

Proyectos de **I+D+i**
2012-2014



Resistencia y sostenibilidad del pilote prefabricado hueco prolongado con un micropilote, bajo cargas verticales y horizontales

UNIVERSIDAD DE SEVILLA | RODIO-KRONSA



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA

logo
Universidad

Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Resistencia y sostenibilidad del pilote prefabricado hueco prolongado con un micropilote, bajo cargas verticales y horizontales

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y
Vivienda. Junta de Andalucía. 2013

Universidad de Sevilla, Rodio-Kronsa

Sevilla. (05-12-2013)

1. Introducción y antecedentes

Todas las estructuras, de cualquier tipo (edificios, puentes, túneles, muros, presas,...), deben mantener su integridad física para cumplir la funciones con las que se proyectaron. Para ello, es fundamental que se comporten satisfactoriamente ante las solicitaciones a las que se ven sometidas a lo largo de su vida útil. Estas solicitaciones consisten en cargas horizontales o verticales, estáticas o dinámicas, permanentes o accidentales. Todas estas cargas se transmiten de la estructura a la cimentación y de ésta al terreno. Por lo que una cimentación adecuada es fundamental para el correcto funcionamiento y durabilidad de cualquier estructura.

Si el terreno firme, que permite soportar las cargas de dichas estructuras, no está próximo a la superficie, un sistema habitual para transmitir el peso al terreno es mediante elementos verticales como pilotes. Los pilotes son elementos constructivos, utilizados para cimentación de obras, que permiten trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando éste se encuentra a una profundidad tal que hace inviable, técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas.

Dentro de la extensa tipología de pilotes existentes (de madera, hormigón, cuadrados, hexagonales, de hincas, in situ, etc.), el proyecto propuesto se centra en los de tipo prefabricado hueco de hormigón (fig.1). Se trata de un pilote de desplazamiento, introducido mediante golpeo en el terreno, lo que evita la descompresión del mismo a la vez que se elimina la producción de detritus de excavación. Esta reducción junto con la eliminación del empleo de lodos bentoníticos y hormigón fresco, al considerarlo hueco, los hace idóneos desde el punto de vista medioambiental.



Fig. 1: hincado de pilotes prefabricados

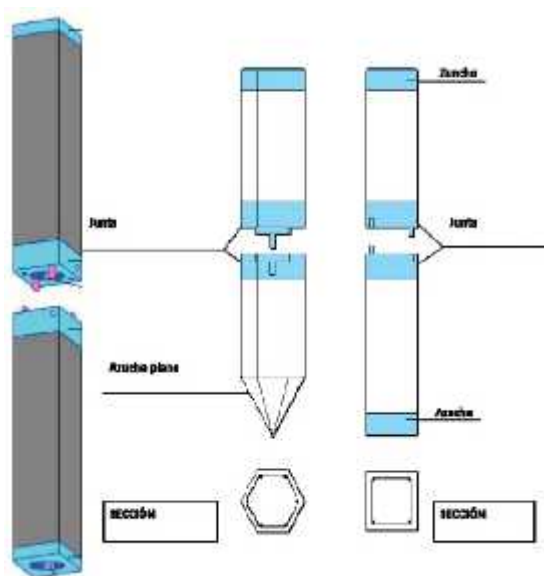


Fig. 2: secciones de pilotes prefabricados unidos por juntas metálicas

La prefabricación en factorías permanentes, como la que colabora en este proyecto, del grupo Rodio-Kronsa, con una planta de fabricación en la localidad de El Viar (pedanía de Alcalá del Río, Sevilla), garantiza la máxima calidad de ejecución y permite someter el proceso de fabricación a los imprescindibles y rigurosos controles. Dentro de la diversidad de pilotes prefabricados, el pilote prefabricado hueco patentado por Rodio-Kronsa ES 2 394 578 (fig. 2), además de las ventajas citadas

anteriormente para el medioambiente, tiene la posibilidad de introducir por el hueco distintos elementos como: sondas geotérmicas, anclajes o inyecciones.

Teniendo en cuenta las limitaciones del pilote prefabricado hincado al encontrar el rechazo contra el techo del estrato resistente, y siendo conocida la solución de prolongación de un pilote in situ con micropilotes en casos donde la dureza del terreno hace extremadamente costoso el empotramiento, se plantea la utilización de un pilote prefabricado hueco que permita la posterior ejecución de un micropilote a su través prolongando su perforación varios metros bajo la punta del pilote prefabricado de forma que el empotramiento garantice una adecuada resistencia a tracción, una mayor capacidad portante frente a empujes horizontales, cargas verticales o tracciones.

El nuevo pilote hueco de grandes dimensiones prolongado con un micropilote, se considera por tanto como algo inédito en lo que respecta a los pilotes prefabricados y se adecua a las prioridades de la convocatoria presentada por cuanto satisfacen los objetivos recogidos en el Eje Prioritario 1 del programa FEDER de Andalucía 2007-2013, concretamente con las actividades de I+D+i relacionadas con la construcción y la conservación de las infraestructuras de transporte, y con el desarrollo de estudios e investigaciones relacionados con la “construcción sostenible”, como línea estratégica definida por el PAIDI (Plan Andaluz de Investigación y Desarrollo e Innovación) en la esfera de competencias de la Consejería de Fomento y Vivienda.

2. Objetivos perseguidos y resultados previsibles

El objetivo principal del proyecto es la modelización y posterior validación de resultados, bajo pruebas de carga a escala real, de un nuevo tipo de pilote prefabricado consistente en un pilote hueco de grandes dimensiones prolongado con un micropilote.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- 1.- Revisión del estado del conocimiento y preparación de los equipos experimentales
- 2.- Programa experimental in situ e interpretación de los resultados
3. Modelización del nuevo pilote hueco con micropilote con programas tridimensionales de elementos finitos (fig. 3)
- 4.- Validación de la modelización bajo pruebas de carga a escala real: cargas vertical y lateral
- 5.- Conclusiones y posibilidad de extrapolación de resultados a otros terrenos y otros tipos de pilote. Transferencia de resultados mediante artículos, congresos internacionales y generación de patentes

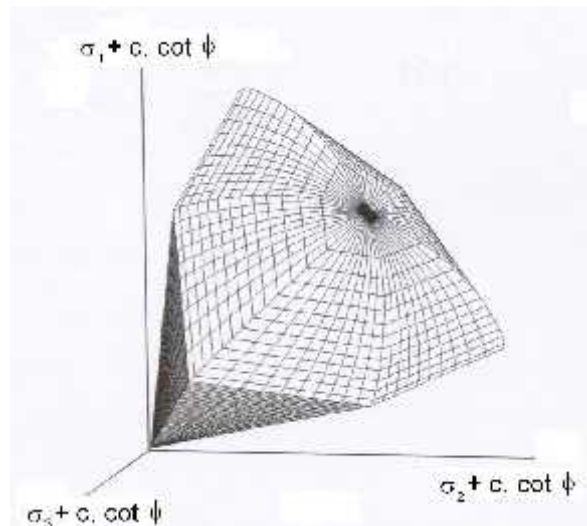


Fig.3: Superficie de fluencia. Modelo rigidezable

En lo que respecta a los resultados previsible que pueden surgir como consecuencia de este proyecto, se pueden enumerar principalmente los siguientes:

- Aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento térmico del terreno. El hueco interior del pilote prefabricado en este caso se aprovecha para introducir sondas geotérmicas de modo que se elimina la necesidad de realizar pozos geotérmicos de forma independiente a las cimentaciones. Se reduce por lo tanto el impacto medioambiental y a la vez los respectivos costes.
- Fabricación o desarrollo de unas nuevas juntas y secciones, con el fin de analizar la resistencia del pilote bajo cargas verticales y horizontales (fig. 4).
- Formulación o implementación del modelo mecánico del pilote hueco-micropilote en programas de ordenador y validación del mismo en estructuras reales.
- Implantación de nuevos protocolos o procedimientos para la ejecución de pilotes prefabricados huecos y micropilotes, con el objeto de generar recomendaciones de uso y futura publicación o monografía.

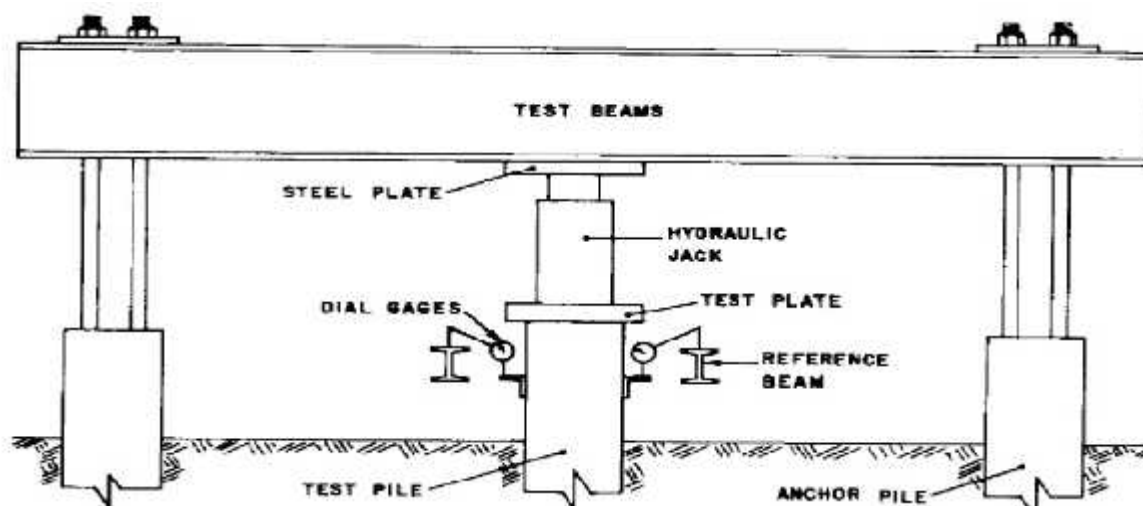


Fig.4: ensayo de carga vertical de un pilote

3. Aspectos innovadores y justificación del proyecto

Si bien actualmente se comercializan pilotes prefabricados para problemas concretos y la mayoría de ellos están disponibles en el mercado, en principio, no existe pilotes huecos de gran dimensión ni micropilotes que se incorporen en el interior, garantizando su características funcionales, capacidades portantes (compresión y tracción) y de coste, por lo que su desarrollo supone la posibilidad de crear un producto innovador e, incluso, generar la correspondiente patente industrial.

Las ventajas y aplicaciones de un sistema mixto de pilote de hormigón prefabricado, hincado en el terreno blando hasta su rechazo, prolongado con un micropilote en el estrato muy duro serían:

- El sistema pilote prefabricado + micropilote garantiza la capacidad de tracción, como la requerida frente a empujes ascensionales debidos a subpresión, expansividad o tracciones debidas a esfuerzos flectores, de sismo o viento, transmitidos por la estructura a encepados de varios pilotes.
- El sistema pilote prefabricado + micropilote garantiza la ejecución en estratigrafías de terrenos complicados: terrenos blandos y desmoronables en la parte superior y muy duros en el sustrato inferior.
- El sistema pilote prefabricado+ micropilote evita las incertidumbres sobre su capacidad de transmisión de cargas de compresión verticales en punta contra estratos de roca con fuerte buzamiento.
- El sistema pilote prefabricado+ micropilote garantiza la resistencia a compresión cuando el sustrato resistente tiene problemas cársticos con posibilidad de cavernas bajo la punta del pilote.
- Las secciones de pilote hueco tienen un peso que permite la utilización de equipos de izado razonables. La inercia de estos pilotes es mucho mayor a igualdad de sección de hormigón, lo que implica mayor capacidad para absorber momentos. Del mismo modo se puede postesar.
- El micropilote permite aumentar su resistencia al arrancamiento mediante el empotramiento en roca que no se conseguiría con un pilote de grandes dimensiones, dado que estos no alcanzan el empotramiento que a veces se requiere en roca.
- El sistema abre una puerta a la fabricación o desarrollo de unas nuevas juntas y secciones, con el fin de analizar la resistencia del pilote bajo cargas verticales y horizontales.
- El sistema permite aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento térmico del terreno. El hueco interior en este caso se aprovecha para introducir sondas geotérmicas de modo que se elimina la necesidad de realizar pozos geotérmicos de forma independiente a las cimentaciones. Se reduce por lo tanto el impacto medioambiental y a la vez los respectivos costes.

Como ya se ha comentado, existen iniciativas a nivel de investigación o propuestas relacionadas, pero que en todo caso no se adaptan a la problemática de nuestros suelos y las redes de infraestructuras implantadas en ellos. Se trata pues, de plantear la resolución del problema a la inversa: en vez de aplicar los sistemas disponibles a la problemática, diseñar una respuesta ajustada a las necesidades detectadas.

Tal y como se ha explicado anteriormente, el proyecto aprovecha las ventajas de cada tipo de pilote para cumplir con sus objetivos, de modo que las deficiencias del pilote prefabricado (empotramiento en sustratos duros), se solventan con la eficacia de los micropilotes en este terreno, mientras que gracias a las características de los pilotes prefabricados huecos de grandes dimensiones es posible la transmisión de cargas verticales a un elevado nivel al pilote mixto.

La unión del pilote hueco de gran dimensión y del micropilote aporta un interés indudable para la explotación de las infraestructuras generando un producto susceptible de aplicación en otros ámbitos geográficos y funcionales. Cabe comentar que en Andalucía, a pesar de los episodios recurrentes de patología geotécnica con efecto sobre las infraestructuras provocados por los periodos de concentración de precipitaciones ya mencionados (1989, 1995, 2008,...) y de los grandes esfuerzos inversores

realizados en cada uno de ellos para la corrección de sus efectos, no se dispone actualmente de una herramienta integradora tal y como se propone en el presente proyecto.

La aplicación del pilote hueco-micropilote ofrece un nuevo tipo de pilote prefabricado de interés para los Servicios de Conservación de las infraestructuras, tanto de carreteras como ferroviarias, pudiendo ser integradas en el CTE u otras normativas. Consideramos este proyecto de gran interés para el Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía (PISTA) teniendo en cuenta el importante papel que juegan los pilotes prefabricados a la hora de realizar cimentaciones profundas en la construcción de puentes o viaductos, tanto para la red viaria como para la red ferroviaria.

Si tenemos en cuenta las características del terreno andaluz, con zonas extremadamente inestables como es el caso de las marismas que encontramos en Huelva, el desarrollo de un pilote de las características descritas permitiría empotrar el micropilote en el sustrato rocoso que se encuentra debajo del sustrato blando.

Del mismo modo, podemos hablar de la importancia del pilotaje en muelles teniendo en cuenta la mejora en la funcionalidad de los puertos comerciales de Interés General del Estado.

La aplicación no se limita a las infraestructuras que son competencia de la AOPJA, sino que suponen también un elemento de gran potencial para otras Direcciones Generales, empresas y agencias de la Consejería, así como para otras Consejerías de la Junta de Andalucía.

the \mathbb{R}^n is a linear space over \mathbb{R} with the usual addition and scalar multiplication. The inner product is defined by

$$(x, y) = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n \quad (1)$$

where $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ and $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ are vectors in \mathbb{R}^n . The norm of a vector x is defined by

$$\|x\| = \sqrt{(x, x)} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \quad (2)$$

The distance between two vectors x and y is defined by

$$d(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{(x - y, x - y)} \quad (3)$$

The angle between two vectors x and y is defined by

$$\cos \theta = \frac{(x, y)}{\|x\| \|y\|} \quad (4)$$

The orthogonal projection of a vector x onto a vector y is defined by

$$\text{proj}_y x = \frac{(x, y)}{(y, y)} y \quad (5)$$

The orthogonal distance from a vector x to a vector y is defined by

$$d(x, y) = \|x - \text{proj}_y x\| \quad (6)$$

The orthogonal distance from a vector x to a subspace S is defined by

$$d(x, S) = \inf_{y \in S} \|x - y\| \quad (7)$$

The orthogonal distance from a point x to a line L is defined by

$$d(x, L) = \inf_{y \in L} \|x - y\| \quad (8)$$

The orthogonal distance from a point x to a plane P is defined by

$$d(x, P) = \inf_{y \in P} \|x - y\| \quad (9)$$

The orthogonal distance from a point x to a hyperplane H is defined by

$$d(x, H) = \inf_{y \in H} \|x - y\| \quad (10)$$