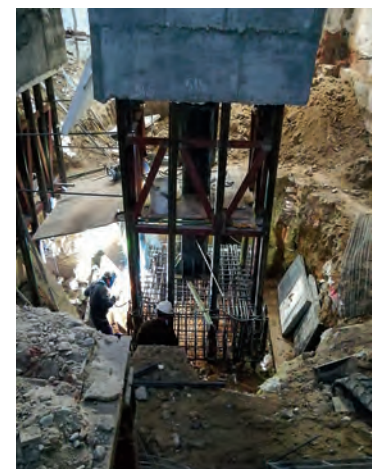
De esta manera, el tubo camisa queda embebido durante el hormigonado del encepado. Este encepado representa el elemento de contraste para poder realizar la hincado del micropi-

lote. Una vez hormigonados los encepados provisionales, y esperando el tiempo necesario para el fraguado y curado del mismo, se ha procedido al hincado de los micropilotes (figura 7). Por otro lado, de manera simultánea, se han ejecutado los micropilotes de muro perimetral que, en este caso, eran encepados definitivos, con los tubos camisa igualmente solidarizados. A continuación, se ha realizado

la excavación por debajo de los encepados provisionales hasta la cota final de vaciado, se ha sustituido el plinto de ladrillo y el pozo de cimentación original por una prolongación del pilar metálico y se ha procedido a la ejecución del encepado definitivo abrazando los micropilotes ejecutados (figura 8).

En definitiva, podemos concluir que el caso práctico de la plaza del

Marqués de Salamanca permite ejemplificar el ciclo completo de intervención del micropilotaje hincado, desde la valoración de su pertinencia para resolver el problema constructivo, hasta su instalación final. Como se indicaba al comienzo, es un sistema de recalce de cimentación eficiente y eficaz para determinados retos de importante complejidad. ■



FIGURAS 8 Y 9 Encepado provisional excavado y en ejecución del encepado definitivo.

BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA:

- Código Técnico de la Edificación DB-SE-C, Cimientos, 2005. Modificación por R.D. 732/2019. www.codigotecnico.org
- *Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carreteras*, Ministerio de Fomento, 2005. https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf
- Imperial College of London: *ICP Design Methods for Driven Piles in Sands and Clays*, Richard Jardine et al., 2005.
- *In Situ Testing in Geomechanics: The Main Tests*, de Fernando Schnaid, 2005