

# **MICROPILOTES EN TERRENOS DIFICILES**

*Leoncio Prieto Tercero*  
*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*  
*Director Técnico de RODIO*

## **INDICE:**

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- EJECUCIÓN EN TERRENOS DIFICILES
- 3.- DESCRIPCION DE DOS OBRAS SINGULARES
  - 3.1.- Cimentación de un cubo de la Muralla de Segovia
  - 3.2.- Cimentación de un edificio en Tenerife

## **INTRODUCCION.**

Generalmente se han asociado los micropilotes a los recalces, aunque se está generalizando su uso en cimentaciones de nueva planta, ya que son elementos muy versátiles y muy indicados en terrenos que presentan algún tipo de dificultad (espacio reducido, terrenos duros y heterogéneos, gálidos estrictos, etc.).

Se define MICROPILOTE como un elemento cilíndrico, perforado "in situ", armado con tubería de acero e inyectado con lechada o mortero de cemento, y cuyo diámetro no supere los 300 mm.

Atendiendo al sistema de inyección que se utilice los micropilotes se clasifican en tres tipos:

- Tipo IU: se inyectan a baja presión en una sola fase.
- Tipo IR: se pueden re-inyectar hasta dos veces a través de un tubo con válvulas anti-retorno.
- Tipo IRS: se pueden re-inyectar varias veces a través de tubos manguito instalados en la propia tubería de armadura.

La ejecución de un micropilote consta de las siguientes fases:

- 1) Perforación
- 2) Instalación de la armadura tubular
- 3) Inyección

### **1) Perforación.**

La perforación se realizará emboquillando en los puntos y con las inclinaciones especificadas en el correspondiente proyecto. Los métodos y diámetros de perforación están en función de la naturaleza y características del terreno a atravesar, sin embargo, a priori, podemos indicar que se realizarán con equipos hidráulicos a rotación ó rotopercusión, dotados con martillo en cabeza (o martillo de fondo)), y manteniéndose las paredes de la perforación mediante entubación, si fuera necesario.

El diámetro de perforación suele oscilar entre 150/300 mm.

### **2) Instalación de la armadura tubular.**

La armadura de los micropilotes suele estar formada por tubos de acero, del diámetro y espesor de pared que se indique en el proyecto, de las diferentes calidades admitidas por la normativa.

Una vez terminada la perforación, y limpia de detritus, se rellenará el interior de la tubería de revestimiento con lechada de cemento, y se colocará la armadura tubular del micropilote.

Esta armadura, a la vez que es el elemento estructural del micropilote, constituye, en conjunto, el medio indispensable para la realización de las diferentes fases de inyección.

Los tubos irán provistos de una serie de válvulas anti-retorno, regularmente repartidas en toda o en parte de su longitud, que permiten inyectar cantidades controladas a través de cada una de ellas. El disponer de válvulas en la armadura, asegura una inyección correcta (ya que se podrá realizar en varias fases).

Los manguitos de estas válvulas pueden estar constituidos por elementos tubulares de goma, evitándose su desplazamiento mediante anillos de hierro, o de cualquier otro tipo (siempre que impidan el retorno de la lechada). Debajo de cada manguito el tubo tiene las correspondientes ventanas para inyección.

La unión entre los diferentes tramos de tubería y barra se realizará mediante manguitos roscados de acero de la misma calidad.

### **3) Inyección.**

La inyección de los micropilotes (en los del tipo IRS) se efectuará en las siguientes fases sucesivas:

- Formación de la vaina, sin presión (inyección de relleno)
- Primera inyección a presión en la zona del "bulbo"
- Segunda inyección a presión en la zona del "bulbo", ó más si el caso lo requiere.
- Relleno del interior de la armadura tubular con lechada de cemento ó mortero de cemento, según sean las admisiones.

Una dosificación típica de la lechada de inyección puede ser la siguiente:

- Cemento        100 Kg.
- Agua            50 Lt.

La inyección de relleno para formar la vaina, se hará antes de retirar la tubería de revestimiento. Esta vaina, que ocupa el espacio anular comprendido entre la pared del taladro y el tubo, impedirá el reflujo vertical de la lechada inyectada sucesivamente, para formar el "bulbo" de empotramiento del micropilote en el terreno.

En el caso de admisiones fuertes, ó de pérdidas del fluido de perforación, se procederá a efectuar una inyección del tipo consolidación a base de morteros ó lechadas con acelerantes de fraguado y otros medios taponantes comunes en la inyección.

Una vez que la vaina haya empezado a fraguar, pero no después de 24 horas de terminada su inyección, se procederá a realizar las inyecciones para la formación del "bulbo". La vaina normalmente debe romperse, en terrenos no rocosos, a presiones del orden de 20 a 30 kp/cm<sup>2</sup>.

Los manguitos se inyectarán uno después de otro, empezando siempre por el más bajo.

Es siempre conveniente hacer una inyección posterior a la última considerada como definitiva, para controlar el resultado alcanzado por ésta. En muchos casos, es necesario repetir sistemáticamente la inyección para formar el "bulbo" -eventualmente sólo en algunos manguitos- hasta alcanzar las presiones idóneas.

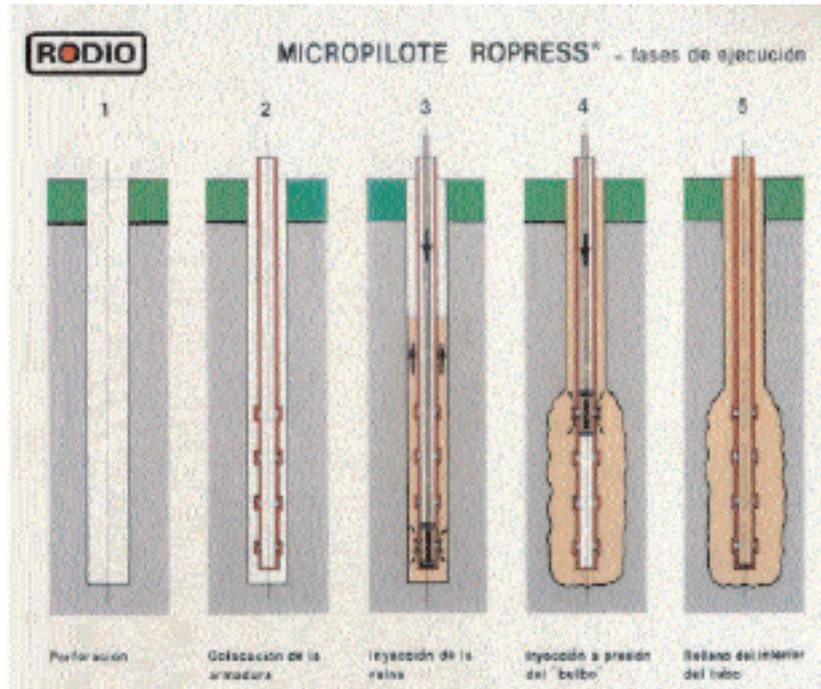
Una vez terminada definitivamente la inyección del "bulbo", el tubo se rellenará de lechada y el micropilote se considerará terminado.

Para la ejecución de los micropilotes, las fases a seguir son las siguientes:

- 1.- Replanteo de los puntos de emboquille.
- 2.- Emplazamiento de la máquina.
- 3.- Ejecución de la perforación para alojamiento de los micropilotes.
- 4.- Inyección.

El equipo básico a utilizar ha de constar de los siguientes elementos:

- Sonda perforadora adaptada al tipo de obra.
- Central de fabricación e inyección de lechadas y morteros.
- Tuberías, manguitos, conducciones y material diverso.



*Esquema de ejecución de micropilotes inyectados tipo IRS*

## 2. EJECUCION EN TERRENOS DIFICILES.

La definición de "terrenos difíciles" va asociada al grado de dificultad que se presenta al tener que proyectar y ejecutar una cimentación en condiciones extremas, debido al tipo de terreno o a las condiciones de la zona donde se asentará la estructura.

Los casos más habituales de terrenos que presentan dificultades son:

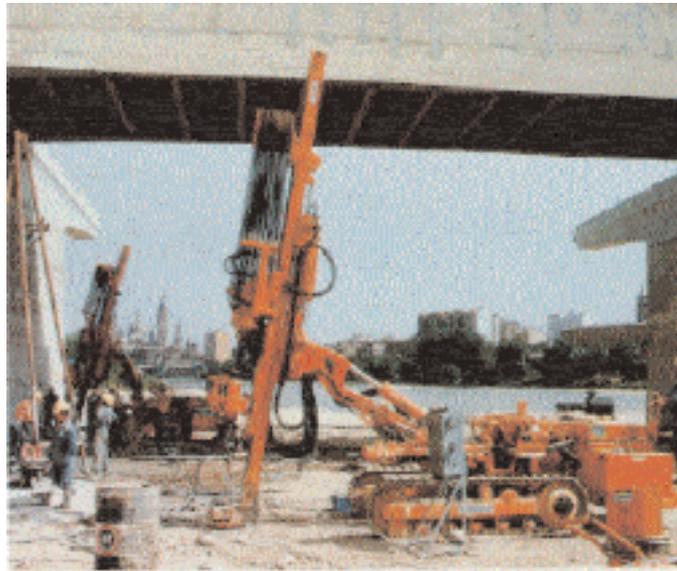
- Terrenos en los que el sustrato resistente consiste en una roca alterada, fisurada y con una capacidad portante reducida.
- Alternancia de capas de roca competente y terrenos de baja calidad en profundidad. Ocurre habitualmente en los terrenos volcánicos, en los que se alternan capas de basaltos más o menos compactos, con capas de pumitas y tobas (con capacidad portante reducida).
- Presencia de cavernas o cavidades, que pueden estar vacías o rellenas de materiales detríticos o arcillosos. Estos fenómenos se presentan principalmente en las siguientes situaciones:
  - Fenómenos kársticos, donde la disolución de las rocas calizas forma cavernas.
  - Fenómenos de subsidencia, en los que una capa limosa se ha ido erosionando y los estratos rocosos suprayacentes se han quedado sin apoyo. A medida que el vano va creciendo y se alcanza alguna de las fracturas preexistentes en la roca, los estratos se rompen a flexión y caen a ocupar el hueco dejado por el nivel limoso erosionado. Si el hundimiento es profundo las capas rocosas superiores pueden puentear el hueco o amortiguar la subsidencia, de modo que sus efectos en superficie son casi imperceptibles.
- Presencia de bloques o bolos de gran tamaño intercalados en el terreno, en rellenos artificiales y sobre los que hay que cimentar alguna estructura.

Los casos más habituales que condicionan la cimentación debidos a las características de la zona donde se ubica la obra son:

- Superficies reducidas o plataformas de trabajo de pequeñas dimensiones, en la que el tamaño de los equipos a utilizar es el condicionante principal.
- Obras con gálibos reducidos (por debajo de 3,00 m).
- Accesos difíciles, que condicionan las dimensiones de los equipos.

La ejecución de la cimentación mediante micropilotes presenta una serie de ventajas, que solventan de forma técnica y económicamente impecable todas las situaciones de “terrenos difíciles” descritas anteriormente y que podemos resumir en:

- Los equipos de perforación de micropilotes son de tamaño reducido, por lo que se adaptan a superficies reducidas, a obras con accesos difíciles, con gálibos estrictos, etc.
- Los micropilotes se pueden ejecutar en todo tipo de terrenos, desde suelos hasta rocas de gran compacidad y dureza, incluso cuando se presentan alternancias de terreno dentro de la misma perforación. La perforación se puede realizar con entubación simultánea (sistema OD), en caso de que las condiciones del terreno así lo exija.
- En el caso de existencia de cavernas, la perforación de los micropilotes las detecta, pudiendo adecuar la longitud de los micropilotes y adaptar el proyecto a las condiciones reales, ya que cada micropilote se puede considerar como un sondeo. Al realizar la inyección de los micropilotes se pueden rellenar las cavidades, si estas son de dimensiones abordables, o se pueden dejar entubaciones definitivas que confinen la inyección en esa zona.
- La contribución de la punta del micropilote en su dimensionamiento es pequeña, por lo que se dimensionan para trabajar fundamentalmente por fuste, por lo que se reduce el riesgo de concentración de cargas en un terreno poco competente (que puede estar situado en el nivel de la punta)



*Vista de dos equipos trabajando*

### **3. DESCRIPCIÓN DE DOS OBRAS SINGULARES.**

Se describen a continuación los aspectos singulares de dos obras, en las que se utilizaron los micropilotes como cimentación de dos estructuras distintas.

La justificación del uso de los micropilotes en cada uno de los casos es distinta y se corresponde con alguna de las dificultades señaladas anteriormente (terrenos difíciles), en el diseño de la cimentación adecuada técnica y económicamente.

### 3.1. Cimentación de un cubo de la Muralla de Segovia.

Durante el verano de 1.998 se produjo el derrumbamiento del Cubo nº 23 de la Muralla de Segovia. La causa principal fue la rotura a cortante de la mampostería, según un ángulo de unos 60º con la horizontal, arrancando de una grieta preexistente en el tercio delantero de la base prismática que soportaba el alzado cilíndrico del cubo.

En los sondeos quedó de manifiesto que a lo largo del tiempo la acción de las aguas subterráneas ha ido arrastrando y erosionando los niveles limoarenosos intercalados entre las calizas y areniscas que forman el promontorio en que se asentaba el cubo, por lo que gran parte del lado Norte de la Muralla se ve afectado por cuevas, hundimientos y desprendimientos. La capa limosa se ha ido erosionando y los estratos rocosos suprayacentes se han quedado sin apoyo, por lo que se producen huecos y cavernas.

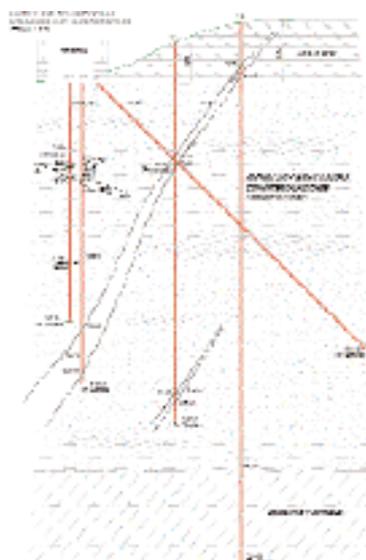
Una vez producido el desprendimiento, los paños adyacentes de la muralla quedaron en un estado bastante precario, sobre todo el lado derecho en el que existían desde hacía muchos años dos grandes grietas verticales.

En este punto se confirmó la idea inicial, según la cual era necesario cimentar el nuevo cubo en un nivel no afectado por la subsidencia de las capas rocosas, presencia de huecos, etc.

Parecía claro que la cimentación en profundidad, atravesando capas rocosas, solo podía realizarse mediante micropilotes, alcanzando un firme suficientemente fiable.

Se planteó una base micropilotada, de hormigón armado, la cual serviría de cimentación al nuevo cubo.

Era de prever la aparición de huecos a diversos niveles por lo que se estimó que era conveniente prolongar la perforación de los micropilotes hasta alcanzar el sustrato de limolitas existente bajo los niveles de calizas y areniscas. Por su naturaleza cabía esperar que los procesos de karstificación y erosión interna no se continuaran en las limolitas, ya que son típicos de las rocas carbonatadas y de las capas limoarenosas poco cementadas.



**CORTE GEOTECNICO**

- Rellenos
- Areniscas y margocalizas
- Limolitas y margas

Para la cimentación del cubo se dispusieron 32 micropilotes de 30 t de capacidad. Los micropilotes se perforaron con diámetro 150 mm y se armaron con un tubo de acero St-52 de 70 mm de diámetro exterior y 10 mm de espesor de pared. En los 9 metros finales llevaban tubos-manguito, separados 1 m, para mejorar mediante inyección de lechada de cemento a presión el contacto con el terreno.

Los micropilotes iban dispuestos en 4 filas de 8. En las 3 filas exteriores eran verticales, mientras que los de la 4ª llevaban una inclinación de 5º, para realizar una ligera función de anclaje.

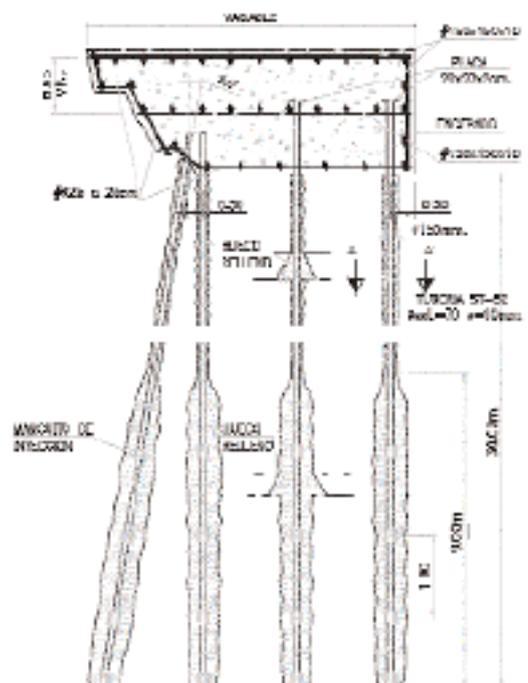
Los micropilotes se enceparon mediante una bancada escalonada de hormigón armado de dimensiones máximas en planta 9,40 x 5,90 m.

En la ejecución de los micropilotes se planteó el problema de pasar los huecos existentes, algunos de 2 m de altura, ya que por ellos escapaba la lechada exterior impidiendo el relleno del espacio anular entre el tubo y la perforación. Por otra parte no podía dejarse el tubo metálico sin protección exterior, por el peligro de corrosión a largo plazo. Se aplicó la solución de rellenar el hueco entre tubo y terreno con un mortero muy seco, de forma que se creara un cono de mortero en torno al tubo en las zonas huecas, hasta alcanzar el techo del hueco, continuando luego el relleno en la forma habitual.

La perforación de los micropilotes se realizó con un vagón perforador sobre orugas de tipo KLEMM – 807, y la inyección con una bomba PUTZMEISTER P-13.



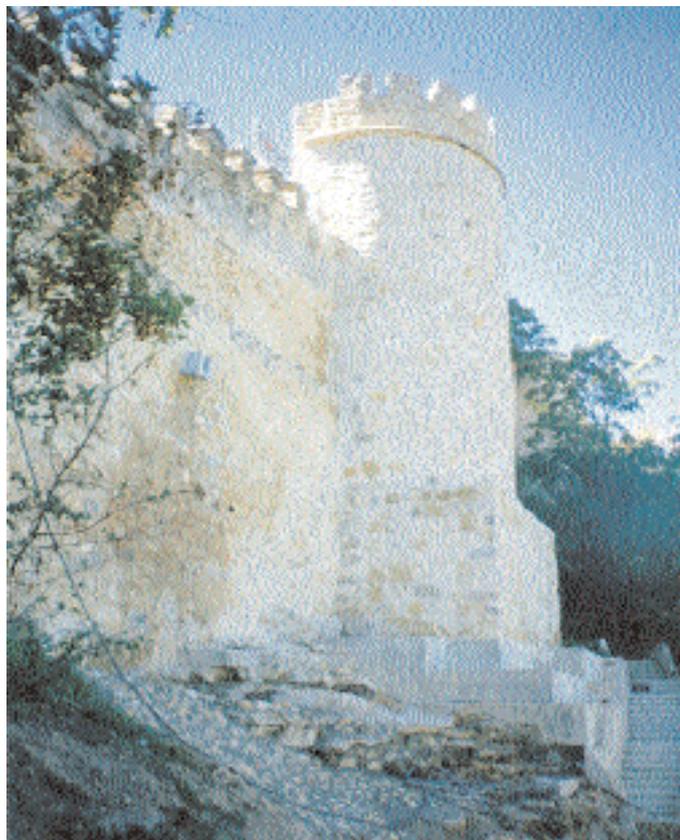
PLANTA DE CIMENTACIÓN DEL CUBO



SECCIÓN TIPO



*Ejecución de los micropilotes*



*Obra finalizada*

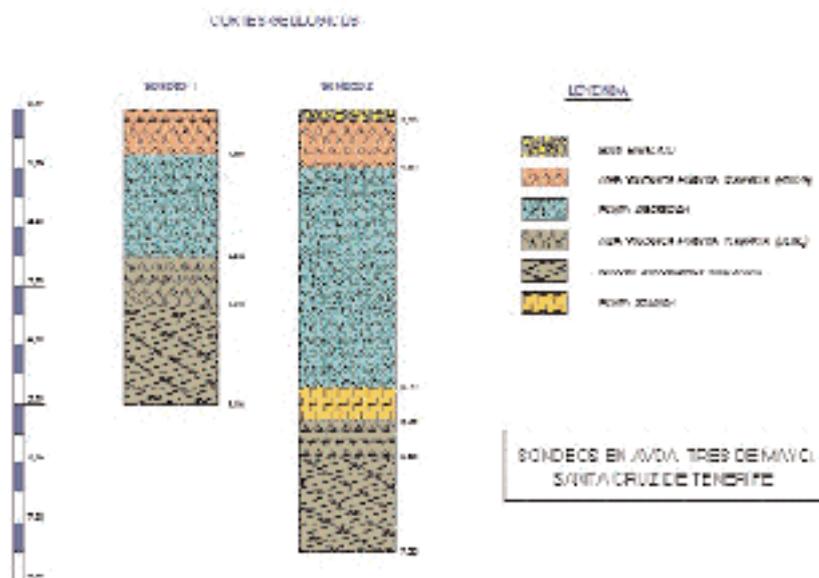
### 3.2. Cimentación de un edificio en Tenerife.

Se proyectaba la construcción de dos bloques de viviendas en la Avenida Tres de Mayo de Santa Cruz de Tenerife. Una vez vaciado el solar se observa la existencia de materiales de baja capacidad portante, constituidos fundamentalmente por tobas volcánicas y pumitas, intercalados entre coladas basálticas, coincidiendo con la cota de cimentación.

La profundidad a la que aparece el nivel basáltico bajo la cota de cimentación es variable, dada la inclinación de las coladas, de forma que en uno de los dos edificios se encuentra a cota de cimentación, alcanzando profundidades máximas de 3,00 m. En el otro edificio, la profundidad mínima a la que aparecen los basaltos es 5,00 m, llegando hasta profundidades próximas a los 10,00 m.

Los edificios proyectados transmiten cargas elevadas, superiores a las 500 ton en algunas pilas, lo que impide la cimentación sobre los niveles de tobas o de pumitas.

Con las premisas anteriores se plantean las distintas posibilidades de cimentación, seleccionando la opción de micropilotes empotrados en los niveles basálticos, ya que la existencia de irregularidades en las coladas basálticas (cavidades, niveles escoriáceos, niveles fisurados, etc) desaconsejan transmitir cargas muy concentradas a los basaltos. A favor de la opción de los micropilotes también influyó el punto de vista económico, ya que era una solución más ventajosa.



Corte geológico

La solución adoptada en proyecto para la cimentación de uno de los edificios consistió en la ejecución de 180 micropilotes de 80 Tn de capacidad, con una longitud media de 12,00 m (empotrándose como mínimo 6,00 en los basaltos). Dependiendo de las cargas transmitidas los micropilotes se agruparon en encepados de 4, 5, 6, 7, 8 y 9 micropilotes.

La perforación se realizó con diámetro 160 mm, y se armaron los micropilotes con tubería de acero de límite elástico 5.600 kg/cm<sup>2</sup>, de dimensión exterior 114,3 mm y 9 mm de espesor. El tope estructural de este micropilote es de 83 Tn.



*Detalle del terreno y perforadora*



*Ejecución de los micropilotes*



*Cimentación finalizada a falta de la construcción de los encepados*