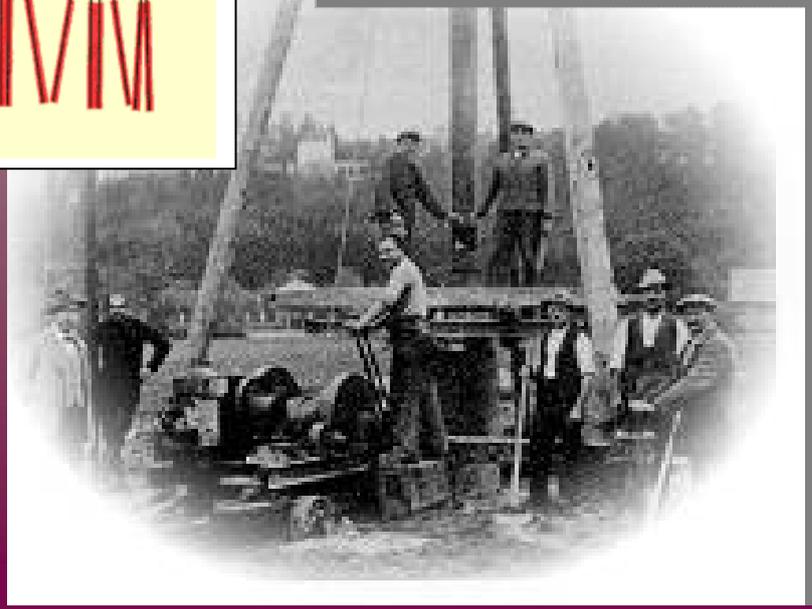
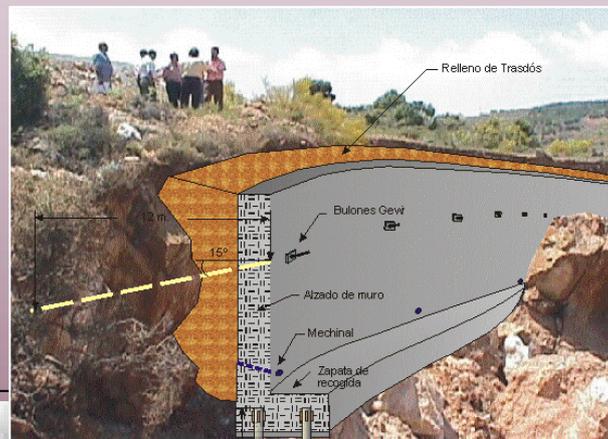
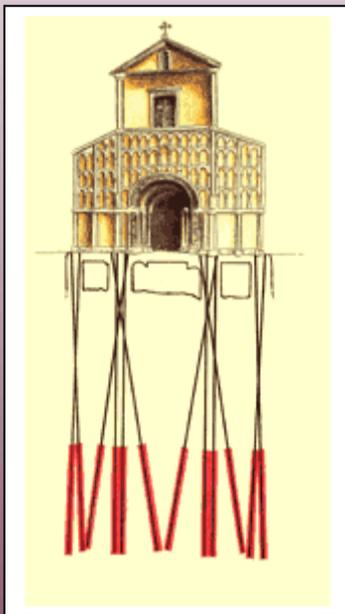


MICROPILOTES INYECTADOS

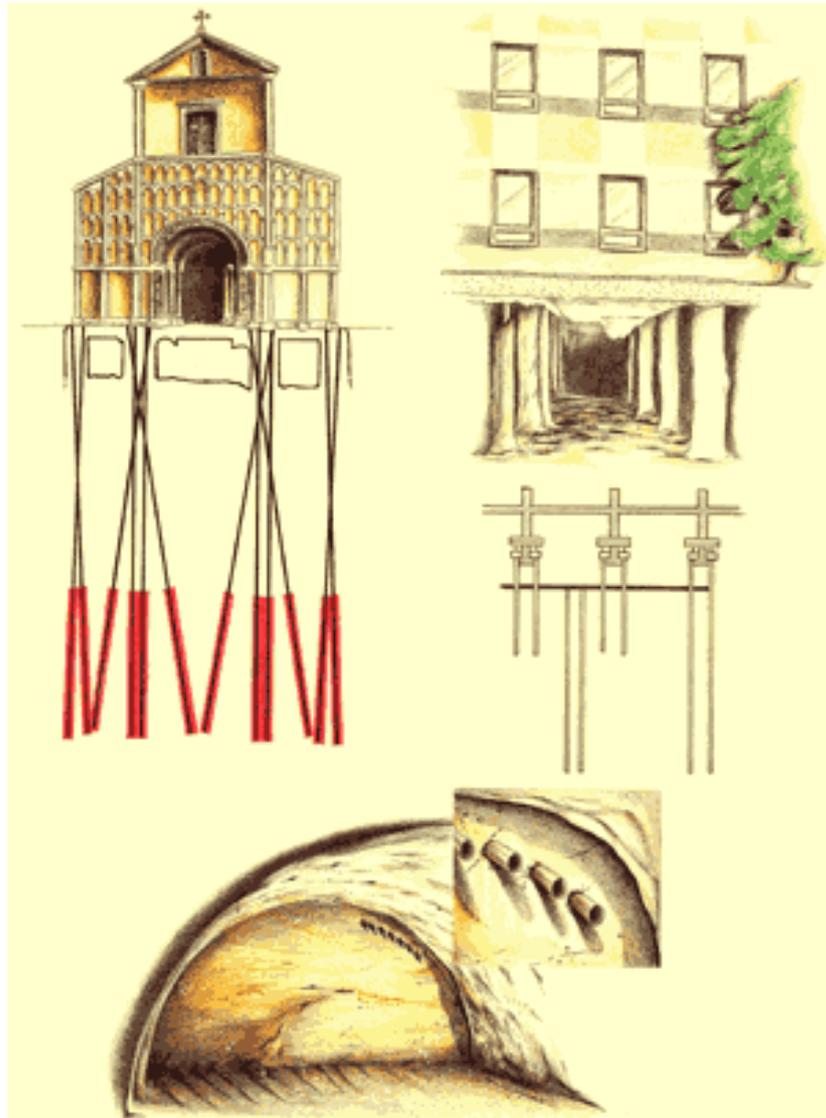
Técnica y Cálculo



*Juan Carlos Hernández del Pozo
Isidro Ocete Ruiz
Francisco Lamas Fernández
Juan Carlos Hernández Garvayo*

MICROPILOTES INYECTADOS

Técnica y Cálculo



JUAN C. HERNÁNDEZ DEL POZO
ISIDRO OCETE RUIZ
FRANCISCO LAMAS FERNÁNDEZ
JUAN C. HERNÁNDEZ GARVAYO

INDICE

1. Introducción y Objetivos

2. Fundamento Técnico

2.1 Desarrollo histórico

2.2 Usos potenciales

2.2.1 Elementos portantes

2.2.2 Micropilotes a tracción

2.2.3 Como estructura de contención de tierras

2.3 Clasificación de micropilotes

2.3.1 Micropile clásico

2.3.2 Tipos de micropilotes

2,3,3 Clasificación basada en procedimiento de la inyección: "inyección Répétitive et Sélective" y "inyección Globale Unitaire"

2,3,4 Clasificación según el tipo de armadura

2.3.5 Clasificación aceptada por la Administración de Carreteras Federal (FHWA) de los E.U.

2.4 Nuevas tendencias

2.5 Criterios de diseño

2.6 Investigaciones necesarias.

3. Metodos de calculo para micropilotes

3.1 Introducción

3.1.a El efecto grupo

3.1.b Efecto del recubrimiento permanente

3.1.c Conexión a la estructura

3.1.d Viga de encepado

3.1.e Distribución de micropilotes. Efecto arco

3.2 Resistencia del micropilote

3.2.a Resistencia estructural

3.2.b Carga de flexión

3.2.c Resistencia a cortante

3.2.d Conexión lechada/terreno

3.3 Test de Carga

3.3.1.-Procedimiento de prueba para micropilotes

3.4 Métodos de Cálculo

3.4.a Método empírico basado en ensayos “in situ” con anclajes

3.4.b Método de cálculo empírico propuesto por Lizzi

3.4.c Método de cálculo empírico basada en los resultados del test presiométrico

2.3.4.d Conventional design method for driven piles

4. Ejemplos

4.1 Introducción

4.2. Estabilización del deslizamiento de la ladera de Otivar, Granada

4.3 Reparación de patologías detectadas en la piscina del Centro Deportivo Militar los Mondragones, Granada

4.3 Patologías ocurridas en la localidad de Moraleda de Zafayona, Granada

4.4 Tratamiento y estabilización de ladera, pantallas y muros de contención de “Fuentes de Almuñecar”, en Taramay, Almuñecar, Granada

4.5 Construcción de una estructura de toma en la Presa del Negratín, Zujar, Granada

4.6 Estabilidad de dos muros construidos mediante sistema Keystone como elementos de contención para el recinto ferial en Alhama de Granada, Granada

4.7 Condiciones de estabilidad y de cimentación para la construcción de viviendas en Cenes de la Vega, Granada

4.8 Condiciones de cimentación para la construcción de un edificio en Calle Azhuma, Granada

4.9 Cimentación de las pilas de un puente en la localidad de Portugos, Granada

4.10 Deslizamiento de terraplen en la A-320 p.k. 14+750, Jaén

4.11 Corrección de deslizamientos en la carretera A-339, Serón - Las Menas pk 8+700, Almería

4.12 Condiciones de cimentación y estabilidad para la construcción de 15 vvdas. locales y aparcamientos en Paseo de la Bomba 13, Granada

4.13 Edificio triángulo Plaza Cataluña

4.14 Obras de micropilotaje en edificios de interes singular

5. Referencias

1. Introducción y Objetivos

Los micropilotes **pertenecen al campo de las cimentaciones profundas**, y como tales han sido tratados desde que su uso se generaliza en las obras de la ingeniería del terreno. Hay autores que los han considerado, en algún momento, como refuerzos del suelo para aumentar su capacidad de resistir a los esfuerzos que provienen de la superestructuras u otros agentes que modifican el estado tensional en el interior de los macizos del substrato.

La construcción de cimentaciones profundas, es tan antigua como la historia del hombre sedentario y debieron surgir en el momento en que aquel cazador de la prehistoria se cambia de civilización, con la creación de los primeros asentamientos de agricultores. Nos es grato recordar, **la existencia de los palafitos, como verdaderos pilotes de madera** que trasmitían las cargas, de las plataformas sobre las que se asentaban las primitivas viviendas, a terrenos más resistentes que los limos de superficie. Solo una duda, por su diámetro, ramas de árboles o troncos muy delgados, ¿estábamos en presencia de micropilotes o de pilotes?

En otro orden de ideas, la palabra micropilote ya nos advierte de su significado, son "**pilotes de pequeño diámetro**", y como tales, si tienen razón de ser, se basará en su capacidad de sustituir al pilote de gran diámetro donde este no puede llegar, o lo hace con dificultad. Especial interés tiene advertir, que el desarrollo de las cimentaciones profundas ha corrido parejo con el avance tecnológico de la maquinaria de construcción, sustentándose en él de manera casi absoluta.

Podemos afirmar, sin miedo al error que **el constructor ha ido por delante del cálculo, habiendo servido la observación empírica de los resultados como base del desarrollo teórico**. En la actualidad las exigencias de un desarrollo sostenible con la necesidad de evitar las afecciones al medio natural o su minoración con el uso de técnicas especiales, nos lleva a contemplar la creciente utilización de elementos resistentes de menor tamaño, que por lógica necesitarán maquinarias menos agresivas, acompañadas de procedimientos de construcción, que minimicen los distintos agentes contaminantes, desde los materiales hasta la disminución del ruido ambiental que toda obra produce.

La cuestión antes citada, nos lleva a la necesidad de la investigación aplicada en este campo, pareja con su uso y en la dirección de la sustitución de maquinaria pesada, como es la propia de las cimentaciones profundas tradicionales, por la propia de los micropilotes, mucho más liviana y más versátil en su uso.

Así mismo, la investigación se está desarrollando en el sentido de proporcionar a los elementos citados, mayor adherencia al terreno, cambiando el procedimiento de ejecución, lo que nos ha llevado a los micropilotes inyectados actuales, que estamos seguros seguirán su avance en el futuro, especialmente en las aplicaciones que les

son propias y en las que compiten, de forma desigual a su favor, con los pilotes tradicionales, sin que esto quiera decir que estos no tengan su campo en el futuro, en actuaciones en las cuales es difícil preveer su sustitución por elementos tan esbeltos como el micropilote.

Contemplemos al menos, la gran ventaja que supone la versatilidad del sistema constructivo del micro, dado que su maquinaria es mucho menos pesada, sin la necesidad de las grandes torres propias del pilotaje, así como la posibilidad de situar la fabricación e introducción en la obra del hormigón, morteros o lechadas a distancias de varias decenas de metros del elemento a instalar, con lo que ello conlleva, en terrenos de accesibilidad reducida.

Objetivos:

Como es habitual en las exposiciones de las asignaturas de Ingeniería del Terreno nos hemos marcado un doble objetivo para esta exposición:

Como objetivos generales, tomamos en consideración los siguientes:

La dialéctica, como situación enfrentada, pilote- micropilote debe conducir al alumno a la necesidad de analizar desde los **estudios de viabilidad** de tipo comparativo, tan propios de la ingeniería civil, los diversos elementos que intervienen en la obra, sobretodo, si el peso de estos es importante no solo por el costo sino también por las afecciones del sistema constructivo a la calidad de la misma, entendida como calidad en general, en la que no se puede obviar la importancia del medio ambiente.

La necesidad de **la investigación aplicada a escala natural**, que debe practicar todo ingeniero en sus trabajos, se debe poner de manifiesto, recordando la cita del profesor Jiménez Salas, "**solo se puede entender como progreso lo que es transmisible**".

Objetivos particulares:

El interés del **método empírico**, como es el que se desarrolla en esta exposición, propio del Ingeniero Bustamante, debe quedar de manifiesto, como base y apoyo de futuros planteamientos teóricos, en el cálculo del micropilote.

La puesta en escena de **las limitaciones del sistema** debe llevar al alumno al convencimiento, de la necesidad de las limitaciones impuestas, hasta que el devenir ajuste el conocimiento con el desarrollo teórico y las experiencias prácticas.

El conocimiento de las aplicaciones que se han resuelto con esta técnica, (se han elegido las más proximas a la ciudad de Granada, al objeto de que sean fácilmente visitables por los alumnos), deben despertar el interés por no acomodarse a las soluciones habituales, desde la observación de los resultados y proponerse el análisis de métodos constructivos que aunque simples no son los más comunes.

2. Fundamento Técnico

La característica principal de un micropilote es su diámetro netamente pequeño, en comparación con los sistemas de pilotaje tradicionales, que permite su construcción en casi cualquier condición de terreno.

Los primeros micropilotes fueron instalados en Italia en los años 50 y fueron propuestos como un método para cimentar edificios y recalzar los monumentos históricos.

En los años 70, esta nueva técnica fue introducida en los E.E.U.U..

Sin embargo, el desarrollo de estos sistemas de un modo rápido no comenzó hasta el final de los años 80 cuando el método ganó la aceptación global para cimentar y recalzar las estructuras existentes.

Los micropilotes se pueden utilizar bajo condiciones muy restrictas del acceso, y pueden proporcionar no solamente una ayuda estructural excelente sino también un sistema que reduce al mínimo su ubicación y acceso.

Además, los micropilotes pueden ser aplicados a cualquier tipo de suelo con interferencias mínimas en la estructura que es sostenida.

Se puede afirmar que los micropilotes son estructuras cilíndricas de pequeño diámetro, entre 75 y 300 mm, con esbeltez entre 10 y 20, perforados "in situ" verticalmente o con inclinaciones de hasta 20°, y constituidos por una armadura de acero que se aloja en el taladro relleno o inyectado con mortero o lechada de cemento.



Las cargas admisibles oscilan entre 3 y 150 toneladas. Las cargas se transmiten por fricción y punta, habiéndose obtenido valores máximos en prueba de carga de hasta 350 toneladas.

Suele ser consustancial a los micropilotes la posibilidad de poder ejecutarlos con gálibos muy reducidos (alturas de 2 a 4 metros), atravesando cimentaciones existentes de cualquier material, y reduciendo al mínimo las alteraciones ocasionadas a éstas y al terreno sobre el que descansan.

MICROPILOTES INYECTADOS

Recalce de estructuras deterioradas, control de asientos o recimentación de zapatas debido a incrementos de cargas son algunos de los problemas que se resuelven con el uso de los micropilotes.

De estas características y de su ejecución viene dada su uso, prácticamente generalizado, como solución de recalce.

No obstante, su empleo no se limita a las obras de recalce, constituyendo la única opción económicamente viable cuando se precise realizar una cimentación profunda que deba atravesar un espesor importante de roca dura no apta para cimentar.



Esta posibilidad, aparentemente contradictoria, puede presentarse en laderas potencialmente inestables en roca o en coluición con grandes bloques rocosos o en rocas horadadas por cavidades karsticas. La perforación con pilotes normales exigiría el empleo de muchas horas de trépano en tanto que las perforaciones para micropilotes pueden hacerse sin grandes problemas a rotoperCUSión.

El uso de métodos de inyección para construir micropilotes es una técnica de reciente utilización pero ampliamente difundida y potencialmente atractiva como alternativa al micropilote convencional dado que las medias y altas presiones

utilizadas implican un aumento de la compactación lateral e incremento de la resistencia del terreno que rodea el micropilote.

En general, el conocimiento y desarrollo de esta técnica, en cuanto a su mecanización, han sido realizada por pequeños y medianos contratistas que son los que realizan generalmente esta técnica; esta situación ha derivado en una situación que hace que los datos al respecto se encuentren dispersos impidiendo un estudio de contexto general.

En los últimos años, diversas universidades han desarrollado estudios y pruebas al objeto de conocer el comportamiento y sus técnicas constructivas.

El capítulo 2, de este documento, es una revisión de la literatura de los micropiles y de los procesos de inyección, incluyendo descripciones de los diversos tipos existentes y de los métodos de diseño.

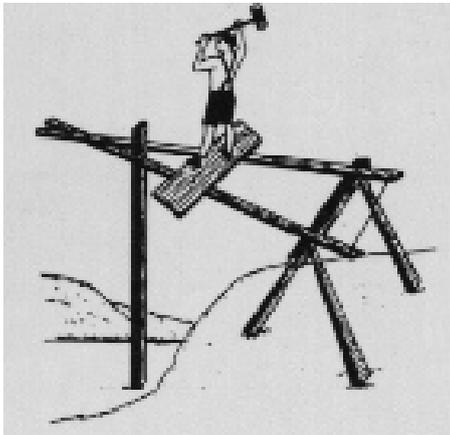
El capítulo 3 describe los diversos métodos de cálculo para los micropilotes.

El capítulo 4 presenta diversos ejemplos de uso de los sistemas de micropilotaje.

El capítulo 5 recoge la bibliografía usada para la redacción del documento.

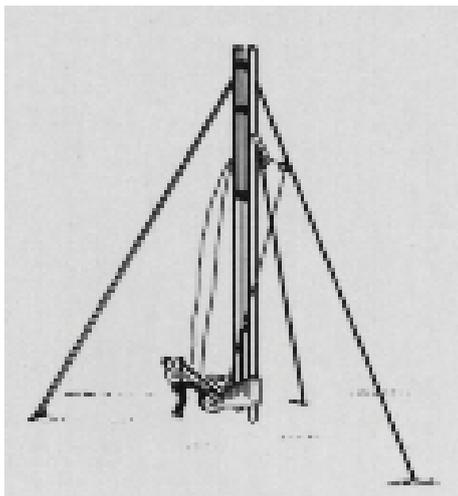
2.1 Desarrollo histórico

El concepto de pilote o mecanismo que sea capaz de transmitir esfuerzos a un nivel competente que se encuentra a una profundidad relativa es una práctica que se desarrollo desde los primeros tiempos.



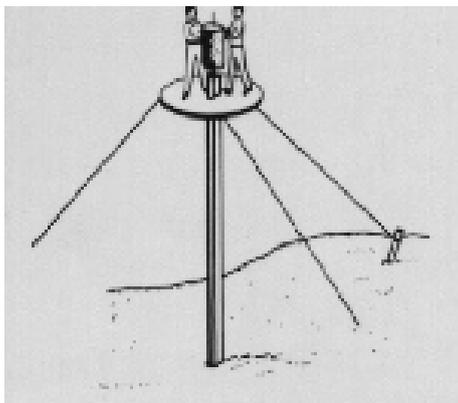
La hincas de troncos de madera , por medios manuales, sobre todo en terrenos flojos, para alcanzar sustratos duros, ha sido una practica comun en todo el mundo desde que el hombre se vuelve sedentario he intenta ubicar su habitad en especial cerca de los rios.

Se sabe que el uso de las pilas hincadas ha existido desde épocas prehistóricas y las referencias a los pilotes o pilas de madera de cédro, usados en Babilonia, se pueden encontrar en la biblia.



Se han encontrado, igualmente, numerosos restos arqueológicos de estos sistemas construtivos en áreas pantanosas, donde presentaban la doble función de cimentación y de separación de la base de la vivienda de las aguas circundantes.

En la edad media se desarrollaron numerosas construcciones de este tipo en Venecia y en Holanda.

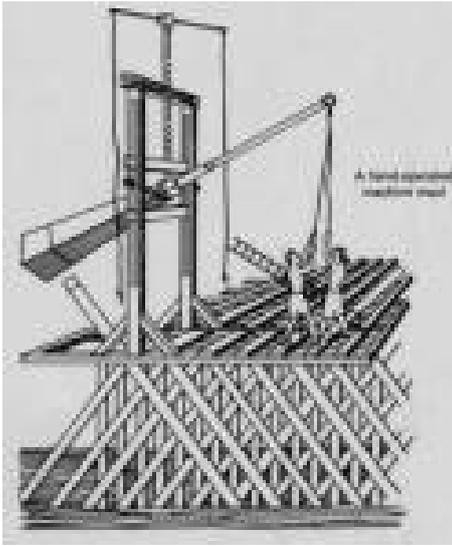


Las pilas durante estos muchos años estaban hechas de los árboles, de tal forma que dichos troncos presentaban un diámetro progresivo decreciente hacia su punta, hincándose hasta que la penetración se hacia imposible con los métodos de hincas utilizados.

Esta condición, conocida como denegación, era una función combinada de las condiciones del terrono y de los métodos utilizados.

Los métodos utilizados eran principalmente mediante golpes de mazo y golpes mediante diferentes medios mecánicos, utilizando sistemas de palanca e incluso ruedas de agua..

MICROPILOTES INYECTADOS



La revolución industrial, con la utilización de la energía del vapor, cambió la situación de una forma drástica. El primer martillo de vapor para estas aplicaciones fue inventado por Nasmyth en 1845.

El desarrollo de construcciones más importantes hizo necesario capacidades de pilotes mayores que las disponibles hasta ese momento.

Cuando, a mediados del siglo XIX, los tornos y las brazaderas mecanizadas entraron en uso, fue posible desarrollar perforaciones empotradas en suelos inestables, bajo el nivel freático a un

costo bastante bajo.



Por los años 20, la tecnología del hormigón había alcanzado un nivel del desarrollo, que hizo posible la ejecución de pilotes de gran diámetro.



Otro desarrollo era la técnica de perforación rotatoria, que fue utilizada sobre todo para las perforaciones relativamente profundas (pozos de petróleo).

En 1952, el contratista italiano Fondedile, bajo dirección técnica del Dr. Lizzi, comenzó a construir pilotes con diámetros más pequeños que los estipulados por códigos de la construcción de la época (Bruce 1994).

Estas "pilotes" originalmente fueron llamadas *radice del pali* (pilas de la raíz); se conocen hoy generalmente como el nombre micropiles (Ellis 1990).

En Europa, en los años 50, existía la necesidad de plantear sistemas de recalce de edificios y sobre todo monumentos históricos; requiriendo sistemas que pudieran (Bruce 1994; Bruce et al. 1995, 1995b):

- proporcionar un buen soporte estructural aceptando las cargas transmitidas con repercusiones mínimas,
- que los efectos sobre la estructura fuesen mínimos.
- Tener pocas limitaciones de espacio y acceso a la zona de trabajo.
- que pudieran trabajar en cualquier tipo de suelo.

Las "pilas de la raíz" fueron concebidas con diámetro pequeño, perforadas, rellenas, siendo ideales para los usos de recalce. (Bruce et al. 1995).

La característica principal de un micropile es su diámetro notablemente pequeño, en comparación con el pilotaje, que permite su desarrollo con un equipo mucho más reducido que las pilas tradicionales y utilizable en cualquier tipo de terreno. (Mascardi 1982).

Los micros primitivos fueron construidas con diámetros del orden de 100 milímetros y probados con cargas de más de 400 kN sin sufrir deformaciones evidentes.(Bruce et al. 1995b).



El uso de la perforación y la introducción de la lechada para construir el micropilote reduce tanto las vibraciones como cualquier efecto que pueda producirse en la estructura en comparación con otras técnicas de instalaciones de pilotes.

En 1962, Fondedile introdujo "pilas de la raíz" en el Reino Unido para recalzar edificios históricos. En la misma década, sistemas similares fueron utilizados en Alemania en obras subterráneas (Bruce et al. 1995b).

Los micropiles fueron utilizados por primera vez en los ESTADOS UNIDOS en 1973. Sin embargo, esta técnica fue vista en principio con escepticismo y su desarrollo no comenzó hasta finales de la década de los '80 (Bruce et al. 1995b).

Hoy, los micropiles son utilizados prácticamente en todo el mundo especialmente para la rehabilitación y recalce de edificios.

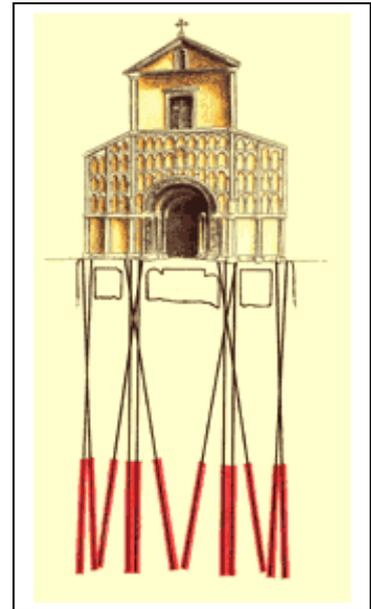
2.2 Usos potenciales

Sus usos potenciales pueden englobarse en tres grupos:

- a.- Elementos portantes trabajando a compresión.
- b.- Como elementos a tracción en estabilización de taludes.
- c.- En estructuras de contención de tierras.

2.2.1 Elementos portantes

- En edificaciones o edificios industriales, muy ligeros asentados sobre suelos blandos o para reducir asentamientos diferenciales entre una construcción antigua y una nueva. En el primer caso compiten con las técnicas de refuerzo y mejora de suelos blandos cada vez más extendidas: Precarga, jet-grouting, vibroflotación, columnas de grava, etc.
- En trabajos de recalce, a menudo combinados con un refuerzo de la estructura.
- Para cimentación de maquinarias aisladas.
- Para soporte de soleras en edificios industriales. A menudo se emplean con una medida correctora. También en este caso deben competir con las técnicas de mejora de suelos.

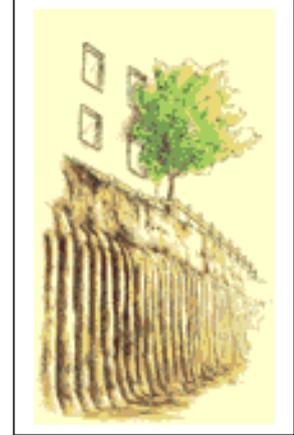


2.2.2 Micropilotes a tracción

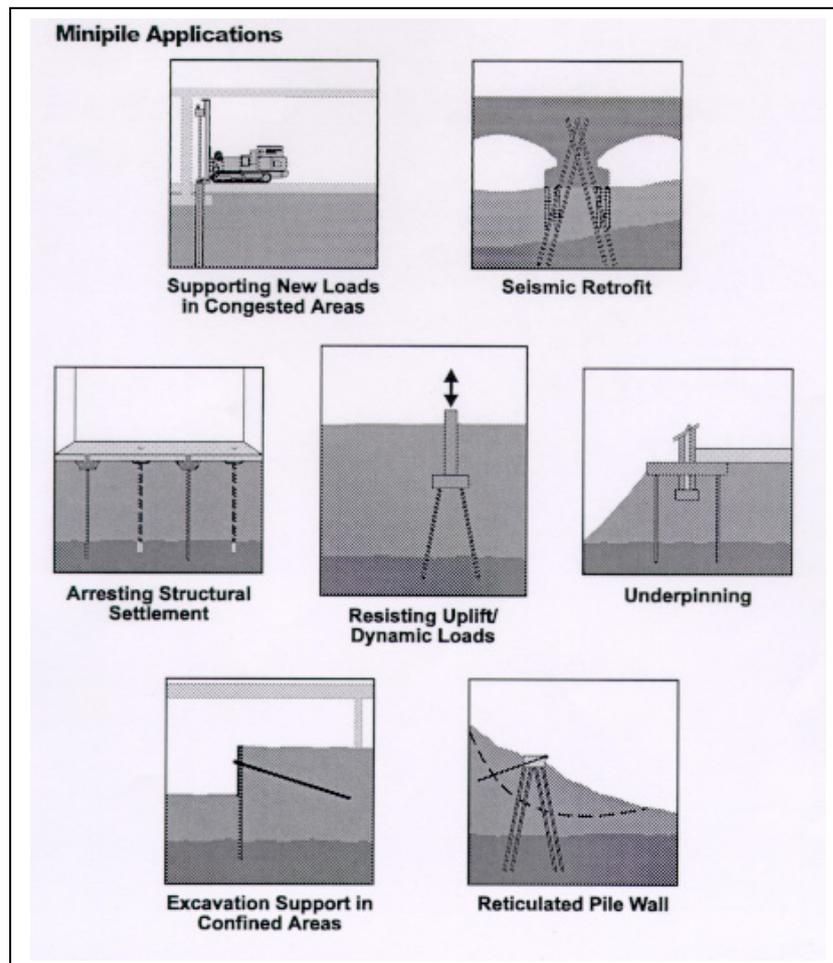
- Para resistir subpresiones no compensadas por el peso de la estructura en losas situadas bajo el nivel freático.
- Para la cimentación de torres y mástiles.

2.2.3 Como estructuras de contención de tierra

- Para formar un muro de suelo reforzado.
- En estabilización de laderas inestables.
- Para formar muros de contención de tierras sustituyendo a los tradicionales muros pantalla o muros de pilotes si las condiciones de perforabilidad del terreno les hacen competitivos y no hay condicionantes a las deformaciones horizontales del muro.



Ejemplos gráficos de aplicaciones de micropilotajes:

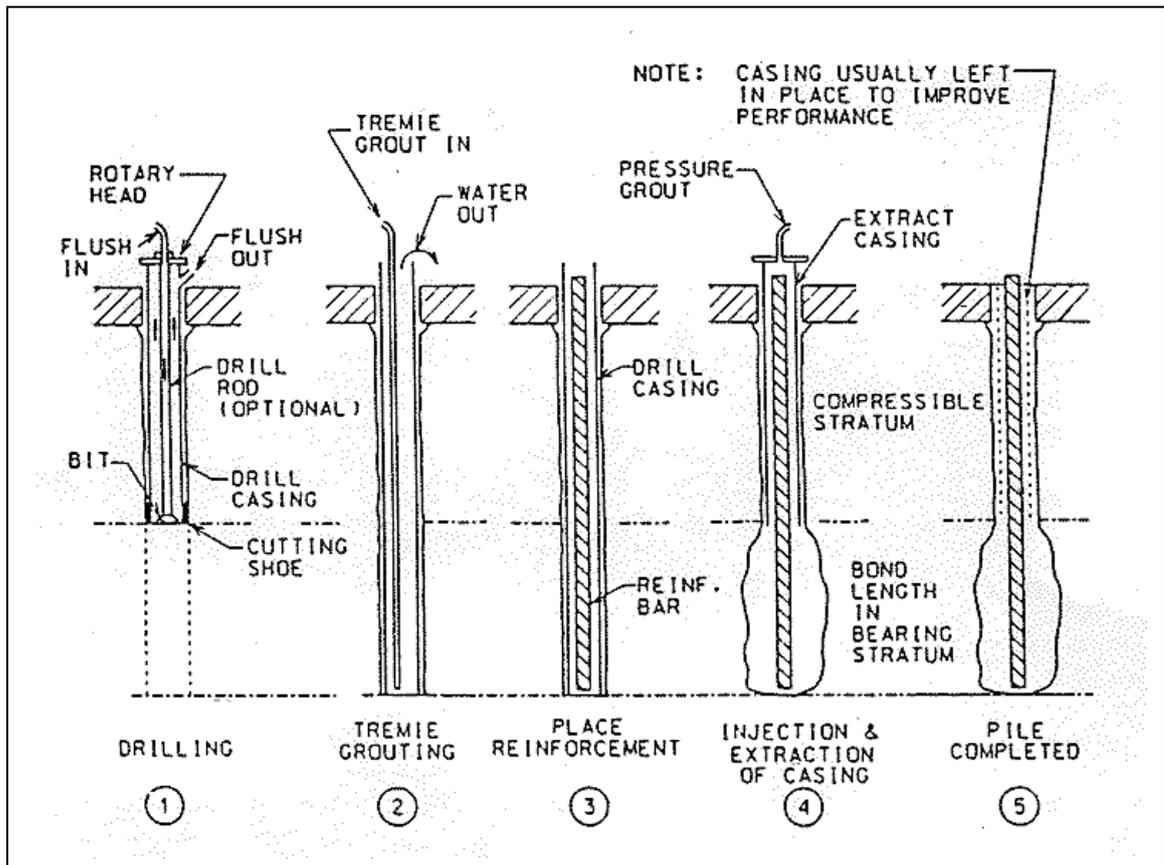


2.3 Clasificación de micropilotes

2.3.1 Micropile clásico

La característica principal de un micropile es que el diámetro del mismo es menor de 300 milímetros. En Francia, los micropiles se limitan a los diámetros de 250 milímetros (Bruce 1997).

Los pasos básicos para la construcción y desarrollo de un micropilote (Bruce 1989, 1994, 1997) se detallan en el siguiente cuadro esquemático.



Bruce (1989) y Koreck (1978).

a. -Desarrollo de la perforación y colocación de la vaina

La perforación se puede desarrollar en prácticamente cualquier tipo de terreno. Si está hecho correctamente, no causa alteraciones significativas a las estructuras adyacentes o a la estructura que se pretende recalzar. Se procede a la perforación a rotación o rotopercusión y se introduce agua circulante a través de la vaina para limpiar los cortes del suelo con un chorro de agua a través del espacio entre la vaina y el suelo.

b. - Refuerzo de acero

c. - Inyectar la lechada

La lechada típica usada en la práctica es una mezcla limpia de agua y de cemento con un cociente de agua/cemento (w/c) entre 0,40 y 0,55. Es típico, en algunos casos que se agregue arena para disminuir el coste de la mezcla.

La inyección repetitiva se utiliza en algunos casos. Aunque es más cara que la inyección única, la capacidad de carga de estos aumenta notablemente en comparación con los últimos.

A continuación se resumen las dimensiones típicas y las presiones de la inyección divulgadas por varios autores:

diámetro:

- 100 a 250 milímetros (Bruce et al. 1996)
- 80 a 250 milímetros (Bustamante y Doix 1985)
- 75 a 225 milímetros (Ellis 1990)
- 76 a 280 milímetros (Ellis 1985)
- 67 a 89 milímetros (NGES, universidad del noroeste)

longitud :

- 20 a 30 m (Bruce et al. 199ä)
- 10 a 20 m (Ellis 1990)
- 4 a 4,9 m (NGES, universidad del noroeste)

presión de la inyección máxima:

- 0,6 MPa para la pila de la raíz (Mascardi 1982)
- 1 a 2 MPa para la inyección repetitiva (Mascardi 1982)
- hasta 8 MPa dependiendo del tipo micropile (Bruce 1997)
- 0,5 a 1 MPa para la primera lechada (Bruce 1994)
- hasta 4 MPa para postgrouting (Bruce 1994)
- hasta 9 MPa para los micropiles rellenos (NGES, universidad del noroeste)

carga del servicio:

- kN 300 a 1000 (Bruce et al. 199ä)
- 100 a 300 kN, kN hasta 500 (Ellis 1990)
- kN 100 a 1000 (Mascardi 1982)

2.3.2 Tipos de micropilotes

2.3.2.a Micropilotes

El nombre dado a los micropiles era "radice del pali" o pilas de la raíz (Mascardi 1982; Ellis 1985).

Las pilas de la raíz tienen una sola barra de acero o una "jaula" para el refuerzo.

Se rellenan por el tubo tremie y se aplica la presión (que no excede 600kPa) mientras que se retira de el terreno. El refuerzo se pone antes del tubo tremie después de él, pero siempre antes de aplicar la presión.

2.3.2.b Micropilote Tubfix

El micropilote Tubfix (Mascardi 1982) utiliza una tubería de acero para el refuerzo y tubería de inyección. Esta barra de acero se rodea sin válvulas de retorno y se proporciona la presión para definir la zona de la inyección.

La inyección se realiza en etapas repetidas. Después de que la primera lechada se haya inyectado, se vuelve a inyectar a presión a través de las válvulas de antiretorno de la barra de acero para una zona definida por los inyectores internos.

Estas válvulas se llaman los "*manchettes*" y este tipo de tubería de refuerzo se conoce comúnmente como "*manchettes del à del tubo*." La inyección se puede repetir tantas veces como sea necesario después de que la lechada primaria haya fraguado. El paso final es llenar la tubería de lechada.

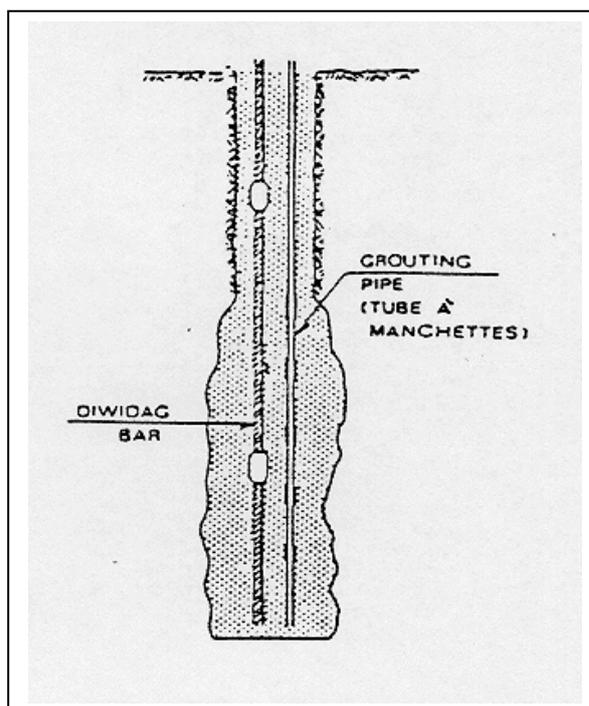
2.3.2.c Barra de Gewi

La pila de Gewi (Mascardi 1982) fue desarrollada en Alemania.

Al igual que en el caso del micropilote Tubfix es inyectado en varias etapas.

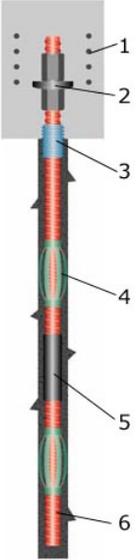
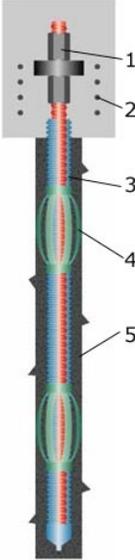
En este caso el refuerzo es una barra de acero de alta resistencia y la lechada se inyecta a través de una tubería de plástico situada adyacente a esta barra.

En los últimos tiempos se están desarrollando procesos en los cuales la tubería de plástico rodea la barra de acero referida, según los esquemas siguientes:



Barra Gewi (Mascardi 1982)

GEWI con protección standard frente a la corrosión

GEWI con protección standard frente a la corrosión	GEWI con doble protección standard frente a la corrosión
	
<p>1-additional reinforcement load case: pressure 2-torqued anchor head 3-strengthening upper pile 4-space 5-coupler 6-GEWI®-Bar</p>	<p>1-torqued anchor plate 2- additional reinforcement load case: tensile force 3-corrugated sheathing 4-spacer 5-cement grout</p>

MICROPILOTES INYECTADOS

Sus dimensiones y valores típicos son los siguientes:

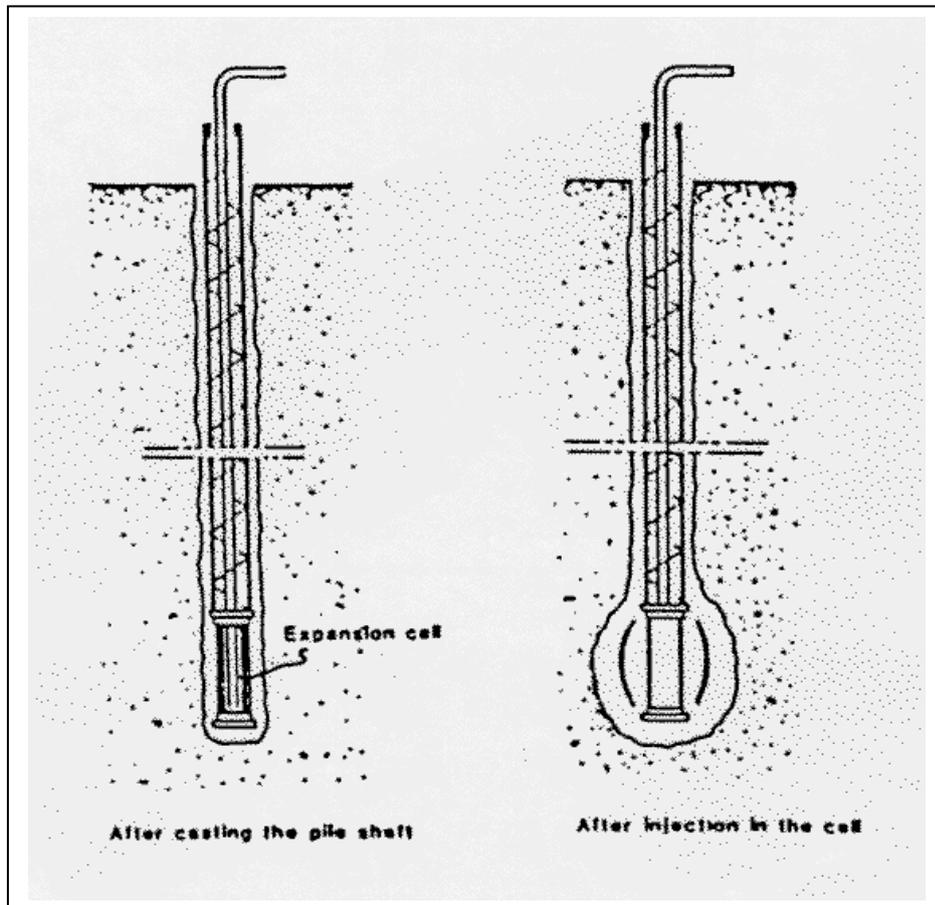
size of standard diameters								
GEWI®-Pile with Standard Corrosion Protection							GEWI®-Pile with Double Corrosion Protection	
bar diameter	upper pile			pile shank without spacer			pile shank without spacer	
	plastic corrugated sheathing	helix	reinforcing cage	without splice	with torqued splice	with contact splice	without splice	with splice
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Ø 32	56	77	66	36	58	55	56	60
Ø 40	65	85	74	45	70	70	65	74
Ø 50	80	95	84	56	93	86	80	94
Ø 63,5	100	113	107	69	125	110	100	>=111

Technical Data of the GEWI®-Pile				
type Ø	cross-sectional area	steel grade	yield load	ultimate load
[mm]	[mm ²]		[kN]	[kN]
32	804	BSt 500 S	402	442
40	1257	BSt 500 S	628	691
50	1963	BSt 500 S	982	1080
63,6	3167	S 555/700	1758	2217

GEWI®-Multibar Pile			
type Ø	cross-sectional area	yield load	ultimate load
[mm]	[mm ²]	[kN]	[kN]
3x32	2412	1206	1327
1x40, 1x50	3220	1610	1771
3x40	3770	1885	2074
2x50	3927	1963	2160
2x40, 1x50	4477	2238	2462
1x40, 2x50	5184	2592	2851
3x50	5890	2945	3240

2.3.2.d Pila de la raíz con bulbo

Este micropilote (Ellis 1985) se construye de la misma manera que la pila de la raíz o micropilote descrito anteriormente con la inclusión de una célula deformable en el extremo de la misma.



Pila de raíz con la base expandida (Ellis 1985)

Después de que la lechada exterior del refuerzo haya endurecido, una lechada limpia de cemento se inyecta a través de una vaina de acero para "hinchar" la célula.

La burbuja que se hincha rompe las paredes de la célula y se crea un bulbo con una presión casi uniforme en el suelo.

El propósito de esta base ampliada es aumentar la fuerza de la punta del micropilote mientras que mantiene la alta resistencia friccional lateral.

Este micropilote es raramente usado hoy día (Bruce 1994).

2.3.3 Clasificación basada en procedimiento de la inyección: "inyección Repetitiva y Selectiva" y "inyección Global Unificada"

Bustamante y Doix (1985) describen un tipo de micropile con un refuerzo de acero dispuesto dentro de una perforación de pequeño diámetro y sellado al terreno por inyecciones de lechada a presiones relativamente elevadas.

Según el proceso de inyección se describen dos sistemas usados comúnmente en el entorno europeo: "inyección Répétitive et Sélective" (inyección repetitiva y selectiva) o IRS , y "inyección Globale Unitaire" (inyección global unificada) o IGU .

2.3.3.a "Inyección Repetitiva y Selectiva"

Los micropilotes del IRS incluyen los micropiles inyectados a través de una vaina con un obturador doble para poder hacer la inyección en las zonas específicas (selectivas), y es posible hacer repetitivo el proceso en diversas zonas (repetitivas). Los micropiles de Tubfix y de Gewi caen en esta categoría.

Dado que es el sistema universalmente más aceptado se desarrollara a continuación de una forma mas completa.

Procedimiento constructivo:

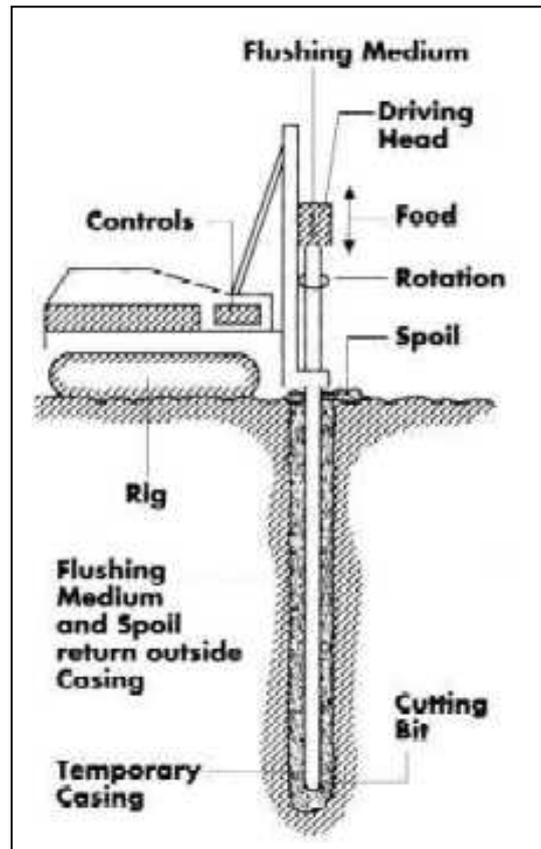
La perforación se realiza mediante Rotación. Se efectúa con tubería de revestimiento, en aquellos casos en que es necesaria, y tubería interior por la que circula el fluido de perforación.

Concluida la perforación, se lava el taladro mediante agua a presión.

La armadura es una tubería de acero y no una jaula de redondos como en el caso de Pilotes o Muros.



MICROPILOTES INYECTADOS



La nomenclatura usada para definir la armadura del micropilote se basa en dos cifras que indican respectivamente el diámetro exterior del tubo en mm y el espesor del acero del mismo también en mm; la armadura más usual, en España, para micropilote es 90/7 ST-52 (90 mm de diámetro exterior del tubo y 7 mm de espesor; ST-52 es el tipo de acero de límite elástico superior a 5.000 kp/cm^2).



MICROPILOTES INYECTADOS

Tubos de micropilotes más frecuentes:

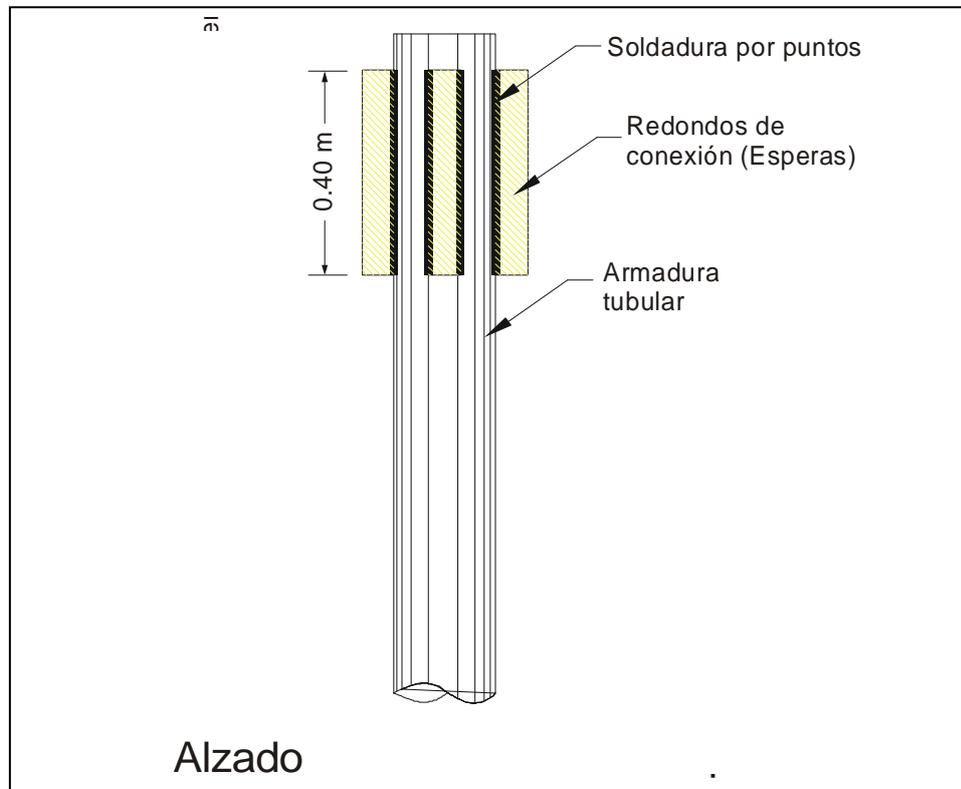
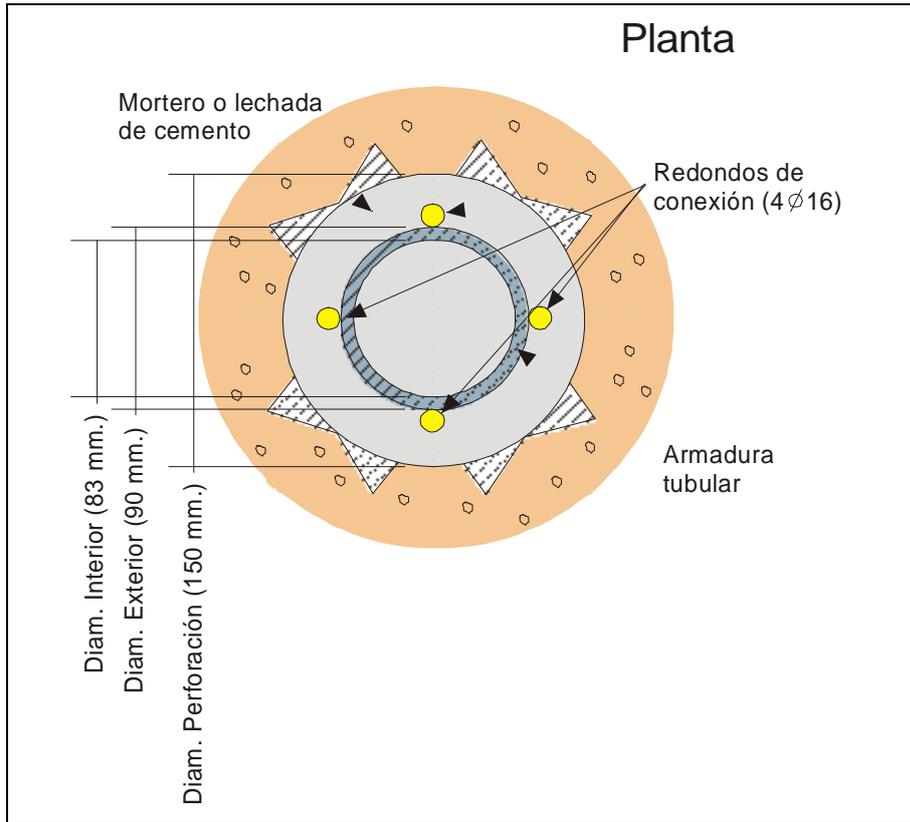
Diametro mm	Espesor mm	Sección mm ²
60.3	5	845
73	5.5	1160
73	7.5	1550
88.9	6.45	1660
88.9	7.5	1920
88.9	9.5	2300
101.6	9.5	2615
114.3	9.5	2990
114.3	16	4700
127	9.5	3340
127	13.5	4820
139.7	9.5	3700
139.7	12.5	4750
177.8	12.5	6037

Con el fin de incrementar la sección disponible de acero, cabe la posibilidad de introducir barras de acero corrugado en el hueco: 1 ϕ 32, 2 ϕ 25, etc., dependiendo de las dimensiones de la armadura tubular.

Como precaución constructiva a tener en cuenta, dado que la superficie de la armadura es totalmente lisa, para mejorar la adherencia de las mismas al encepado de cabeza se suele recurrir a soldar unas barras de acero corrugado, que en los casos normales serán cuatro, de un diámetro ϕ 16 y en una longitud total de 60 cm a 70 cm, longitud en la que la soldadura no es continua, sino que está aplicada puntualmente con una separación de 10 cm a 12 cm.



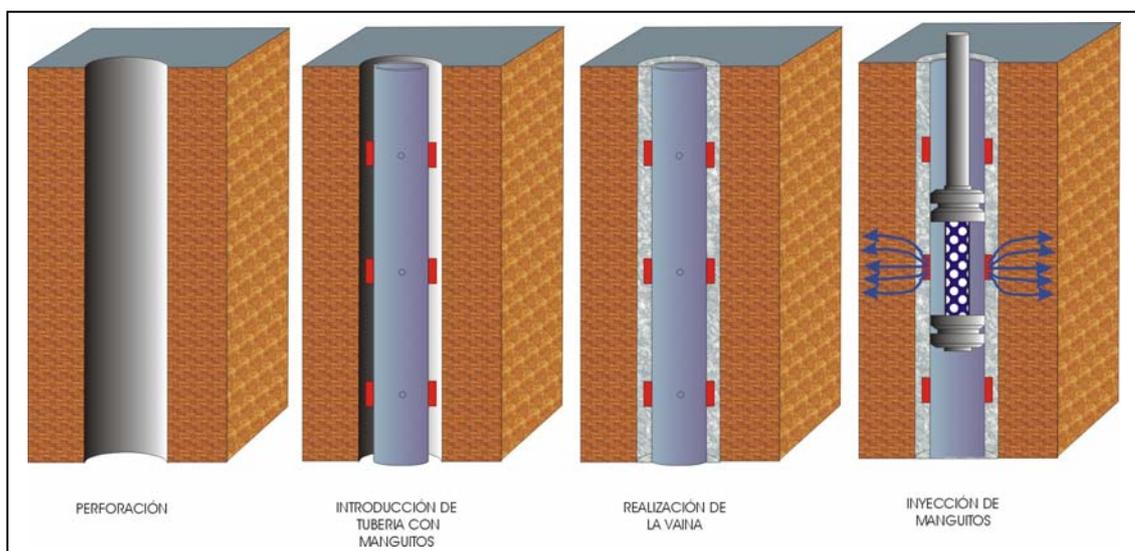
MICROPILOTES INYECTADOS



MICROPILOTES INYECTADOS

Inyección: Introducida la armadura se procede a la inyección. Se realiza por circulación inversa con lechada o mortero. El mortero se bombea por el interior de la armadura hasta el fondo del taladro y sube por el espacio anular que queda entre la armadura y la perforación, desplazando en su camino los posibles detritus de perforación. En función de las características del terreno, se puede incorporar a la armadura del micropilote una serie de válvulas antirretorno, que permiten con posterioridad a la inyección primaria, una segunda inyección secundaria que mejora los parámetros terreno/micropilote. (IGU/IRS)

Viga de Coronación: Cuando se ha terminado de micropilotar toda la alineación de la pantalla se procede a arriostrar sus cabezas mediante una viga de coronación.



El agua de amasado cumplirá las condiciones exigidas para su empleo en morteros y hormigones. En particular, no deberá contener sustancias perjudiciales para las activas o la propia lechada, ni más de 250 mg de ión cloro por litro. No tendrá un pH inferior a 7 ni presentará trazas de hidratos de carbono.

Los productos de adición deberán estar exentos de sustancias perjudiciales para las armaduras o la propia lechada, tales como cloruros, sulfuros o nitratos.

Los productos de adición podrán utilizarse si se demuestra mediante los oportunos ensayos, que su empleo mejora las características de la lechada. Se modificarán teniendo en cuenta las condiciones locales de temperatura y previa aprobación del Director.

La lechada deberá tener la consistencia máxima compatible con la inyectabilidad. El valor de la fluidez expresado por el tiempo que tarda en salir un litro de lechada por el cono de Marsh, estará comprendido entre 17 y 25 seg.

MICROPILOTES INYECTADOS

La relación agua /cemento estará comprendida entre 40 y 50 centésimas. El valor de exudación, medido en probetas cilíndricas, herméticamente cerradas, de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura, no será superior al 2% a las tres horas, ni al 4% como máximo absoluto, y la propia lechada deberá reabsorber el agua exudada pasadas 24 horas.

La disminución de volumen o contracción, medida sobre la misma probeta, no será superior al 2%

En cuanto a la expansión eventual, que se presenta cuando se emplean aditivos destinados a tal fin, no podrá exceder del 10%.

La resistencia a compresión de la pasta, determinada según los métodos prescritos para la pasta de cemento en el vigente Pliego de Condiciones Generales para la Recepción de Cementos, no será inferior a 300 kp/cm².

La mezcla se preparará mecánicamente con maquinaria apropiada que deberá constar de dos tambores al menos: el primero, mezclador, en el que se realizará la mezcla íntima de componentes, y el segundo, agitador, donde se mantendrá la mezcla en agitación continua para evitar una segregación y sedimentación de la lechada antes de su inyección. Los tambores irán provistos de un tamiz 0'50 UNE, a través del cual habrá de pasar la lechada.

La perforación se realizará con sonda o martillo de fondo a rotopercusión, empleando trialetas, triconos o tallantes, según la naturaleza del terreno. Se realizarán con un diámetro de 150 mm.

En el caso de martillos se podrá utilizar la refrigeración y extracción de detritos mediante aire.

Si se observase durante la perforación una pérdida sensible en el fluido de refrigeración y limpieza, se realizará un ensayo de permeabilidad, con objeto de evaluar las fisuras y decidir el tipo de inyección apropiado.

Terminado el taladro con la longitud, inclinación y diámetro necesario para cada micropilotaje, se harán las maniobras de limpieza o lavado suficientes para desalojar todo residuo que quede dentro de la perforación que puedan impedir la colocación del micropilote.

Una vez terminada la perforación, se colocarán en su interior las armaduras equipadas con las válvulas antirretorno.

En el exterior de los tubos de armadura irán alojados los manguitos de inyección, los cuales deberán ir provistos de válvulas antirretorno, que permitan realizar una inyección de lechada posterior a la del relleno del micropilote a presión y admisión controlada.

MICROPILOTES INYECTADOS

Una vez colocado el micropilote se realizará la inyección primaria con mortero relativamente fluido, avanzando desde el fondo de la perforación hasta la boca del taladro.

Transcurrido, por lo menos, cinco horas de esta inyección, se procederá a la inyección de presión, ésta se ejecutará a través del tubo y los manguitos. La presión a alcanzar en esta reinyección dependerá de las características del terreno.

Las inyección se harán de forma continua e ininterrumpida y con la uniformidad necesaria para impedir la segregación de la mezcla.

En la cabeza del micropilote existirá el necesario conductor de purga para permitir la salida del aire alojada en el taladro. La inyección se continuará hasta que por los conductos de purga salga lechada de la misma consistencia que la que se inyecta y sin burbujas de aire.

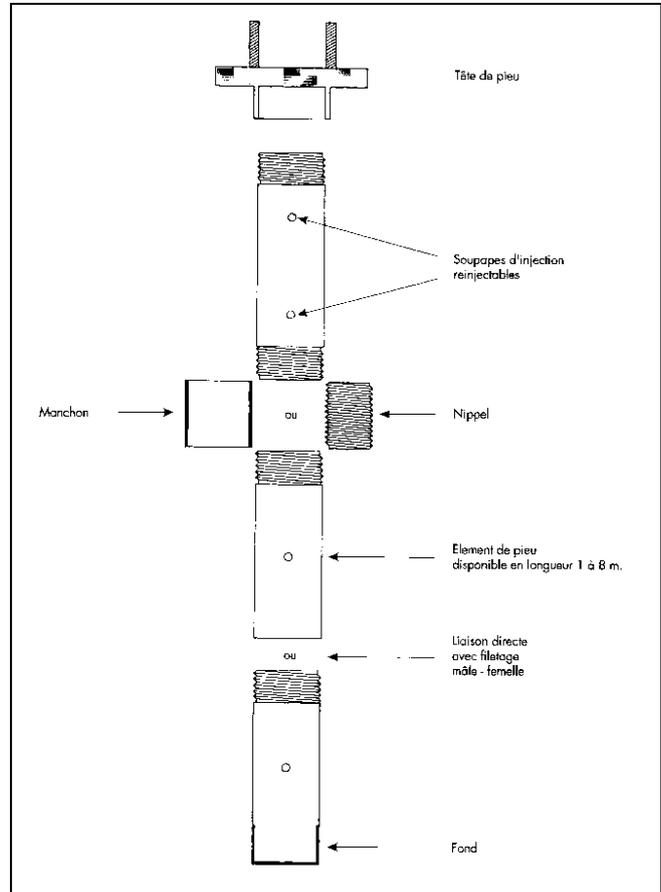
No deberán transcurrir más de 30 minutos desde el amasado de la lechada hasta el comienzo de la inyección.

Las bombas de inyección estará accionadas por un motor individual. En cualquier caso, la bomba deberá proporcionar una inyección continua e ininterrumpida con pequeñas variaciones de presión.

La bomba deberá estar provista de un dispositivo de seguridad que evite las sobrepresiones que puedan producirse por atascos en el interior de los conductos. La alimentación deberá ser por gravedad y no por succión, ya que éste último sistema tiende a introducir aire en la mezcla, lo cual debe evitarse.



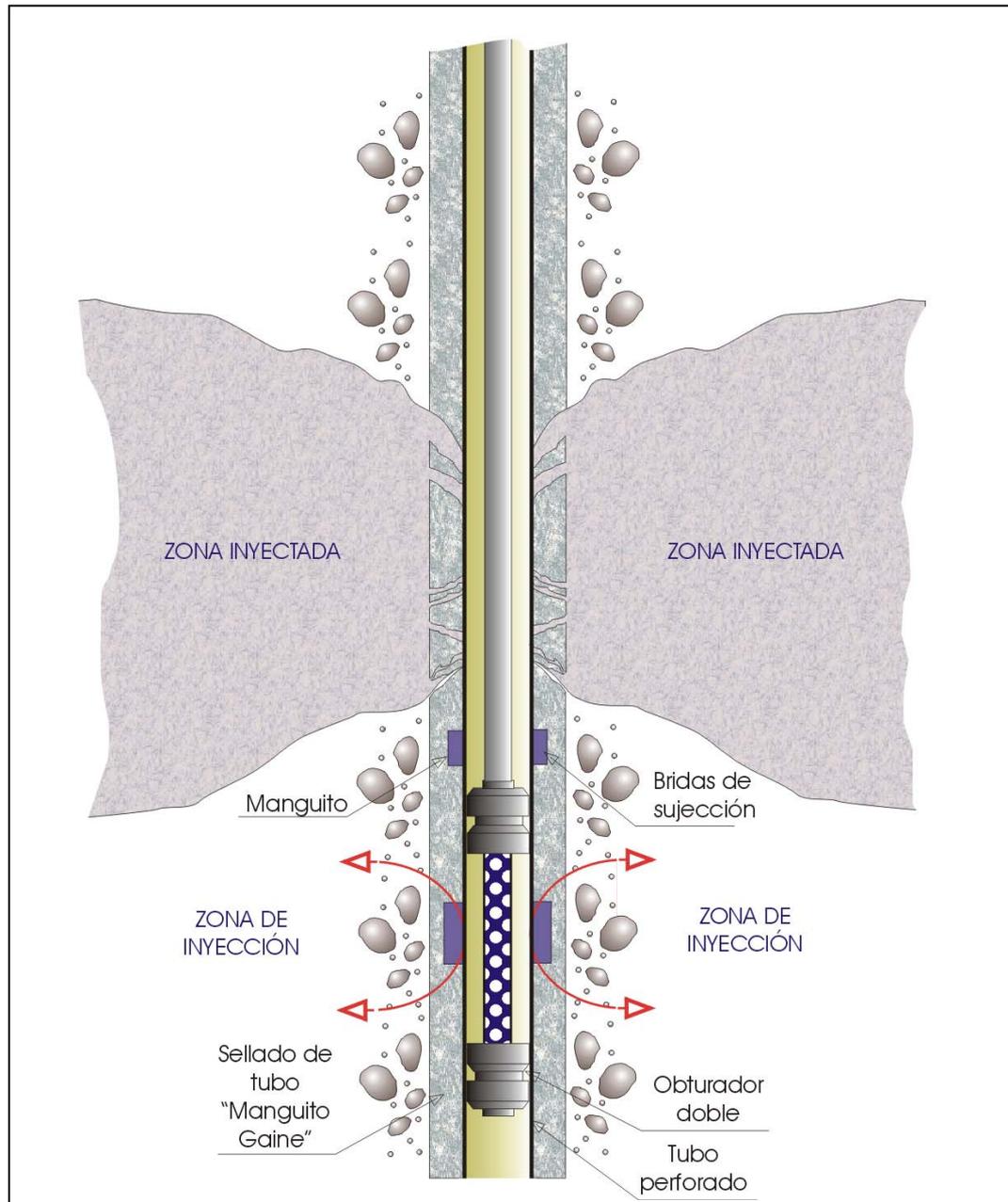
Se controlará la calidad y dosificación de los materiales que componen la lechada, para comprobar que se cumplen las prescripciones del presente Pliego. El contenido de agua y la dosificación de los aditivos se comprobará al menos una vez al día. Si el aditivo se suministra en envases con indicación de su contenido en peso, se



MICROPILOTES INYECTADOS

verificará un muestreo de dichos envases con el fin de garantizar una variación real mínima en la dosificación.

La lechada deberá controlarse antes de entrar en el conducto y a la salida del mismo, comprobándose por una parte las características de la mezcla, por lo menos una vez por cada anclaje. Durante la inyección, se controlarán las presiones del manómetro de la bomba, comprobando que los valores permanecen constantes: cualquier brusca variación en estos valores es indicativa de irregularidades en la inyección bien por existencia de fugas o de obstrucciones.



2.3.3.b "Inyección Global Unificada"

Determinan micropilotes en los cuales la inyección se realiza globalmente y, generalmente, de una sola pasada.

Pertencen a este grupo aquellos micropilotes en los cuales la inyección de la lechada se efectúa a partir de la cabeza de los mismos partiendo de un simple obturador o, como en la mayoría de los casos, a partir de un tubo flexible empalmado directamente a la cabeza.

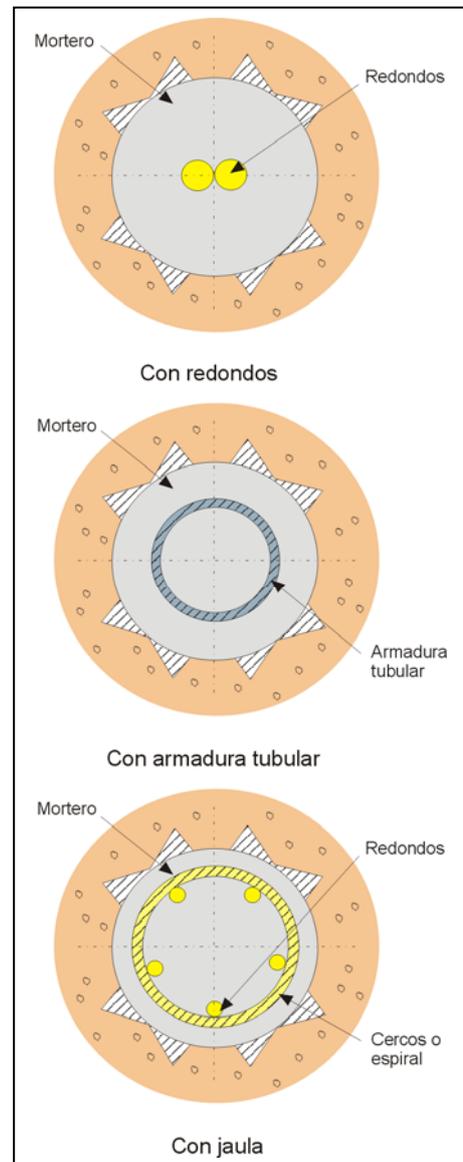
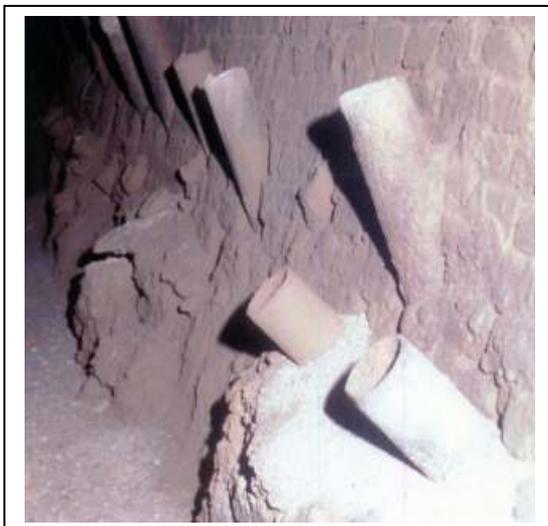
Para el resto de cuestiones puede ser equiparado el los micropilotes definidos en los párrafos anteriores.

2,3,4 Clasificación según el tipo de armadura

La armadura de un micropilote puede ser de tres clases:

- a.- Dos o más redondos adyacentes colocados en el centro del taladro.
- b.- Tubo de acero o armadura tubular.
- c.- Jaula con cinco o más redondos longitudinales y cercos atándolos transversalmente.

La elección del tipo de armadura depende de las condiciones de cada caso concreto y, en general, está ligada al diámetro y a la capacidad de carga del micropilote.



2.3.5 Clasificación aceptada por la Administración de Carreteras Federal (FHWA) de los E.U.

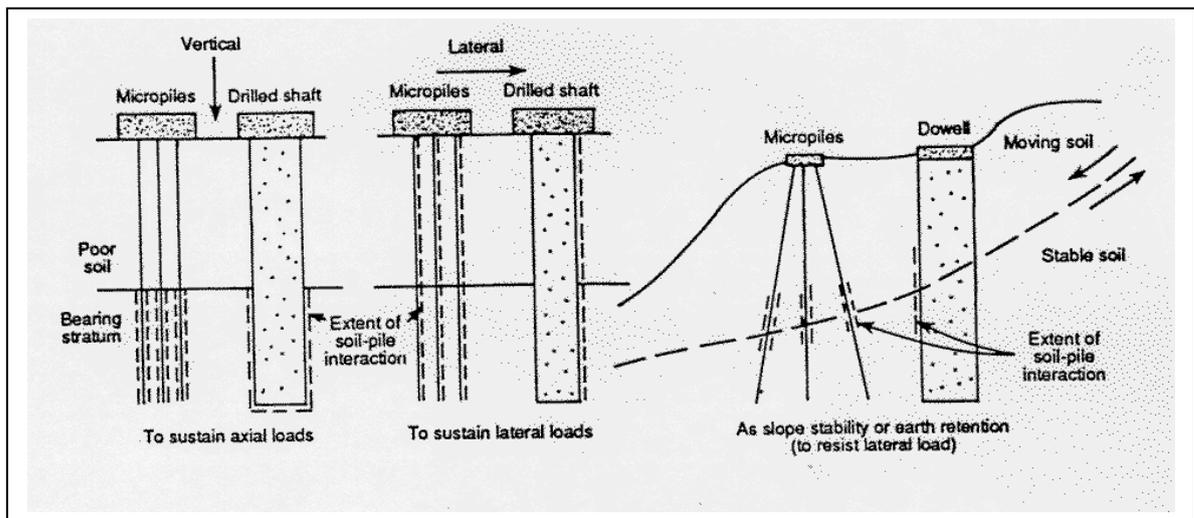
Los micropilotes se clasifican por la Administración de Carretera Federal (FHWA) de los E.U. basándose en dos criterios básicos, filosofía de comportamiento o el método de trabajo (Bruce et al. 1995a, 1995b; Bruce 1997).

2.3.5.a Basados en la filosofía de comportamiento

Caso 1:

En este caso los micropilotes son directamente cargados, siguiendo el mismo esquema que los pilotes convencionales y son cargados verticalmente.

También pueden ser considerados como un refuerzo para la estabilización de deslizamiento y son cargados lateralmente.



Micropilotes cargados directamente

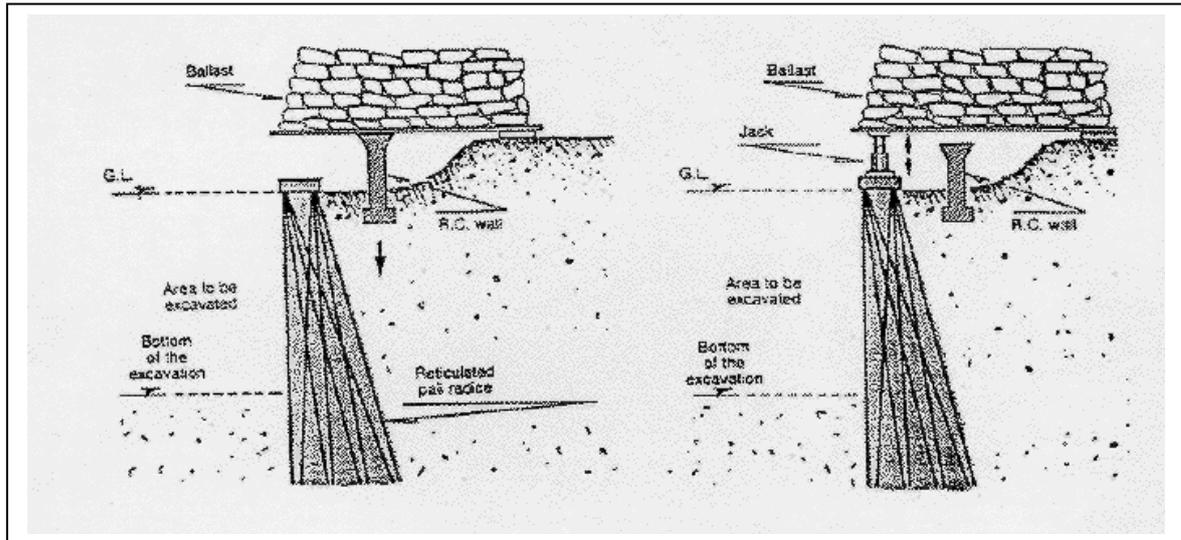
Caso 2:

Los micropilotes no son cargados directamente.

Estos micropilotes se construyen para formar una red tridimensional de trabajo.

De este modo vienen a constituir un componente del suelo, constituyendo una zona de refuerzo del material confinado como se aprecia en la siguiente figura.

MICROPILOTES INYECTADOS



Micropilotes trabajando como un refuerzo del suelo.

2.3.5.b Basado en el metodo de colocación de la lechada

Tipo A:

La lechada es vertida por la cabeza del micropilote por gravedad.

Tipo B:

La lechada se inyecta mientras que se retira, de existir la vaina temporal. El rango de presiones es oscilante entre 0.3 a 1 Mpa. Los micropilotes de tipo IGU se incluyen dentro de este tipo, aunque se realizan a presiones más altas.

Tipo C:

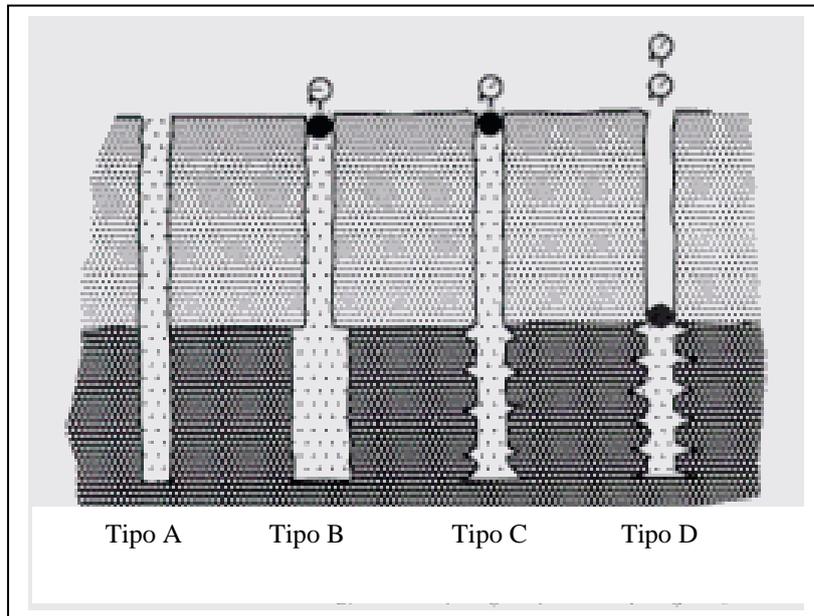
La lechada se coloca como en el tipo A, pero después de pasados entre 15 y 25 minutos (inyección primaria) se inyecta más lechada a presión.

En este esquema las presiones utilizadas son superiores a 1 Mpa. Los micropilotes de tipo IGU están dentro de esta categoría.

Tipo D:

La lechada se coloca como en el tipo A, pero después de que algunas horas (después de que frague la lechada primaria) se inyecta más lechada. Se puede inyectar diversas zonas según lo que se requiera. Las presiones varían comúnmente a partir del 2 a 8 MPa. Tubfix, las barras Gewi y los micropilotes IRS están dentro de esta categoría, y se utilizan comúnmente en todo el mundo.

MICROPILOTES INYECTADOS



Aplicaciones de micropilotes, aspectos de diseño y tipo de construcción.

Aplicaciones	Estructuras de sujeción	Refuerzos in situ			
Aplicación	Recalces Nuevas cimentaciones Refuerzo sísmico.	Estabilización de deslizamientos y pantallas.	Consolidación de suelos	Reducción de asentos	Estabilidad estructural
Tipo de construcción	Todos los tipos	Tipos A y B	Tipos A y B	Tipo A	Tipo A
Utilización	El 95 % de su aplicación	Menos del 5 %	Menos del 1 %	--	Menos del 1 %

2.4 Nuevas tendencias

El empleo de bulones o micropilotes autoperforantes mediante el Nuevo Método Austríaco (NMA) supone una clara ventaja en lo que se refiere a operatividad, productividad y calidad, especialmente en terrenos disgregados, blandos o de roca alterada, cuando Perforación, Inyección e Instalación de Armadura se realizan en una sola operación.

El sistema de anclajes de inyección Titan se basa en una barra perforada, roscada en toda su longitud que se empalma mediante manguitos roscados de unión y, que está provista de una boca de perforación perdida, de un sólo uso, adecuada a cada tipo de terreno (Figs. 1 y 2). Las cargas de rotura van desde 22 hasta 346 Toneladas dependiendo del tipo de barra.

Los diámetros usados exterior/interior de la barra son: Titan 30/16, 30/11, 40/16, 52/26, 73/53, 103/78 y 105/53. Puesto que se trata de un sistema modular, pueden obtenerse tanto bulones como micropilotes a la longitud deseada o adaptarse a las diferentes longitudes, empalmando simplemente una nueva barra.

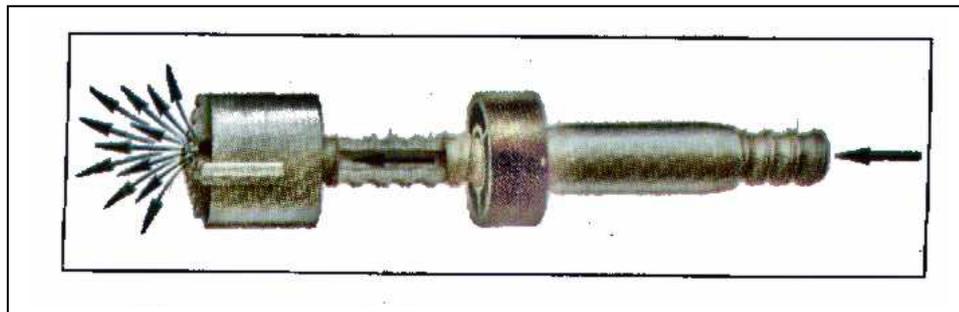


Fig.1.- Anclaje de Inyección

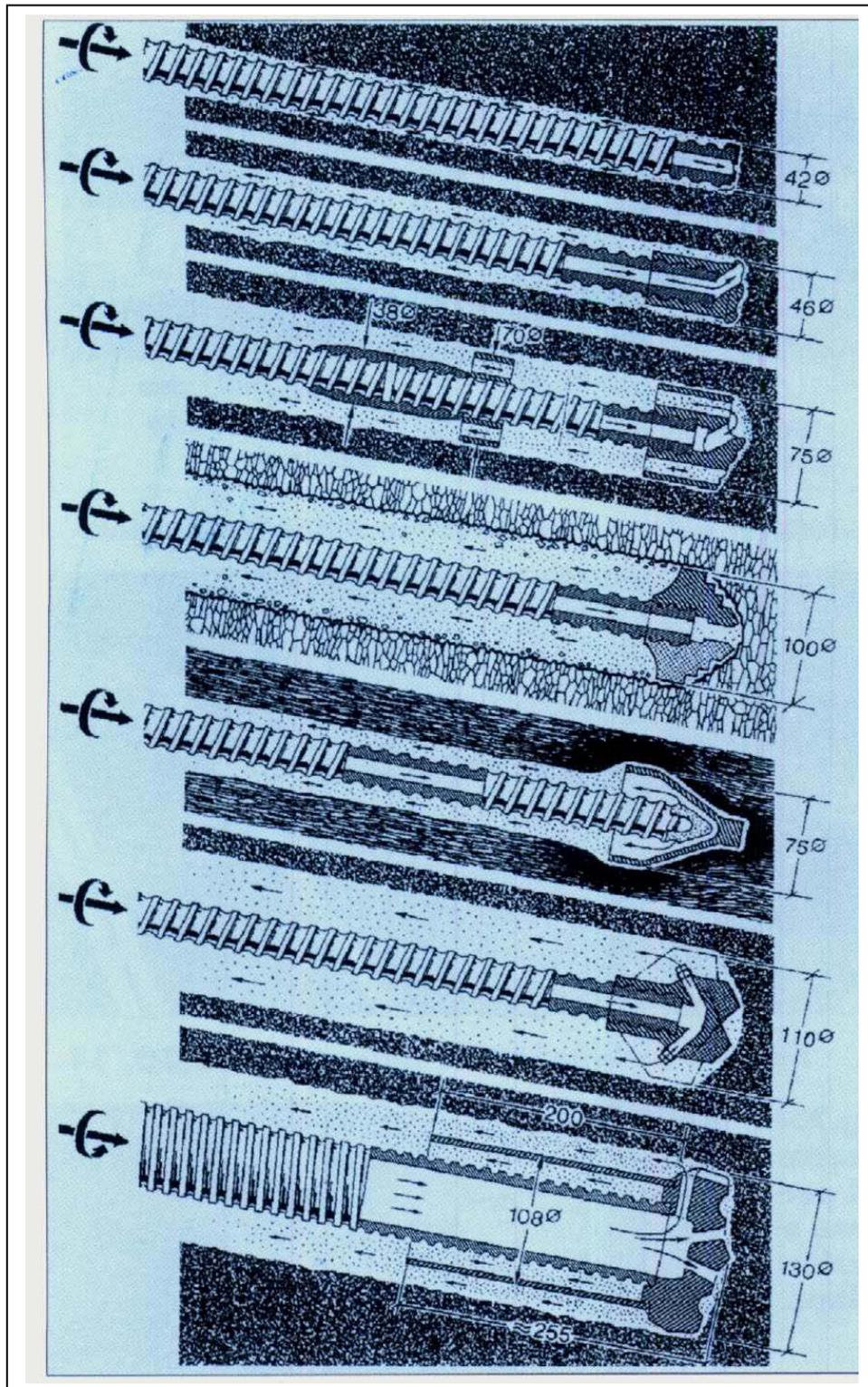


Fig.2.- Sistemas autopercorante-autoinyectable.

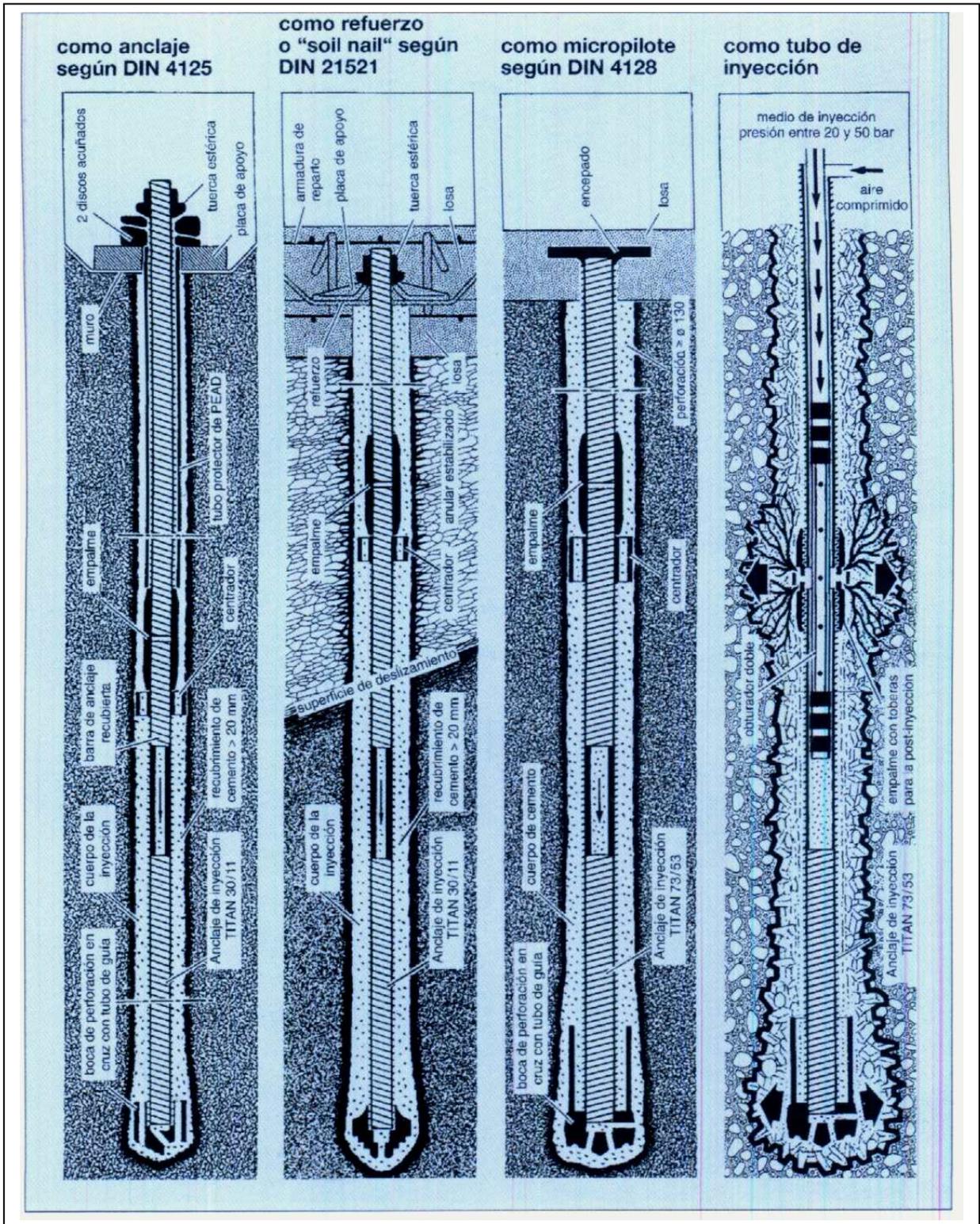


Fig.3.- Aplicaciones

Operatividad

El principio fundamental es que pueden instalarse con los equipos habituales de perforación de bulones y micropilotes en túneles (Fig. 3) y, la principal ventaja son los grandes rendimientos de instalación de bulones o micropilotes que pueden conseguirse con los equipos habituales o jumbos: con bulones Titan 30/11, provistos de boca de botones de 51mm, se han conseguido rendimientos de 100 m/hora con dos equipos Furukawa Boomcru, en un terreno de conglomerados disgregados de arena y grava, con presencia de agua, 15 l/s.

Los ensayos a tracción han dado como resultado 178 kN, frente a los 35 kN de los bulones clásicos de corrugado de acero. El paraguas de sostenimiento y, el anclado de la contrabóveda, han sido llevados a cabo mediante martillo COP 1238, con micropilotes Titan 73/53 de 15,0 m y 6,0 m de longitud, respectivamente, y de boca de perforación de 130 mm.

En jumbos o carros provistos de alimentador, se pueden conseguir producciones de entre 300 y 500 m/día.

Si se utilizan obturadores cónicos Titan de plástico roscados a la barra (Fig. 5), una vez finalizada la perforación, el bulón queda listo para colocar la placa y la tuerca, puesto que el obturador impide el desprendimiento del bulón y de la lechada de inyección. Puede instalarse un cabezal de lavado en el martillo (rosca Titan a rosca R38, T38, T45, etc.), a través del cual se inyecta el fluido de barrido y la inyección definitiva: se puede optar por barrer con agua e inyectar cuando se está a la perforación (Fig. 4).

Perforar e Inyectar

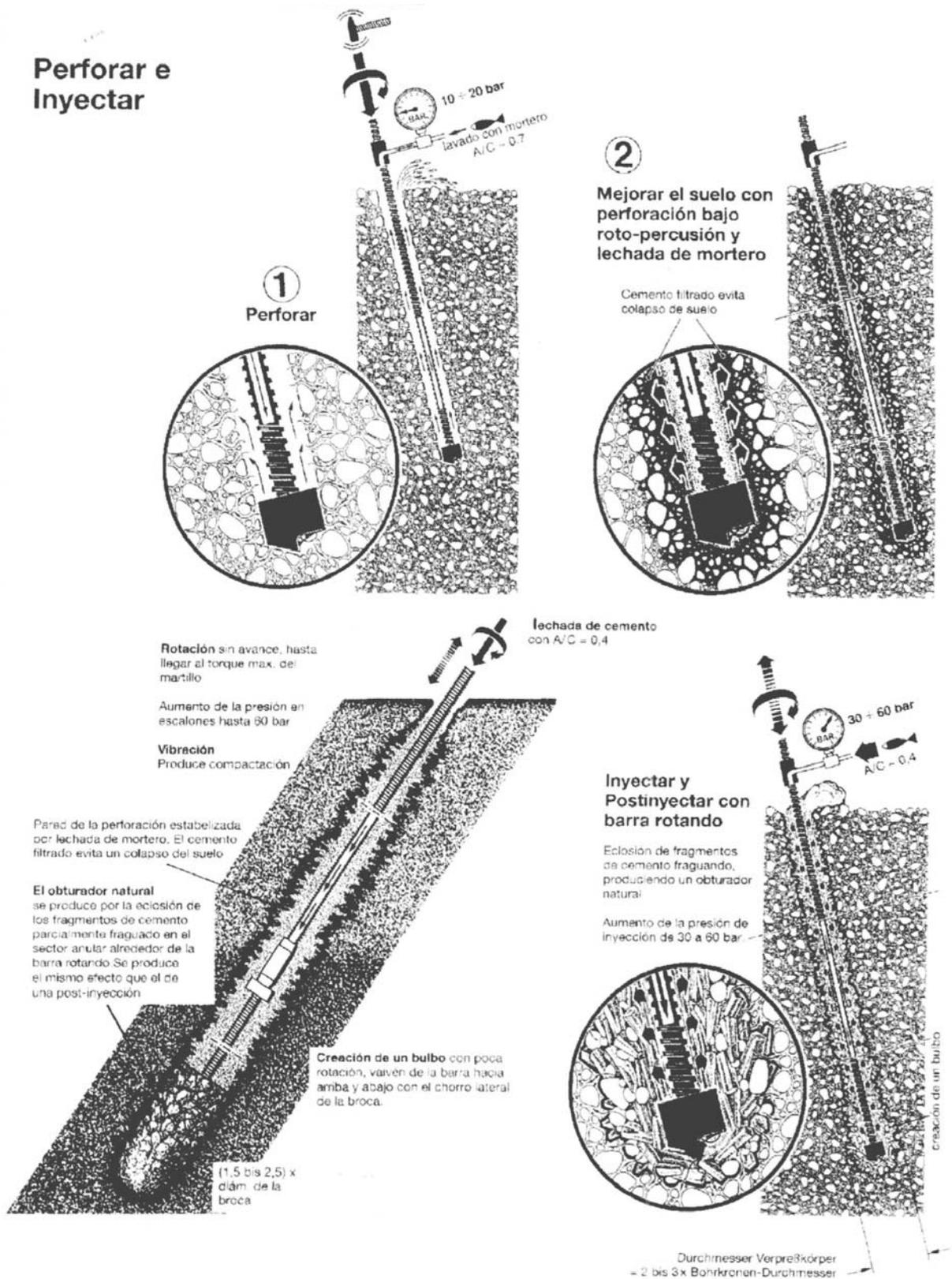


Fig.4.- Proceso de autoperforación-autoinyección.

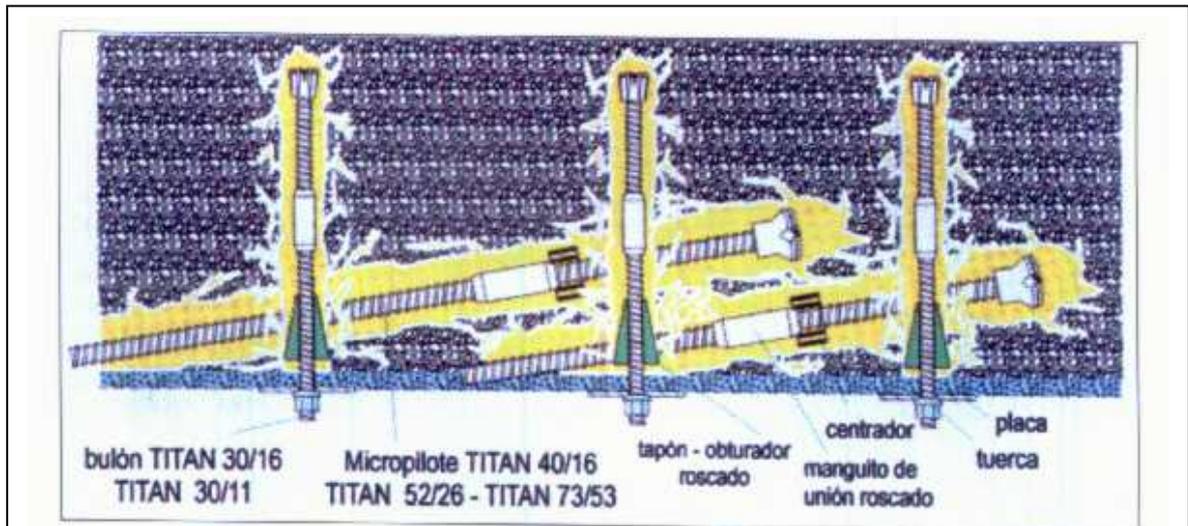


Fig.5.- Micropilotes y bulones en el Nuevo Método Austriaco



Fig.6.- Instalación de bulones Titan 30/11

En taladros verticales o pseudoverticales pueden emplearse morteros, basados en cemento o resinas, o aditivos con p.ej. MBT Flowcable, ya que la elevada viscosidad del fluido que se obtiene impide el descuelgo de la inyección y, es perfectamente inyectable a través de la barra-tubo Titan y las toberas de barrido de las bocas de perforación.

Puesto que la barra actúa a la vez de varillaje de perforación se elimina el coste en fungibles de perforación como niples, varillas, bocas, etc.

La modularidad del sistema Titan, permite adaptar la longitud de los bulones a las necesidades reales de la obra, alargando o acortando los bulones. Puesto que las barras están roscadas en toda su longitud, pueden cortarse fácilmente a la longitud deseada. Las longitudes estándar son de 3 m, aunque en los diámetros pequeños también se suministran en 2 y 4 m. Es posible suministrar longitudes de 6 m integrales.

Ventajas técnicas

Las ventajas del sistema son las siguientes:

- El acero es de grano fino StE460 o StE355 y, en su fabricación el acero es compactado mediante transformación -laminación en frío-, sin pérdida de material. El sistema Titan está acreditado con la norma ISO 9001.
- Los bulones y micropilotes Titan cumplen con las normas DIN correspondientes, DIN 4128, EAU E28 y DIN 4125, así como el futuro Eurocódigo Draft CEN/TC 288/WG8 Micropiles.
- La mecánica de los suelos de los micropilotes-anclajes inyectados demuestra una muy reducida deformación frente a los pilotes hincados e inyectados. (asentamiento < 5 mm bajo carga útil). Debido a su alta resistencia al corte entre cuerpo de inyección y terreno, el movimiento necesario para activar el rozamiento es de unos pocos milímetros.
- La resistencia a flexión y cortante de la barra es aplicable totalmente al sistema barra-manguito de empalme: está garantizada que la rotura se produce siempre externamente al manguito. Cuando se emplean barras Titan como micropilotes en paraguas, los empalmes no suponen nunca un punto frágil en el conjunto.
- La adherencia barra-cemento es muy alta, gracias al especial diseño de la rosca, según DIN 488, mucho mayor que las roscas redondas y, por supuesto, de los tubos lisos.
- Las características técnicas del tubo, con un elevado alargamiento, proporcionan su empleo ideal en este tipo de aplicaciones.
- El recubrimiento de cemento alrededor de la barra está garantizado puesto que la inyección es desde el fondo del taladro a través de la boca de perforación, hacia fuera y, es como mínimo de 2 cm.
- Como en el hormigón armado, con los nervios se produce una distribución uniforme en el cemento. Mediciones de fisuras en la Universidad Politécnica de Munich con cuerpos de cemento inyectado, armado con anclajes de inyección Titan 30/11 y excavados han mostrado, que la anchura de las fisuras hasta una carga de 1,25 x carga admisible, quedan por debajo del valor admisible de 0,1 mm para hormigón armado, según DIN 1045 16.8.5, y también según Eurocode EC 2. Por tanto, por este detalle, la protección frente a la corrosión es muy alta, estando también favorecido por las características técnicas del acero de grano fino. Así consta que le recubrimiento mínimo de 20 mm con cemento, como en el caso del hormigón armado, basta para justificar la protección simple según DIN 4128 9.2, no limitando la capacidad de carga interna obtenida de la carga de tensión,

incluso para micropilotes de tracción permanentes. La carga admisible interna obtenida de la carga de tensión, definida por la carga de fluencia medida de 525 kN y el factor de seguridad de 1,75, da como resultado los 300 kN de carga admisible para el Titan 40/16.

- Puesto que la inyección de la lechada a presión se produce simultáneamente a la perforación desde las toberas de la boca de perforación y a medida que se avanza, se consiguen diámetros del taladro mucho mayores, de 1,5 a 3 veces que le nominal de la boca de perforación y, por ello, la rugosidad de las paredes del taladro o fricción lateral (q_s) entre el cuerpo del bulón y el terreno es elevadísima: se pueden obtener valores de 2 a 3 veces superiores de fricción lateral, comparado con otros sistemas.

Siendo D = diámetro de la boca de perforación:

$D > 2,0 \times d$ para gravas medianas y gruesas.

$1,5 \times d$ para arenas y gravas arenosas.

$1,4 \times d$ para suelos cohesivos (arcillas, margas).

$1,2 \times d$ para areniscas disgregadas, filitas, esquistos arcillosos.

Aplicaciones particulares

- Refuerzo, rehabilitación y saneamiento de túneles y galerías mineras. Las barras Titan pueden emplearse como bulones, como tubos de inyección para morteros especiales o resinas, en consolidaciones o en taponamiento de vías de agua, como p.ej. inyecciones de espumas bicomponentes de poliuretano tipo Willich o De Neef, con los equipos habituales recomendados por los fabricantes de las mismas (Figs. 6 y 7).

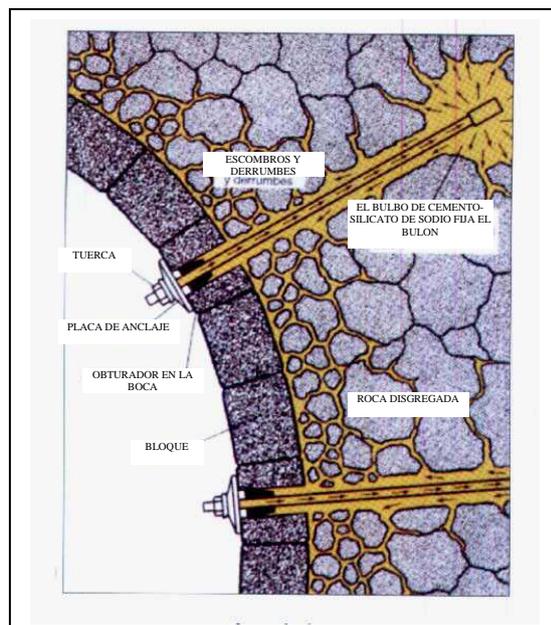
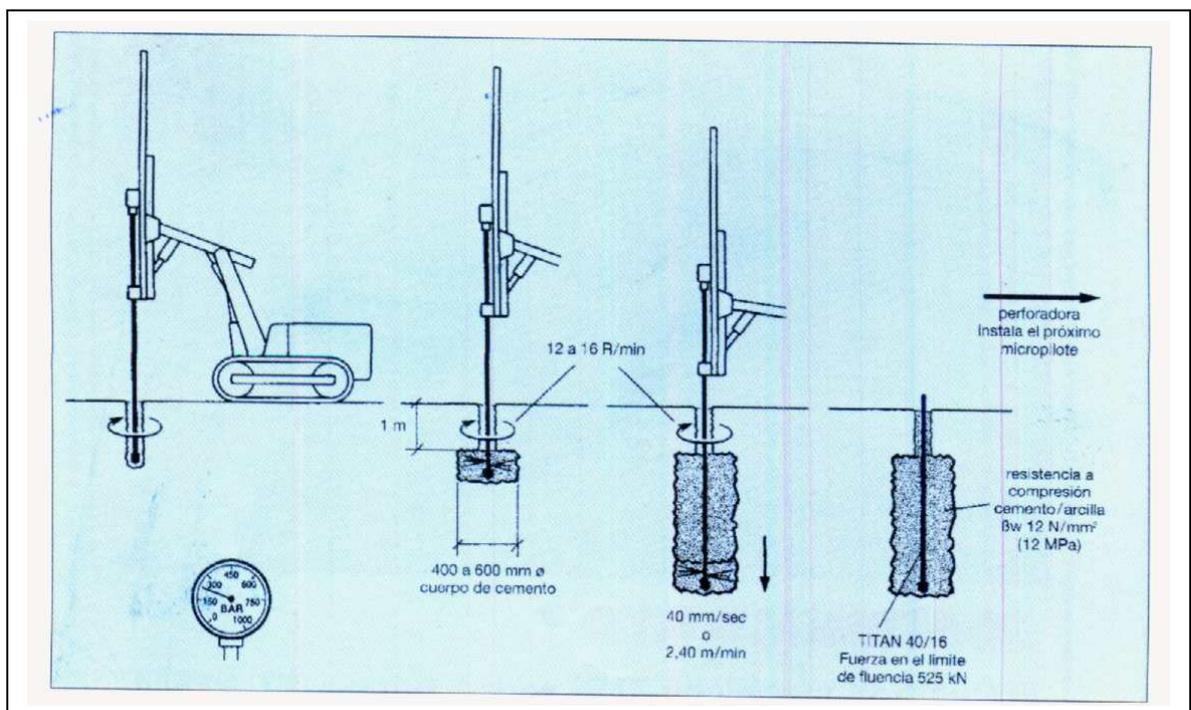


Fig.7.- Rehabilitación de un túnel por bulones o inyecciones de resina

MICROPILOTES INYECTADOS

- Titan Monojet 200. Pueden realizarse micropilotes en paraguas mediante técnicas de inyección tipo Jet Grouting, a presiones de hasta 200 bar. El procedimiento es idéntico al del bulón o micropilote, pero en estas aplicaciones las bocas de perforación van provistas de dos salidas o toberas de inyección especiales de 2,3 mm de diámetro, bocas HDI, a través de las cuales se proyecta la lechada de inyección (Fig. 8). La principal ventaja es que los micropilotes resultantes están armados con una barra Titan que le confiere una resistencia muy superior al de la columna de Jet Grouting tradicional de cemento-suelo, en lo que se denomina Jet Armado. Los equipos de perforación para realizar este tipo de trabajo son, igualmente, los habituales en la perforación de bulones en túneles y, las bombas de inyección, las capaces de alcanzar ese orden de presiones.



- Indicadores de carga. El sistema Titan cuenta con unos indicadores de carga sencillos y económicos, que instalados en las cabezas de los bulones, entre la placa y la tuerca, permiten visualizar rápidamente el estado de carga y evolución de los bulones instalados, mediante tres escalones bien diferenciados. Su sencillez y economía permiten instalar más puntos de control a lo largo del túnel que con otros sistemas más sofisticados (Figs. 9 y 10).

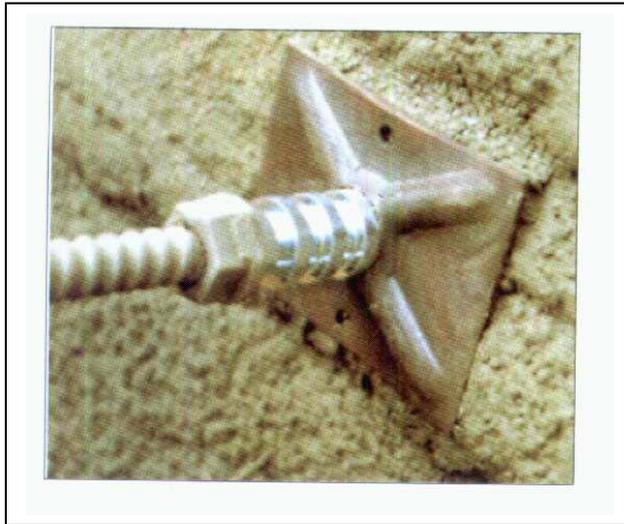


Fig.9.- Detalle de cabeza de anclaje con indicador de carga Titan

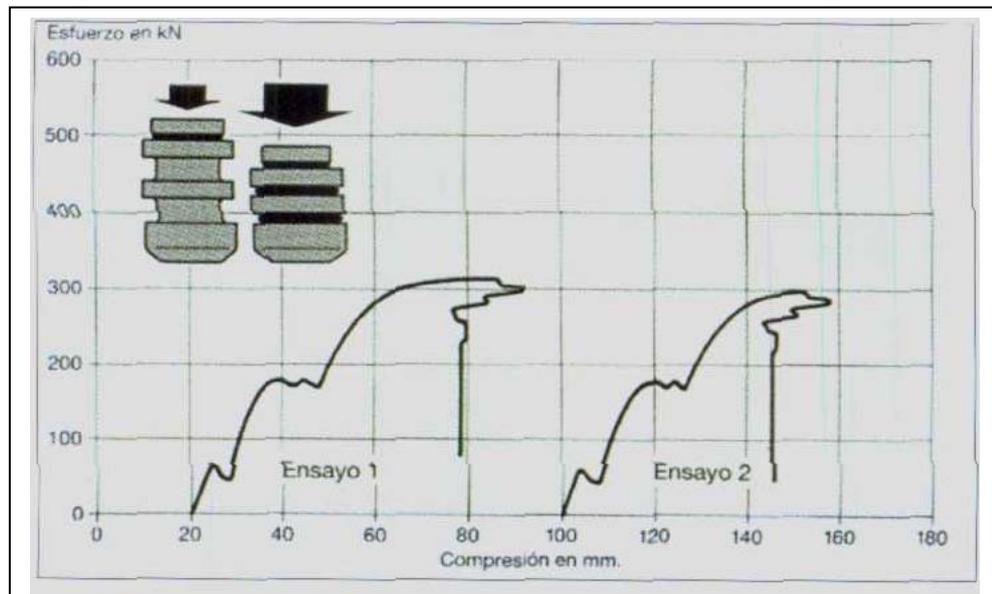
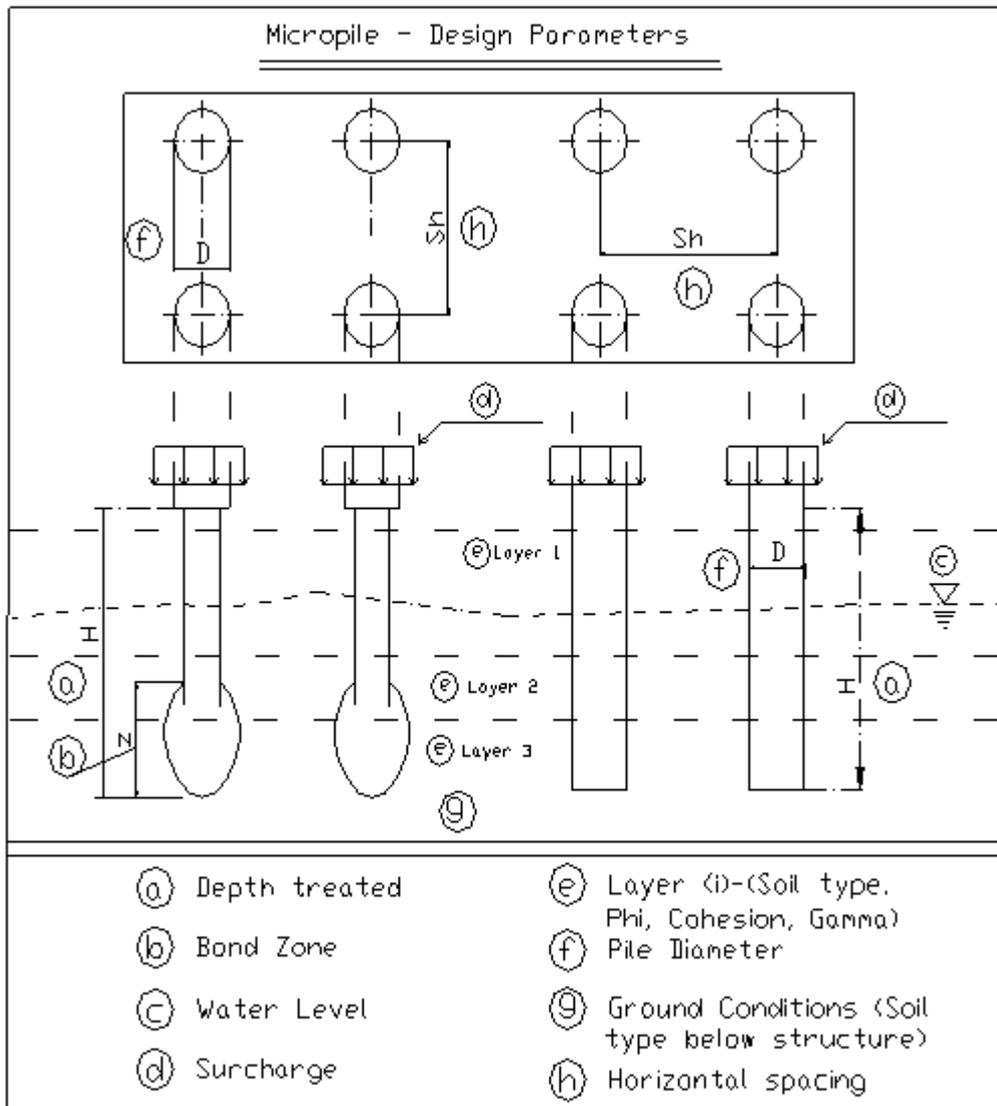


Fig.10.- Curvas de deformación de indicadores de carga Titan

2.5 Criterios de diseño

Para definir un sistema mediante micropilotaje se plantean los siguientes requerimientos en cuanto a su distribución y relaciones geotecnicas con respecto a los materiales perforados.



2.6 Investigaciones necesarias.

Antes de iniciar el proyecto de micropilotaje es necesario conocer detalladamente las condiciones del suelo, especialmente en la zona de trabajo.

El proceso ha seguir deberá ser el siguiente:

a.- Los trabajos se iniciarán con un encuadre geológico de la zona, donde se citarán los mapas geológicos que se usen en la consulta, incluyendo al menos los siguientes apartados:

- a.- Tipo de suelo y formación geológica.
- b.- Existencia de fallas o contactos mecánicos.
- c.- Grado previsible de diversidad geológica.

b.- Encuadre geotécnico de la zona. Si se posee información de las cercanías gracias a estudios anteriores se citarán, describiendo las características del suelo, espesor y resumen de las capas.

Igualmente se describirán los perfiles observable en las cercanías (excavaciones, taludes, etc.), donde se definirá la situación del perfil, distancia a la zona de estudio y descripción del suelo.

c.- Conocimiento de las construcciones del entorno: De las construcciones más próximas a nuestra zona de estudio se describirán brevemente los siguientes puntos:

- Daños en edificaciones
- Daños en construcciones viarias.
- Daños en estructuras de contención.

d.- A partir de los puntos anteriores, de las inspecciones del entorno, y en su caso de las informaciones suministradas se comentará de existir los siguientes extremos, que habrán de referir la problemática geotécnica del entorno:

- Existencia de rellenos artificiales.
- Expansividad.
- Suelos blandos compresible.
- Suelos colapsables.
- Terrenos kársticos

MICROPILOTES INYECTADOS

- Inestabilidad de laderas.
- Terreno rocosos.
- Pendientes elevadas.
- Terrenos agresivos.
- Capas freáticas.

e.- Será de vital importancia el conocimiento de la tipología de la estructura a considerar y todos aquellos datos que se estimen necesarios, especialmente cargas y asientos diferenciales.

f.- Ejecución de los ensayos de campo y laboratorio, que salvo clara justificación en contra los que se estiman a continuación:

		Pila	Estribo
		1 Sondeo rotativo *	1 Sondeo rotativo*
Profundidad mínima		> 4 m en roca	> 4 m en roca
		> 10 m en gravas densas	> 10 m en gravas densas
Ensayos SPT	T. Cohesivos	1 cada 3 m	1 cada 3 m.
	T. Granulares	1 cada 1.5 m	1 cada 1.5 m
Toma de inalteradas		1 cada 3 m. **	1 cada 3 m. **
		1 penet. tipo Borros ***	1 penet. tipo Borros ***

* Podrán reducirse si se prevén terreno homogéneos hasta un mínimo de la mitad de los apoyos.

** Si es posible su extracción.

*** Será opcional.

La memoria estará compuesta por dos partes :

- 1.- Memoria
- 2.- Anejos de la Memoria
- 3.- Informe

La memoria estará compuesta por:

- a.- Resumen de los trabajos realizados.
- b.- Encuadre geotécnico de la zona.

c.- Caracterización geotécnica.

d.- Definición de las problemáticas geotécnicas.

Los anejos de la Memoria, estará compuesto por los siguientes planos:

- Plano de situación
- Plano de situación de reconocimientos realizados y la ubicación de la estructura.
- Plano de perfiles geológico y geotécnico y la ubicación de la estructura.
- Plano de zonificación e incidencias.

Igualmente se proporcionaran los resultados de trabajos y ensayos realizados formados por:

- Corte estratigráficos de sondeos y calicatas.
- Resultados gráficos y numéricos de los ensayos de penetración dinámica continua.
- Resultados de laboratorio.
- Resultados de otros ensayos realizados.

Se aportará además, una documentación fotográfica formada por :

- Fotografías generales
- Fotografías de incidencias
- Fotografías de trabajos de campo
- Fotografías de cajas testigo

El Informe estará compuesto de las siguientes partes:

a.- Selección y Justificación del tipo de cimentación.

b.- Estudio de la Cimentación Propuesta

Se analizarán las condiciones de cimentación a partir de los cálculos adecuados de capacidad portante y de asientos, que determinen profundidad de cimentación aconsejada y presión admisible.

En suelos expansivos o colapsables se deberá analizar la influencia de los posibles movimientos debidos a los cambios de humedad., incluso con estimación o cálculos de estos movimientos si se considera oportuno.

En estos análisis se emplearan las posibles cargas más desfavorables sobre el terreno.

Se citarán los métodos de cálculos empleados, y las características de cálculo supuestos para cada capa del terreno (densidad, cohesión y ángulo de rozamiento interno sin drenaje o efectivos, posición del nivel freático, resistencia unitaria por el fuste y por punta en caso de pilotes o aquellos datos que se empleen).

En cualquier caso se desarrollará inicialmente el estudio por modelos de cimentación superficial.

En cimentaciones por pilotaje se especificara la carga geotécnica admisible para varias profundidades y para los diámetros de empleo más probable para las cargas propuestas; de cualquier modo se estudiaran las siguientes cuestiones:

- Definición de la columna estratigráfica
- Selección de los parámetros geotécnicos
- Cálculo del tope estructural del pilote.
- Definición en planta de la cimentación.
- Selección del tipo de pilote.
- Carga de hundimiento. Longitud total.
- Comprobación de asientos.
- Comprobación efecto grupo.
- Comprobación de efectos adicionales.
- Dimensionado de armaduras del pilote.
- Dimensionado y armado de elementos
- Complementarios: encepados y riostras.

En el caso, de área en las que sea necesario la realización de zonificaciones, se realizar el estudio de la cimentación para cada una de dichas zonas.

C.- Otras consideraciones y recomendaciones

- Excavaciones para la cimentación y movimientos de tierra. Definiéndose la facilidad o dificultada de las excavaciones y la posible necesidad de empleo de explosivos o compresores.
- Estabilidad de las excavaciones.
- Influencia del nivel freático en las excavaciones.
- Medidas contra las inundaciones y contra los cambios de humedad.
- Análisis químicos para la determinación del ataque al hormigón.
- Otras consideraciones.

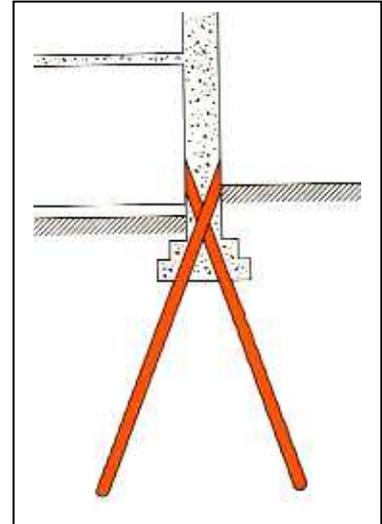
3. Metodos de cálculo para micropilotes

3.1 Introducción

Cuando se produce un proceso de recalce, la carga total se distribuye entre la cimentación previa y la nueva.

Es necesario determinar cuánto de la carga total se puede establecer para la cimentación primitiva, para decidir cuanta fuerza será necesaria transmitir a los micropilotes.(Mascardi 1982; Ellis 1990).

La cimentación original apoyara la carga hasta que se establece el micropilotaje y solamente en este momento los micros contribuirán a transmitir la carga al terreno. (Ellis 1990).



3.1.a El efecto grupo

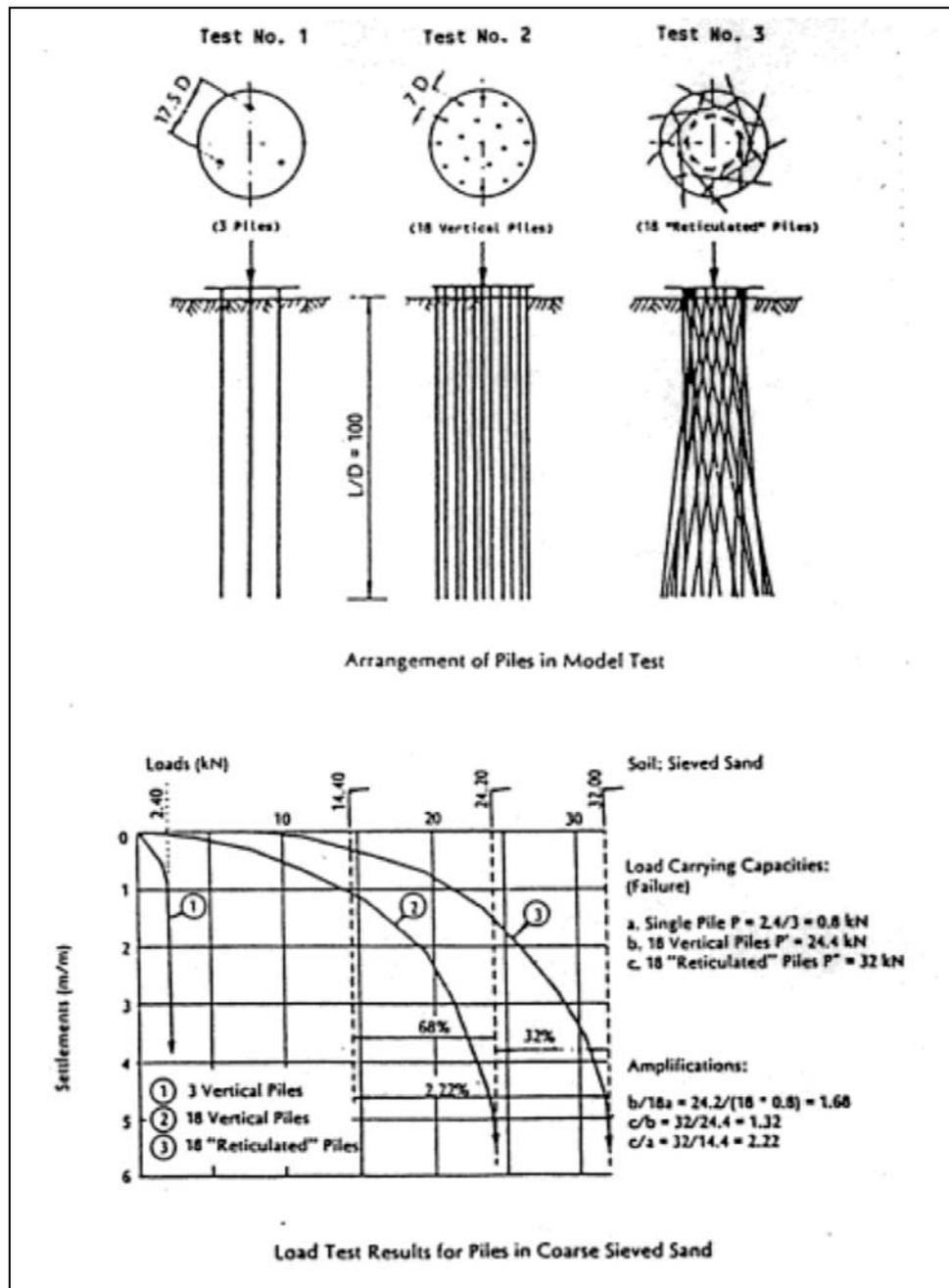
Con posterioridad a determinar cual es la carga que resistirá el grupo de micropilotes, se deberá decidir el número de micros y la capacidad de cada uno de ellos.

Para los micropilotes, el efecto grupo siempre es positivo, aunque no se acostumbra a considerar este efecto en la practica (Bruce 1994).

La figura siguiente demuestra este efecto positivo (Lizzi 1982) para micropiles modelo probados en arena gruesa.

El grupo de 18 micropilotes tiene una capacidad axial más de seis veces que del grupo de tres micros. Aunque solamente, en esta figura, se describen los micros cargados directamente se puede comprobar que cuando las pilas son reticuladas el aumento en la capacidad del grupo de 18 pilas es incluso más grande.

Este efecto, se atribuye a que en esta disposición reticulada el terreno entre los micros queda encapsulado y forma un conjunto global con aquellos.



3.1.b Efecto del recubrimiento permanente

El efecto de recubrimiento permanente, cuando la cubierta de acero se deja en la zona donde no se espera ninguna resistencia lateral, se ha comprobado que el funcionamiento del micropile se mejora notablemente (Bruce 1994).

En la figura siguiente se demuestra este efecto comparando el funcionamiento de la prueba de la carga entre dos micropiles ejecutados en las mismas condiciones.

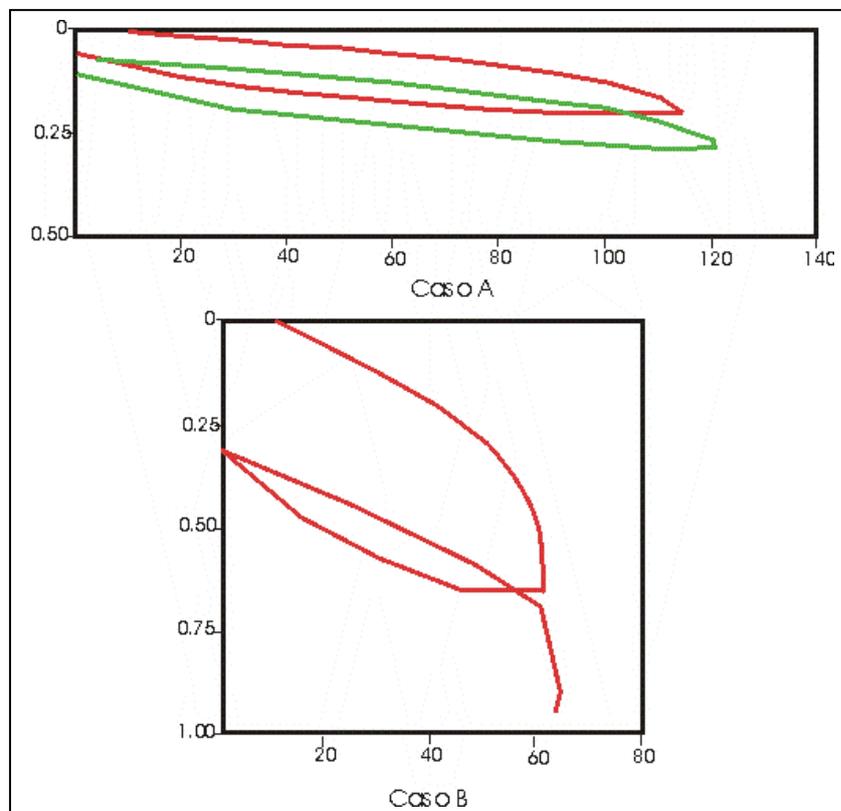
MICROPILOTES INYECTADOS

Los micros a los que hace referencia las figuras estaban diseñados para asumir una carga axial de 15 Toneladas.

Los micropilotes fueron perforadas y recubiertos por una vaina de acero. Un redondo del 6 fue colocado como refuerzo para la longitud completa.

La vaina fue retirada durante la inyección a presión de la lechada en la parte que se suponía portante. La lechada usada era una mezcla del cemento con w/c un cociente de 0,5.

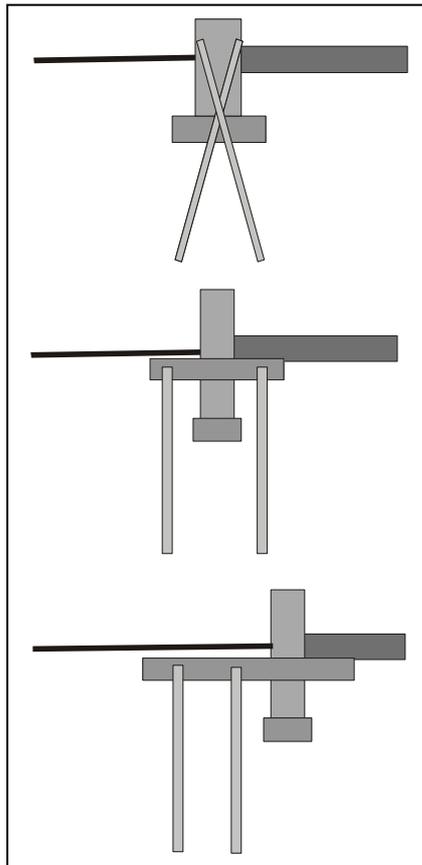
El recubrimiento fue dejado en su lugar en el micropilote del Caso A para los terrenos superiores, mientras que fue retirada totalmente en el otro caso. Según lo que se observa en el gráfico, se puede comprobar que el caso A resistió cargas axiales dos veces más grandes que el micropilote del caso B.



3.1.c Conexión a la estructura

Los micropilotes pueden estar conectados a la estructura que soportan mediante dos sistemas, Mascardi (1982):

- Los micropilotes pueden estar directamente conectados a la estructura, figura siguiente. En este caso son muchos los micros necesarios, y un elevado factor de seguridad frente a resultados erróneos debido a los criterios tradiciones de asientos.



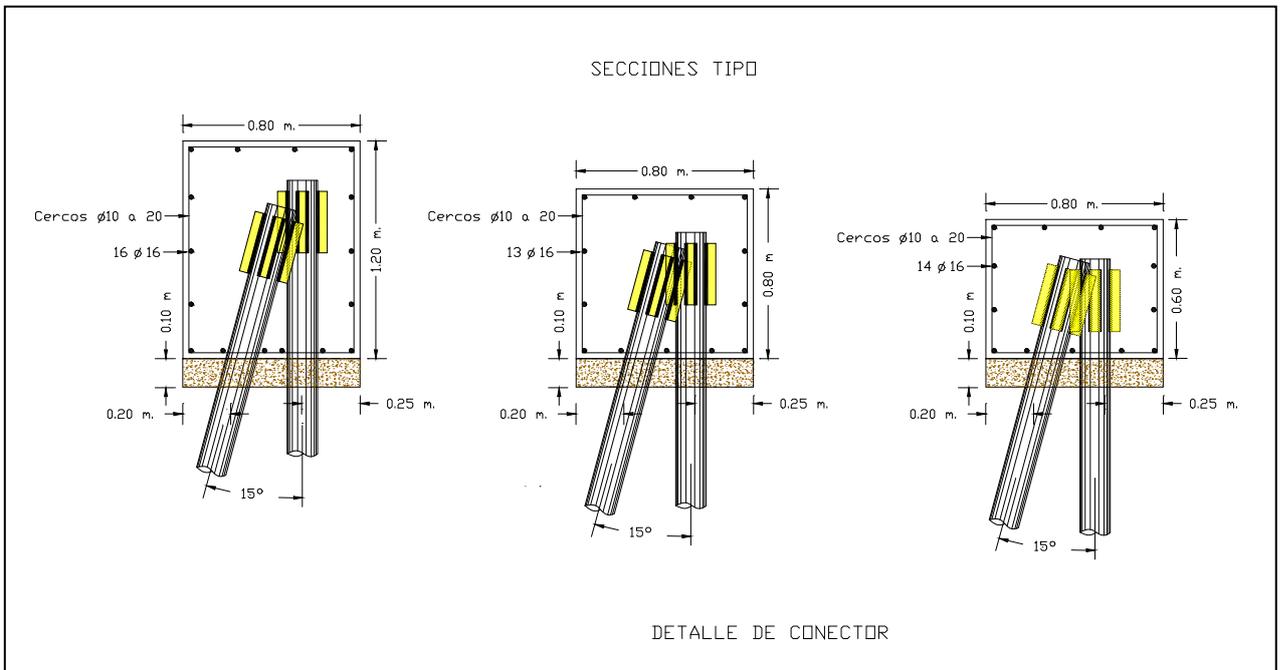
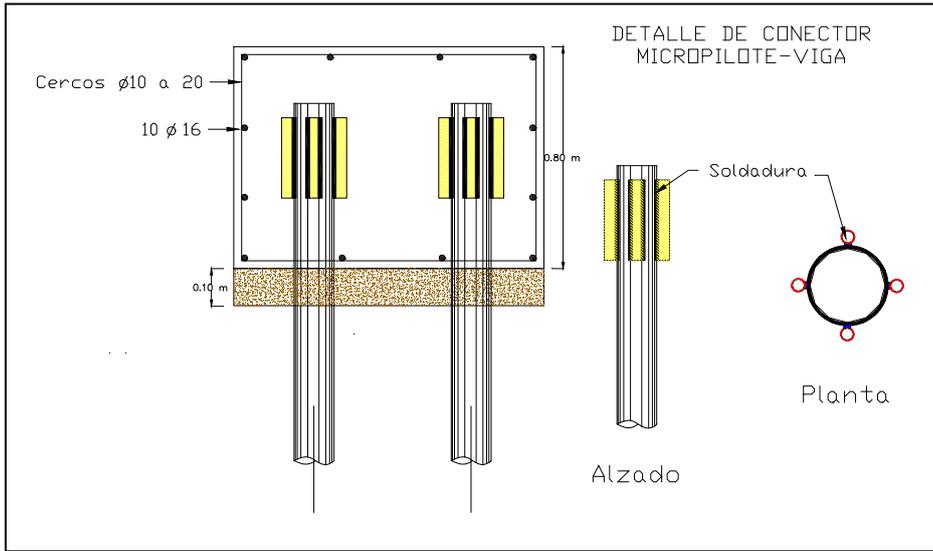
- Los micropilotes pueden pretensarse antes de conectarlos a la estructura. En este caso se utilizan pocos micros y el factor de seguridad usado es menor.

En la mayoría de los casos la primera opción es elegida debido a su simplicidad.

Sin embargo, ocasionalmente, es necesario utilizar la segunda opción para tener una solución aceptable. Este esquema se utiliza cuando se deben limitar asientos a magnitudes muy pequeñas o determinar la reacción micropilote en la superestructura.

Tanto en edificación como en obras de contención los micropilotes se unifican mediante una viga de encepado.

MICROPILOTES INYECTADOS



MICROPILOTES INYECTADOS

En este caso será necesario realizar las siguientes comprobaciones:

Unión micropilote y mortero de inyección	Unión armadura tubular interior y mortero de inyección	<p>Mortero o lechada de cemento</p> <p>Redondos de conexión</p> <p>Refuerzo</p> <p>Armadura tubular</p>
	Unión refuerzo y mortero de inyección	<p>Mortero o lechada de cemento</p> <p>Redondos de conexión</p> <p>Refuerzo</p> <p>Armadura tubular</p>
Unión micropilote y encepado	Unión armadura tubular exterior y hormigón del encepado	<p>Mortero o lechada de cemento</p> <p>Redondos de conexión</p> <p>Refuerzo</p> <p>Armadura tubular</p>
	Unión barras de acero y hormigón del encepado	<p>Mortero o lechada de cemento</p> <p>Redondos de conexión</p> <p>Refuerzo</p> <p>Armadura tubular</p>

MICROPILOTES INYECTADOS

Para garantizar una correcta unión tenemos que asegurar que la unión entre armadura del micropilote y el mortero de inyección, así como entre el primero y el encepado.

A. - La unión entre el micropilote y mortero de inyección se realiza por una parte entre la armadura lisa del tubo y el mortero, pudiendo completarse con refuerzos interiores mediante barras de acero corrugas colocadas en el interior de la armadura tubular del micropilote.

- Adherencia micropilote-mortero:

Según la Instrucción EHE, para barras lisas la adherencia será dada por:

$$\tau_{bd} = 1,2/\gamma_c(f_{ck})^{1/2} = 1,2/1,5 \cdot 175^{1/2} = 10,58 \text{ kp/cm}^2$$

Para una entrega del micropilote dada, la superficie de contacto micropilote-viga es:

$$S = \pi \cdot \text{Diámetro interior} \cdot \text{Longitud de entrega}$$

Por tanto la adherencia micropilote-viga es :

$$S \times 10'58 \text{ (kg)}$$

- Adherencia barras corrugadas-mortero:

Según la Instrucción EHE, la tensión de adherencia para barras corrugadas de ϕ mm de diámetro es:

$$\tau_{bu} = 130 - 1,9 \times \phi$$

La resistencia de cálculo para adherencia en barras corrugadas es:

$$\tau_{bd} = \tau_{bu} / 1,6 \times (f_{ck}/225)^{2/3} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Por tanto:

$$\text{Adherencia barras corrugadas-mortero} = \text{Superficie recibida} \times \tau_{bd} \text{ (Kg)}$$

De este modo la ADHERENCIA TOTAL=ADHmicropilote+ADHbarras

B. - La unión entre el micropilote y el encepado se realiza por adherencia entre la armadura lisa del tubo y el hormigón, completándose además mediante la soldadura de barras de acero corrugado de un determinado diámetro y longitud.

- Adherencia armadura tubular del micropilote-encepado:

Habrà de procederse como en el caso referido anteriormente para la adherencia entre la sección interna de la armadura tubular y del mortero.

- Adherencia barras corrugadas-encepado:

Según la Instrucción EHE, la tensión de adherencia para barras corrugadas de ϕ mm de diámetro es:

$$\tau_{bu} = 130 - 1,9 \times \phi$$

La resistencia de cálculo para adherencia en barras corrugadas es:

$$\tau_{bd} = \tau_{bu} / 1,6 \cdot (f_{ck}/225)^{2/3} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

La superficie de las (n) barras corrugadas soldadas al micropilote y de longitud (l) para cada una de ellas es :

$$S = \pi \cdot 2 \cdot l \cdot n$$

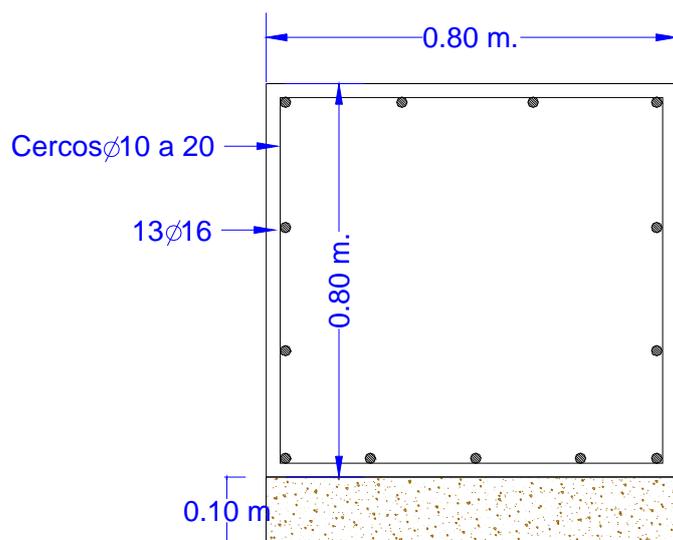
Por tanto:

$$\text{Adherencia barras corrugadas-encepado} = \text{Superficie recibida} \times \tau_{bd} \text{ (Kg)}$$

$$\text{ADHERENCIA TOTAL} = \text{ADHmicropilote} + \text{ADHbarras}$$

3.1.d Viga de encepado

Al objeto de recoger los micropilotes se necesita una viga encepado o riostra que habrá de calcularse según la norma NTE-CCP. Será necesario que presente un canto suficiente para garantizar la adherencia del micro a dicha viga.



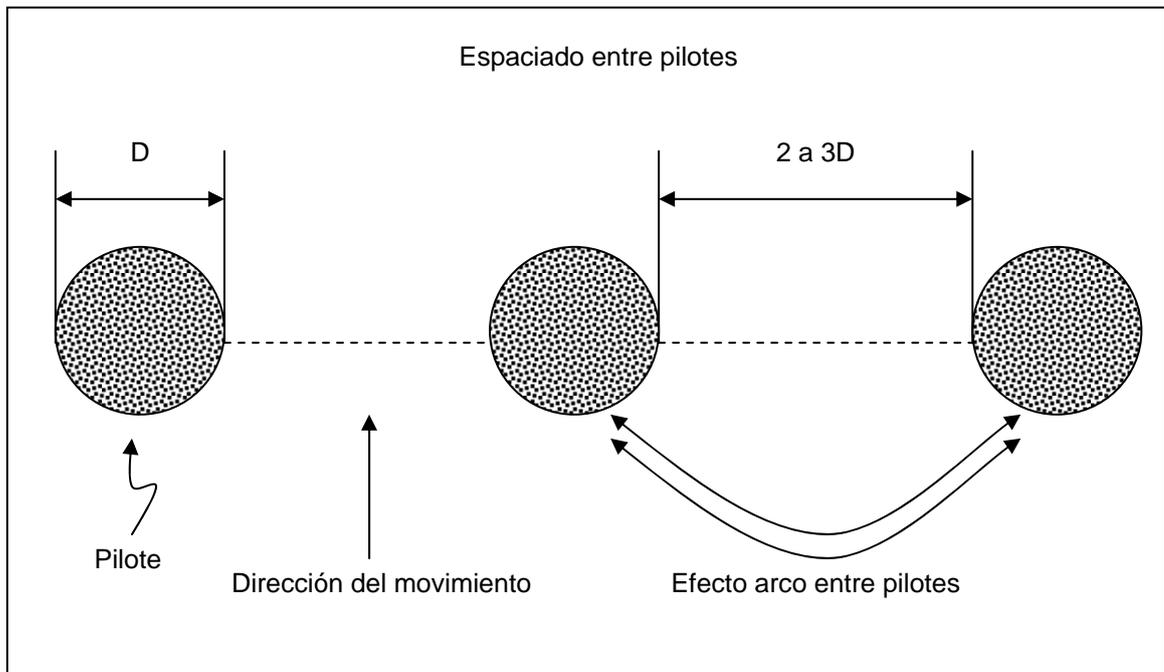
3.1.e Distribución de micropilotes. Efecto arco

El espaciado ha de ser lo suficientemente pequeño como para evitar este fenómeno. Una pantalla de micropilotes se comporta como una estructura continua debido al efecto arco que induce al suelo.

El espaciado necesario para que se produzca dicho efecto depende de muchos factores (Propiedades resistentes del suelo, altura del nivel freático, cargas exteriores actuantes, etc).

Generalmente un espaciado entre micropilotes de dos a tres veces su diámetro suele ser suficiente (Nethero, 1982).

Para el caso de micropilotes inyectados habrá de considerarse el diámetro efectivo.



3.2 Resistencia del micropilote

La carga final que puede soportar un micropilote individual, sometido a compresión, esta definida por los siguientes términos (Mascardi 1982):

- Resistencia estructural
- Carga a la cual el micropilote empieza a doblarse notablemente. Esta carga no rompe la estructura a menos que la deflexión de la estructura aumente.
- Conexión lechada/terreno.

La resistencia será la carga final dividida por un correspondiente factor de seguridad. No obstante, pueden ser requeridas cargas mas bajas debido a limitaciones de tensiones o asientos para la estructura a sostener (Ellis 1990).

3.2.a Resistencia estructural

El acero del refuerzo es el elemento que soporta la mayoría de la carga. No obstante la carga total esta soportada por el acero y la lechada. Es de vital importancia considerar esta acción compuesta para optimizar el diseño del micropilote.

La lechada consite en una mezcla de cemento y agua, con coeficiente de agua/cemento entre 0.40 y 0.55. El cociente mínimo esta fijado por el requisito de fluidez que permita el bombeo y una inyección eficiente.

El cociente máximo es el resultado impuesto debido a que una cantidad excesiva de agua causaria resistencias bajas.

Es relativamente frecuente agregar a la mezcla diversas cantidades de arenas finas al objeto de reducir costes. Los cocientes arena/cemento se suelen limitar a 3 aunque raramente superan el 1.5.

Las razones principales de estas adicciones son :

- Prevenir procesos de contracción.
- Reducir el contenido de agua pero manteniendo la trabajabilidad.
- Acelerar o retardar el fraguado.
- Y evitar segregaciones.

Secciones:

Sección de acero:	23,16cm ²
Sección de hormigón:	148,64cm ²

Coefficientes de ponderación:

Acero:	1,15
Mortero:	1,5
Ejecución:	1,6

Cálculo estructural:

Resistencia acero	100701,62Kg
Resistencia Mortero	17341,84Kg

N < 73,8 Tn

Resistencia estructural	46,3Tn
--------------------------------	---------------

3.2.b Carga de flexión

Mascardi (1982) describe como los fenómenos de flexión pueden comprobarse mediante un "Eulerian analysis" y demuestra que la capacidad de un micro no esta limitada por procesos de flexión en gran mayoría de los casos.

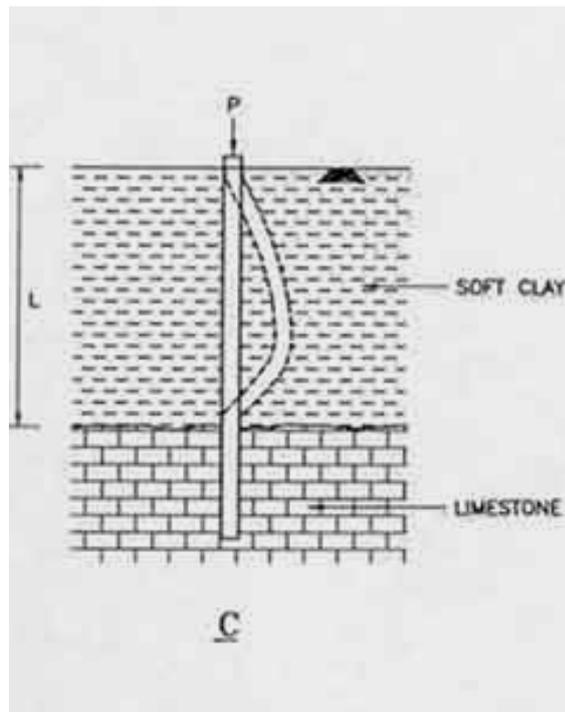
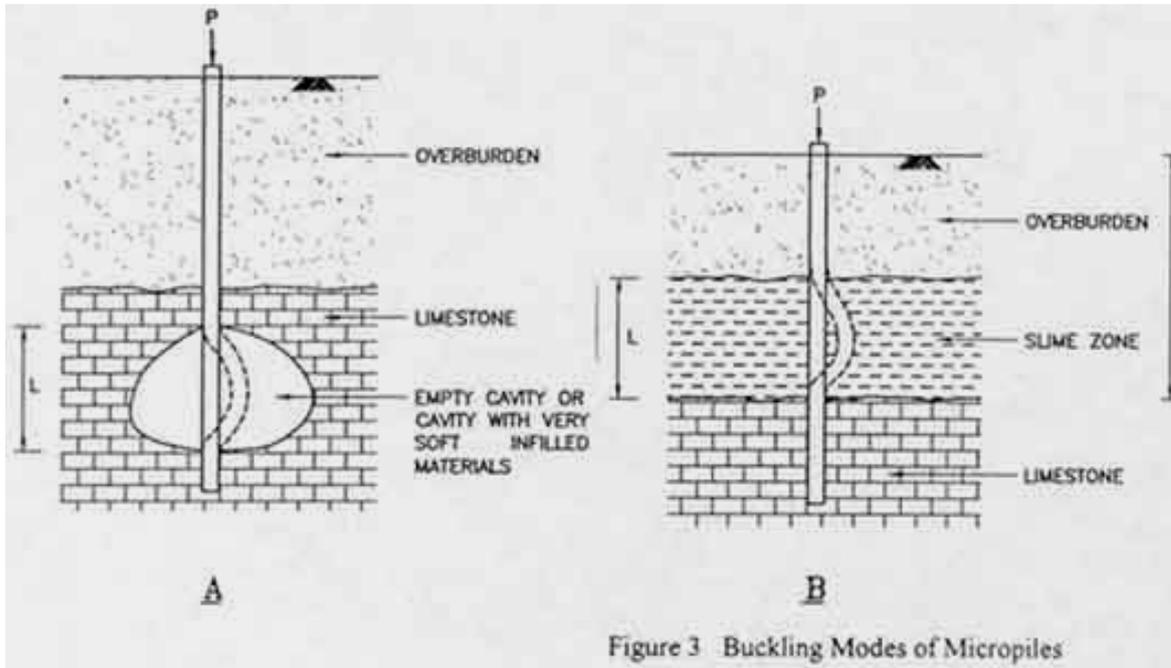
Un análisis de este tipo puede ser necesario si los micropilotes están perforando un suelo turboso muy flojo.

Si existe la posibilidad de procesos de flexión es posible eliminarla aumentando el diámetro del micropilote o dejando el recubrimiento de acero donde se requiera (Bruce 1994).



MICROPILOTES INYECTADOS

Cuando los micropilotes están expuestos en una excavación el factor de flexión debe ser considerado y puede ser necesario conectar horizontalmente los micros (Mascardi 1982).



3.2.c Resistencia a cortante

Para calcular o realizar una comprobación a cortante de micropilotes, se tiene que tener en cuenta la resistencia del tubo de acero y la contribución de la lechada de cemento. El mayor problema que tiene este procedimiento es estimar la sección de lechada para el cálculo, es decir, el bulbo de inyección en el terreno, por lo que normalmente se confía en el tubo de acero toda la resistencia a cortante de la sección. En los casos en los que se necesite afinar más en el cálculo, se tomará una sección de bulbo, en función del tipo de terreno y el tipo de inyección a realizar, y se realizará el cálculo según la EHE. Por tanto, el proceso de cálculo a seguir será el siguiente:

1.- RESISTENCIA A CORTANTE DEL TUBO DE ACERO.

Llamando Q al cortante de diseño que se obtiene en el cálculo de esfuerzos, la resistencia a esfuerzos cortantes viene dada por la siguiente formulación, la cual se deduce fácilmente de la teoría de Von Misses:

$$\tau = \frac{V_{rd}}{2 * \pi * r * e} \leq \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}}$$

donde:

V_{rd} = cortante de diseño (N).

r = radio del tubo de acero (mm).

e = espesor del tubo de acero (mm).

σ_e = Límite elástico del acero (MPa).

τ = Tensión tangencial del acero (MPa).

σ = Tensión normal del acero (MPa).

σ_{co} = Tensión de comparación (MPa).

Para que resista al esfuerzo combinado de axil más cortante deberá cumplirse la inecuación siguiente:

$$\sigma_{co} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 * \tau^2)} \leq \sigma_e$$

Como orden de magnitud en un primer tanteo, podemos aplicar las recomendaciones propuestas por el Dr. Bustamante, en las que se estima la resistencia a cortante, aproximadamente, como la mitad del tope estructural del mismo.

2.- RESISTENCIA A CORTANTE DE LA LECHADA DE CEMENTO.

Para este apartado será de aplicación el artículo 44.2. de la EHE, donde se establece que se tienen que cumplir las siguientes condiciones.

No se alcanza el ELU por agotarse la resistencia a compresión del alma. $V_{rd} < V_{u1}$.

No se alcanza el ELU por agotarse la resistencia a tracción en el alma. $V_{rd} < V_{u2}$.

A) $V_{rd} < V_{u1}$

$$v_{U1} = k * f_{1cd} * b_0 * d * \frac{ctg \theta + ctg \alpha}{1 + ctg^2 \theta}$$

$$f_{1cd} = 0.6 * f_{cd}$$

$$k = \frac{5}{3} * \left(1 + \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}}\right) \leq 1$$

Si no se cumple esta condición es que se agota a compresión el alma de la sección de lechada, lo cual sería totalmente inadmisibles.

B) $V_{rd} < V_{u2}$

$$V_{u2} = (0.12 * \xi * (100 \rho_l * f_{ck})^{1/3} - 0.15 * \sigma'_{cd}) * b_0 * d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

ρ_l es la cuantía geométrica de la armadura longitudinal traccionada adherente.

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p * \frac{f_{yp}}{f_{yd}}}{b_0 * d} \leq 0.02$$

Si no se cumple esta primera condición, será necesario el empleo de armadura de cortante, lo cual siempre se dará en un micropilote. Así, seguiremos el esquema de cálculo como sigue:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

Aplicando las simplificaciones que nos permite la norma para hormigón armado, tenemos que la contribución al cortante de la lechada de cemento es:

$$V_{cu} = (0.10 * \xi * (100\rho_l * f_{ck})^{1/3}) * b_o * d$$

Y la correspondiente al acero se puede realizar del mismo modo que se ha expuesto en el primer apartado, con lo cual queda finalizado el proceso a seguir.

3.2.d Conexión lechada/terreno

El mecanismo principal para la transferencia de la carga a los micropilotes es la fricción lateral.

Los movimientos necesarios para movilizar la resistencia lateral de un micropilote son pequeños en comparación con los necesarios para movilizar la punta del mismo.

Se ha podido comprobar que los desplazamientos necesarios para movilizar la resistencia friccional lateral están en el orden de 20 a 40 veces menos que los necesarios para movilizar la punta (Bruce 1994).

La fricción lateral depende de la unión inyección-terreno que está influenciado principalmente por las técnicas y la calidad de la construcción.

La fricción lateral se mejora principalmente por tres factores:

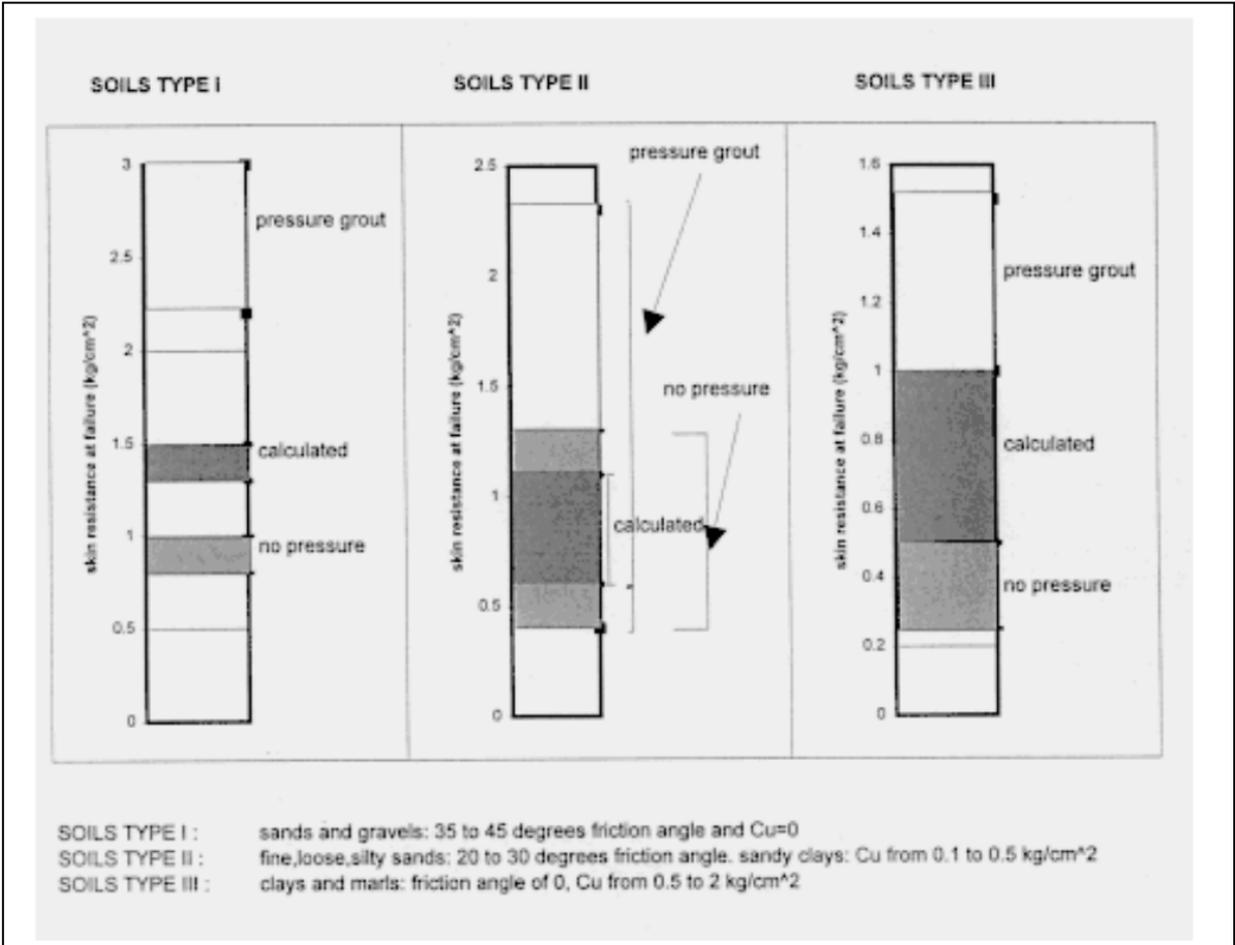
- Aumento de diámetro.
- Aumento de la presión lateral de la inyección.
- Resistencia de terreno.

Para los micropilotes rellenos a través de una cubierta temporal, solamente una fracción de la presión de la inyección, de poca importancia, se transmite al terreno. Para inyecciones realizadas en etapas, el aumento en diámetro y la presión lateral es notablemente más alta (Mascardi 1982).

Gouvenot (1973) divulgó una gama de los valores para la fricción lateral basada en un número de pruebas realizadas in situ. En este trabajo se realizaron pruebas sobre anclajes y micropilotes inyectados (67 ensayos en 33 localizaciones) y sin inyección (16 en 9 ubicaciones)

MICROPILOTES INYECTADOS

El gráfico siguiente presenta un resumen de sus resultados.



Se dividió los condicionantes de los suelos perforados en tres tipos basados en el ángulo de la fricción (f) y la cohesión (C_u) y utilizó un desarrollo matemático para definir la fricción lateral para cada tipo como sigue:

Tipo I: Arenas y gravas ($35^\circ < \phi < 45^\circ$, $C_u=0$) con fricción lateral f , calculada como:

$$f = \sigma_o \tan \phi$$

Tipo II: Arenas finas limosas ($20^\circ < \phi < 30^\circ$) y arenas arcillosas ($0.1 < C_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$) calculado como:

$$f = \sigma_o \sin \phi + C_u \cos \phi$$

Tipo III: Arcillas y margas ($0.5 < C_u < 2.0 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi=0^\circ$) calculado como:

$$f = C_u, \text{ para } 0.5 \leq C_u \leq 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = 1 \text{ kg/cm}^2, \text{ para } 1 \leq C_u \leq 2 \text{ kg/cm}^2$$

Según lo demostrado en el gráfico previo los valores calculados para la resistencia lateral están más cercanos para los micropilotes rellenos sin presión.

Sus resultados también demuestran que la resistencia lateral aumenta a presiones de la inyección más altas.

3.3 Test de Carga

Debido a la importancia, en cualquier construcción a desarrollar, del funcionamiento de los micropilotes es recomendable realizar pruebas de carga que permitan comprobar su capacidad real (Mascardi 1982; Ellis 1990).

Sin embargo, las pruebas de la carga no proporcionan una información correcta porque no pueden simular el comportamiento de un grupo de micropilotes.

Igualmente para los suelos cohesivos, el desarrollo de la prueba no es lo suficientemente larga en el tiempo. Además, para los suelos cohesivos, la duración de la prueba no es suficientemente larga en el tiempo (Mascardi 1982), y una sola prueba del micro no puede definir los efectos a largo plazo de un grupo de micropilotes en arcilla.

La carga máxima aplicada durante la prueba debe ser por lo menos dos veces la capacidad requerida para el micropile (Mascardi 1982).

Los procedimientos seguidos comúnmente para realizar pruebas de la carga son ASTM D 1143-81 para la compresión y ASTM D 3689-87 para la tensión (Bruce 1997).

Los criterios utilizados en España para los test de carga son los que se desarrollan a continuación.

3.3.1.-Procedimiento de prueba para micropilotes

Este procedimiento tiene como objeto la descripción de los pasos a efectuar para inyectar un micropilote por procedimiento IRS (Inyección Repetitiva y Selectiva) y efectuar una prueba para comprobar su resistencia a tracción (Ver 2,3,3 Clasificación basada en procedimiento de la inyección: "inyección Répétitive et Sélective" y "inyección Globale Unitaire"

La resistencia a tracción nos permitirá estimar la adherencia existente entre el micropilote inyectado y el terreno. Este valor obtenido nos permitirá dimensionar la longitud de micropilote que precisa inyección IRS en función de la carga de trabajo del mismo.

a.- PARÁMETROS DE INYECCIÓN

En primer lugar debemos fijar las variables que condicionan la prueba y los resultados que se pretenden determinar. Estos valores afectan a:

- Disposición y tipos de válvulas de inyección
- Presión y caudal de inyección.
- Admisión de inyección por válvula
- Longitud tratada con válvula

Disposición y tipos de válvulas de inyección

Se ha considerado colocar válvulas de diafragma cada metro. En principio el micropilote tendrá una longitud de 9 metros con válvula, situándose la primera a 50 cm del extremo inferior de la armadura y las restantes cada metro. A juicio de la dirección de obra, se puede aumentar la longitud de válvulas ya que el micropilote está formado por tubos roscados de 3 m de longitud, perfectamente intercambiables entre sí, exceptuando el el primero que llevará colocada una brida ciega para evitar la entrada de lechada por el fondo del micropilote.

Presión y caudal de inyección.

En principio y dada la naturaleza del terreno, el valor a tener en cuenta es el de la presión. Este valor alcanza un límite inicial comprendido entre 7 y 10 bar, suficiente para abrir las válvulas y para desplazar la lechada de obturación en la zona de

influencia de la válvula. Este valor se puede incrementar a juicio de la dirección de obra hasta los 25 bar.

Admisión de inyección por válvula

Se fija en un valor de tres veces el teórico que admitiría la sección estricta del micropilote, salvo indicación contraria de la dirección de obra.

Longitud tratada con válvula

El objeto de la prueba es determinar la adherencia entre el terreno y la superficie del micropilote inyectada por procedimiento IRS. Por tanto se pretende realizar un ensayo destructivo del micropilote.

Pero este ensayo destructivo no debe suponer el colapso del micropilote por su armadura, sino el arrancamiento del mismo, movilizand o toda la tensión de adherencia que pueda ofrecer el terreno.

Por tanto se pretende inyectar una o a lo sumo dos válvulas del micropilote para crear un bulbo aparente de uno o dos metros y provocar el arrancamiento del mismo. La carga transmitida al micropilote permitirá determinar la tensión de adherencia del terreno con el bulbo.

b.- EJECUCIÓN DEL MICROPILOTE

Los pasos a efectuar son los siguientes:

- Perforación del micropilote
- Colocación de armadura
- Inyección exterior del micropilote
- Inyección controlada de válvula

Perforación del micropilote

Se efectúa por rotoperCUSión. En principio no parece necesario emplear entubación, aunque en caso de ser necesaria se realizaría. Se registrarán los diversos terrenos atravesados según parte adjunto de perforación, para determinar la profundidad del micropilote.

Introducción de la armadura

La armadura se introducirá en el interior del taladro. Como se ha descrito anteriormente su extremo inferior está cegado.

Inyección exterior del micropilote

Se introducirá un tubo de inyección hasta la máxima profundidad del micropilote y se procederá a la inyección del mismo hasta que la lechada aflore limpia por la boca del taladro. El volumen inyectado se reflejará en el parte adjunto de inyección.

Inyección controlada de válvulas

Una vez finalizada la inyección exterior del micropilote se aguardará hasta que comience el fraguado de la misma para asegurar que la columna de lechada exterior actúe como obturador que evite la fuga de la lechada controlada entre la armadura y la superficie de la perforación.

Transcurrido este periodo se procederá a inyectar la primera válvula para lo cual será preciso colocar un obturador mecánico. El sistema de inyección controlada precisa la utilización de un doble obturador que aisle la zona de válvula del resto de del interior de la tubería de micropilote.

El proceso de instalación del obturador consiste en situarlo de tal forma que la válvula a inyectar quede situada entre los dos obturadores que se encuentran rígidamente unidos entre sí. A continuación se expanden los obturadores (son de goma) mediante aire o agua a presión asta que ocupan toda la sección interior de la tubería del de micropilote.

Una vez efectuada esta operación, tenemos aislada la válvula, con lo cual se puede proceder a la inyección controlada de la misma. Se continuará la inyección hasta que se obtengan los valores prefijados anteriormente, o los nuevos valores que pueda considerar necesarios la dirección de obra. Los datos de la inyección se registrarán en el parte de trabajos.

Debido a la longitud del doble obturador, no es posible su colocación en la primera válvula (debido a la disposición particular de un metro entre válvulas). Este problema se puede subsanar utilizando un obturador simple o bien, saltando la primera válvula y obturando la siguiente. El obturador simple es igual al doble eliminando el obturador inferior. La misión de este último la cumple la brida ciega del extremo de la tubería del micropilote.

La dirección de obra puede decidir entre la conveniencia de utilización de uno u otro método.

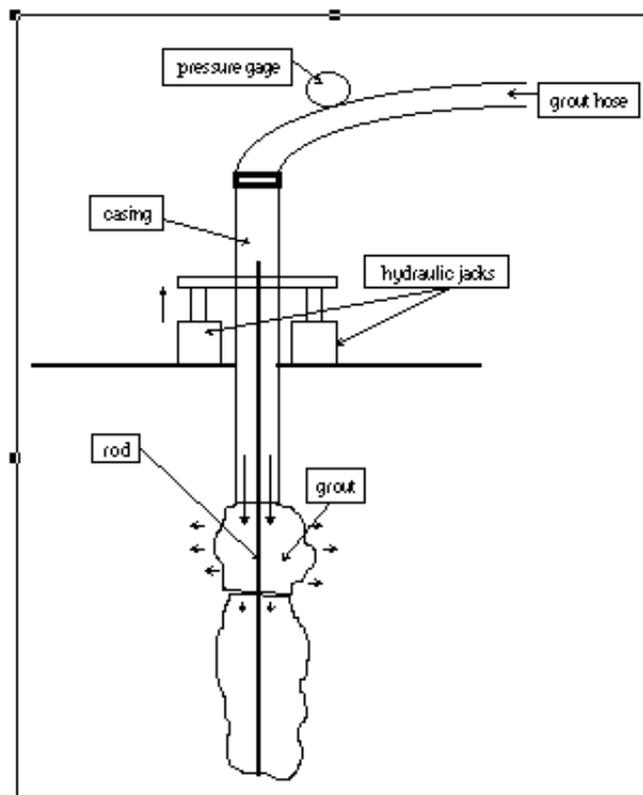
c.- PRUEBA DEL MICROPILOTE

Una vez terminada la ejecución del micropilote de prueba, es preciso proceder a su puesta en carga.

La prueba de carga se efectuará con un gato hidráulico. La reacción sobre el terreno obliga a construir una zapata en la que apoye el gato y distribuya las tensiones. Esta zapata se construirá antes de ejecutar el micropilote, dejando un pasatubo para no interferir con el micropilote. Teniendo en cuenta la capacidad máxima del micropilote se dimensionará la zapata de forma que transmita al terreno la tensión adecuada.

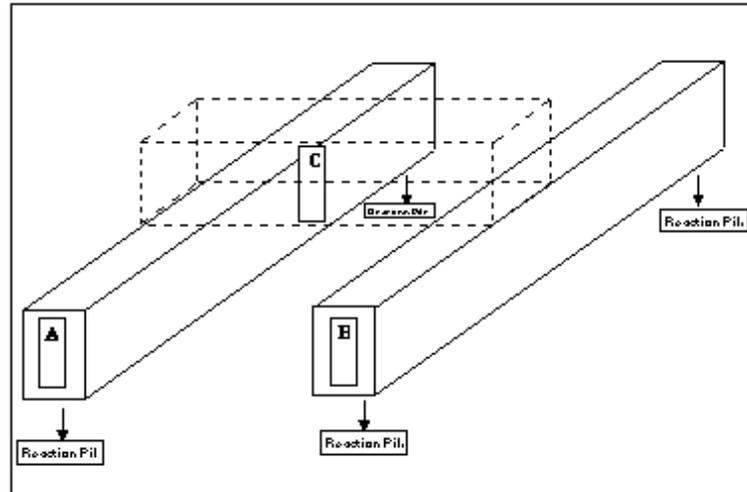
Para asegurar una correcta toma de datos, será preciso efectuar una pequeña puesta en carga de unas 2 tn que permita que se ajusten los diversos elementos mecánicos (barra, tuercas, etc)

Se tomará la lectura inicial del extremo de la barra con respecto a una referencia fija y a partir de ese valor, se calcularán por diferencia entre la lectura de la posición de la barra, su situación inicial, y las variaciones que pueda sufrir la cota inicial de la cara superior de la zapata, los alargamientos del micropilote. Los escalones de carga que se pretenden aplicar serán de 40 bar y su duración de 1 minuto. Se anotarán los valores obtenidos hasta que se produzca la descarga del gato por haberse desplazado del micropilote, o los valores de la elongación obtenidos superen el 50% de los valores teóricos.

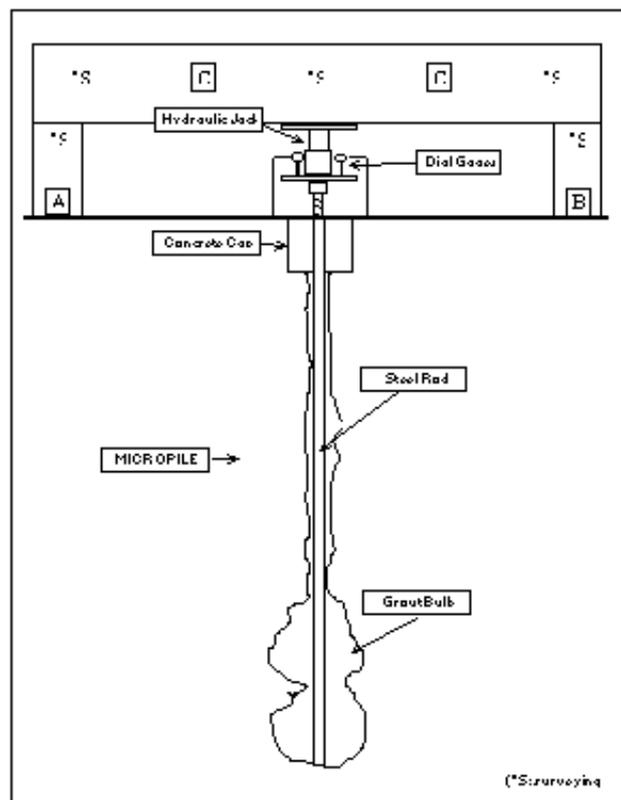


Procedimiento de inyectado

MICROPILOTES INYECTADOS

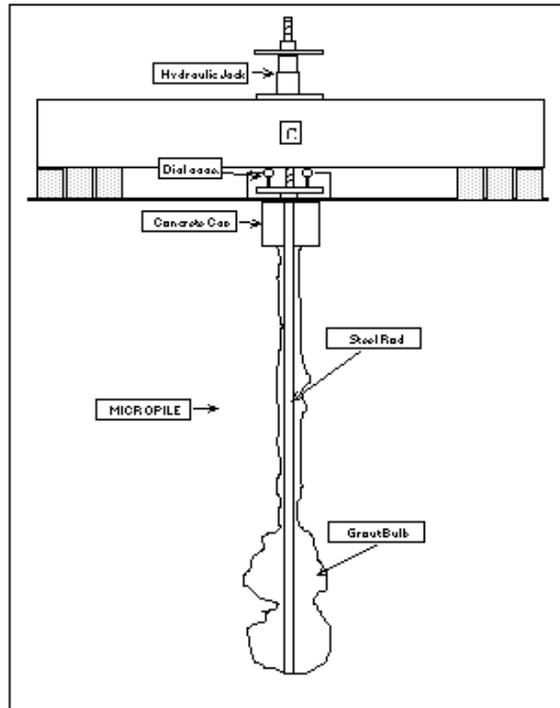


Distribución de vigas para la realización de pruebas de carga

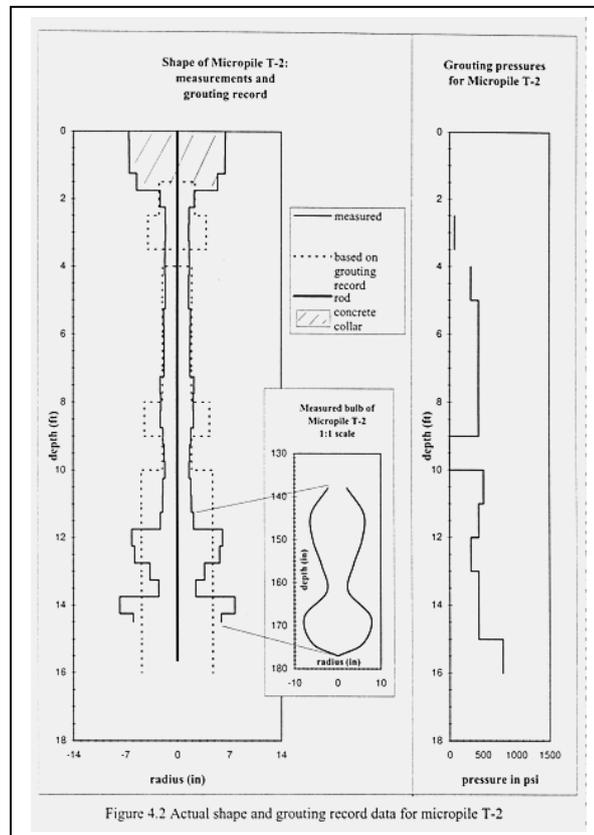


Test de compresión

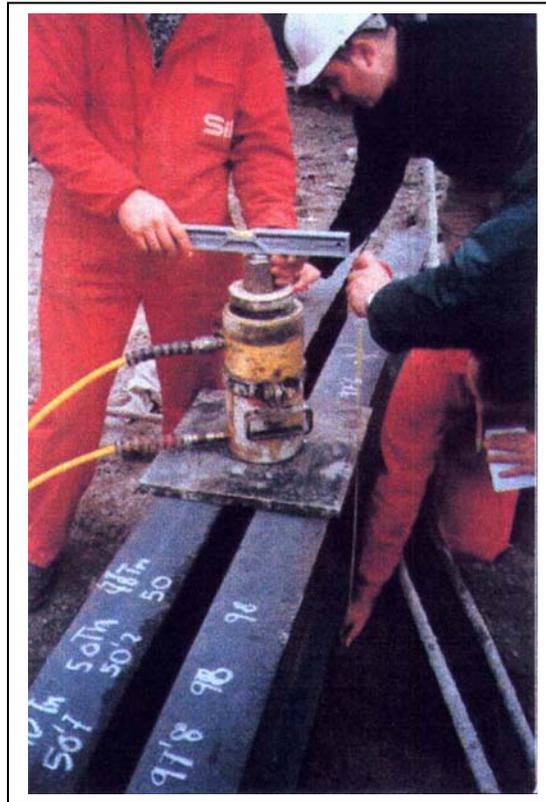
MICROPILOTES INYECTADOS



Ensayo de Tracción



Obtención de resultados



Ejemplo de ensayo de tracción

3.4 Métodos de Cálculo

Los metodos que se describen a continuación definen la capacidad última de un micropilote.

Estos métodos definen la capacidad del micro que habrá de ser comprobada en obra mediante ensayos de carga y/o tracción.

3.4.a Método empírico basado en ensayos "in situ" con anclajes

Littlejohn (1993) propuso un método de diseño para anclajes inyectados con presiones inferiores a 1MPa.

Este método se puede utilizar para determinar la resistencia por el fuste en micropilotes inyectados.

MICROPILOTES INYECTADOS

La ecuación para determinar esta resistencia T_f es:

$$T_f = L \times n \times \tan \phi' \text{ (kN)}$$

Donde:

L (m) es la longitud de sellado .

ϕ' (degrados) es el ángulo efectivo del estrato resistente.

n (kN/m) es un factor que esta afectado por la técnica de perforación, la profundidad de la sobrecarga, diámetro, presión de la inyección entre 30 y 1000 Kpa, estado tensional in situ y las características de elásticas del suelo .

Los valores de n se notan en la siguiente tabla:

Soil Type	Permeability Range (m/s)	n range (kN/m)
Gravels and coarse sands	$>10^{-4}$	400 to 600
Medium to fine sands	10^{-4} to 10^{-6}	130 to 165

Valores de n (kN/m)

Los valores de n fueron obtenidos para materiales normalmente consolidados y para los diámetros de perforación de anclaje de aproximadamente 0,1 m, si el diámetro que de perforación es sensiblemente diferente, n debe ser modificado proporcionalmente.

3.4.b Método de cálculo empírico propuesto por Lizzi

Basandonos en la experiencia, Lizzi (1985, 1993) propuso una ecuación empírica simple para evaluar la resistencia de un micropile, P_{ult} :

$$P_{ult} = DLKI \text{ (kg)}$$

Donde:

D (cm) es el diámetro nominal del micropilote (drilling diameter)

L (cm) es la longitud del micropilote

K (kg/cm^2) es un coeficiente que representa la interacción media entre el micropile y el suelo (adherencia micropilote-suelo), y, I es un coeficiente sin dimensiones que depende del diámetro nominal del micropile

En las siguientes tablas se detallan los valores de K e I:

SOIL	K
Soft soil	0.5
Loose soil	1.0
Soil of average compactness	1.5
Very stiff soil, gravels, sands	2.0

Valores de K (kg/cm^2)

Diameter of the pile	I
10cm	1.00
15cm	0.90
20cm	0.85
25cm	0.80

Valores de I

3.4.c Método de cálculo empírico basada en los resultados del test presiométrico

Este método de diseño se aplica a los micropiles que son desarrollados con inyección de lechada a presiones relativamente altas.

Cuando la lechada se inyecta a presiones altas se produce una deformación en el suelo adyacente a las paredes de la perforación.

De una manera similar, la prueba del presiómetro mide la deformación en las paredes de la perforación mientras que amplía una célula con una presión determinada.

Por esa razón, los resultados de la prueba del presiómetro pueden proporcionar una buena aproximación para el cálculo de micropilotes inyectados a presiones relativamente altas.

Bustamante y Doix (1985) partieron del principio de que los condicionante meramente teóricos no eran válidos unicamente validos debido a que el cálculo de la capacidad de un micropilote está influenciado por múltiples parámetros asociados a la incertidumbre de los procedimientos de construcción y las condiciones o características de la lechada.

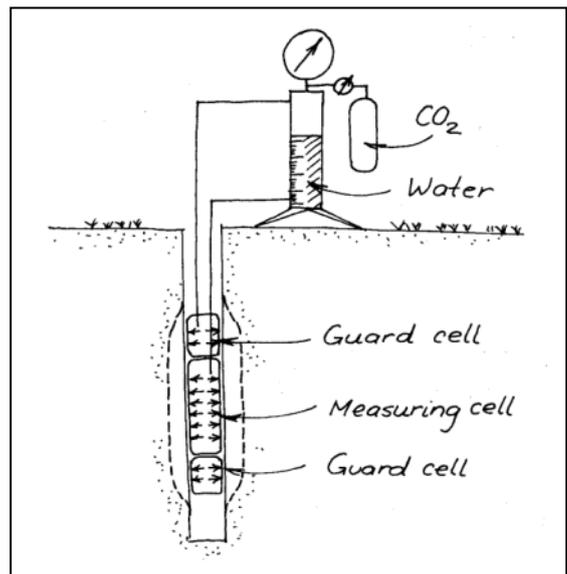
Para solucionar esta incertidumbre desarrollaron un total de 249 pruebas que englobaban anclajes, micropilotes clásicos e inyectados.

Para los micropiles, bajo carga de compresión, consideraban que la fricción lateral que se desarrolla es igual que la fricción lateral desarrollada bajo tensión.

Con este criterio, los resultados obtenidos para los anclajes se pueden comparar y analizar con los resultados obtenidos para los micropiles.

El factor más importante que afecta al valor de la fricción lateral movilizada es el procedimiento de la construcción.

Este método de diseño se basa en la tensión límite del suelo, p_l , desarrollada con la prueba del presiómetro de Ménard.



El primer paso en el diseño es elegir la presión de la inyección. Esta presión se mide en la tapa exterior y no en el contacto entre la lechada que es inyectada y el suelo.

Por esta razón las altas presiones no significan necesariamente que el enlace de la mortero-suelo está de alta calidad.

Las presiones de al menos p_i del límite del suelo aseguran mucho mejor la inyección como es el caso de los micropiles del IRS ("inyección Répétitive et Sélective"). En el caso de formaciones rocosas compactas, la presión no influenciaría la naturaleza del enlace.

Para los micropiles de IGU ("inyección Globale Unitaire"), la presión de la inyección es más baja que el p_i , y como regla general su resistencia es más alta que para los micropiles rellenados por gravedad pero más baja que para los micropiles del IRS.

Bustamante y Doix (1985) propusieron elegir la presión de la inyección p_i , como sigue:

Para IRS: $p_i > \text{ó} = p_i$

Para IGU: $0.5p_i < p_i < p_i$

La capacidad de carga final Q_L para un micropilote bajo carga a compresión se define como:

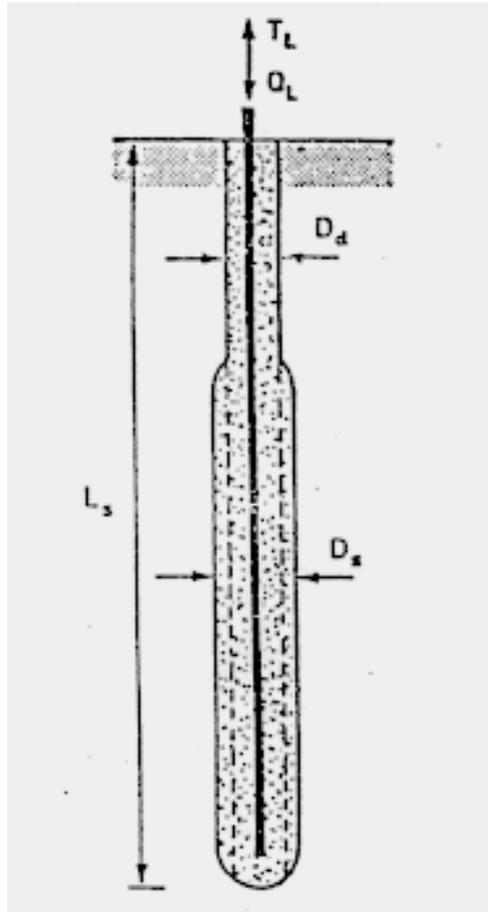
$$Q_L = Q_{P_L} + Q_{S_L}$$

Donde:

Q_{P_L} : Resistencia por la punta

Q_{S_L} : Resistencia por el fuste

MICROPILOTES INYECTADOS



Para un micropilote, como el arriba indicado, la resistencia por el fuste viene dada por la siguiente ecuación:

$$QS_L = \pi \times D_s \times L_s \times q_s$$

Donde:

D_s es el diametro eficaz de sellado del bulbo y de valor:

$$D_s = \alpha D_d$$

MICROPILOTES INYECTADOS

Siendo α un coeficiente que depende del tipo de suelo y de la inyección considerada en el micropilote, con los siguientes valores:

Type of soil	α coefficient	curve to use in Figure 2.13
--------------	----------------------	-----------------------------

	IRS	IGU	IRS	IGU
Gravel	1.8	1.3 to 1.4		
Sandy gravel	1.6 to 1.8	1.2 to 1.4		
Gravelly sand	1.5 to 1.6	1.2 to 1.3	SG.1	SG.2
Coarse sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Medium sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Fine sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Silty sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Silt	1.4 to 1.6	1.1 to 1.2	AL.1	AL.2
Clay	1.8 to 2.0	1.2		
Marl (Greensand)	1.8	1.1 to 1.2	MC.1	MC.2
Calcareous marl	1.8	1.1 to 1.2		
Altered or fragmented chalk	1.8	1.1 to 1.2		
Altered or fragmented rock	1.2	1.1	$\geq R.1$	$\geq R.2$

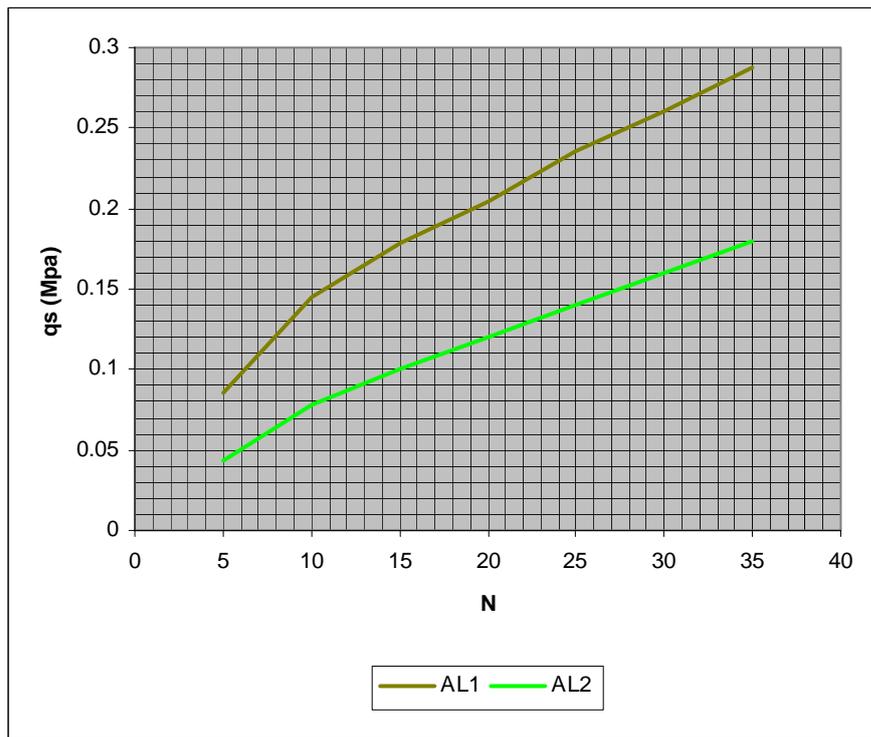
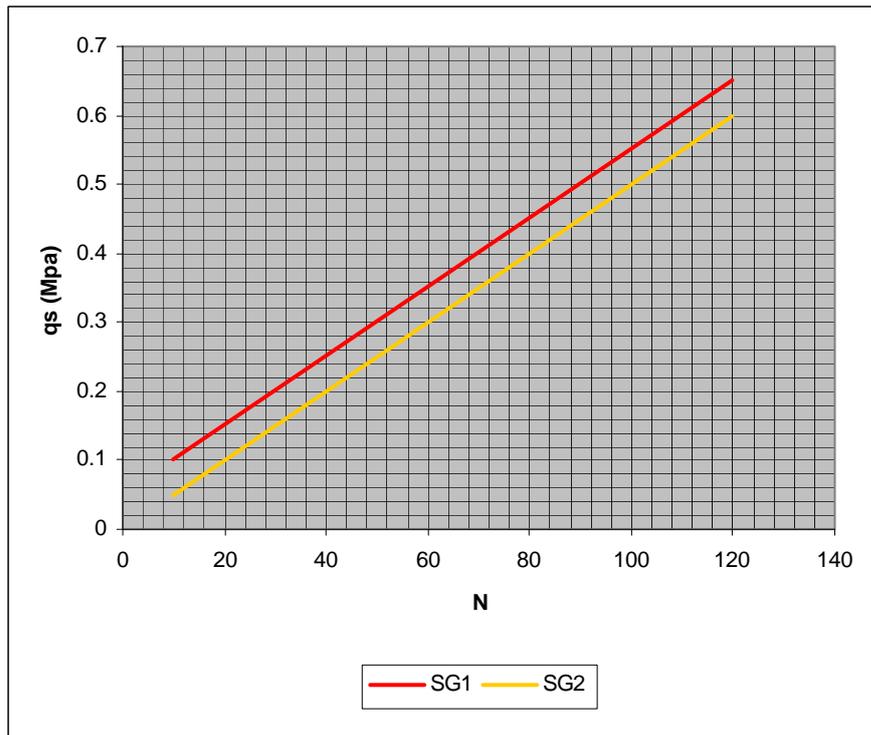
for IRS: $p_1 \geq p_1$ for IGU: $0.5p_1 < p_1 < p_1$
--

L_s es la longitud de sellado

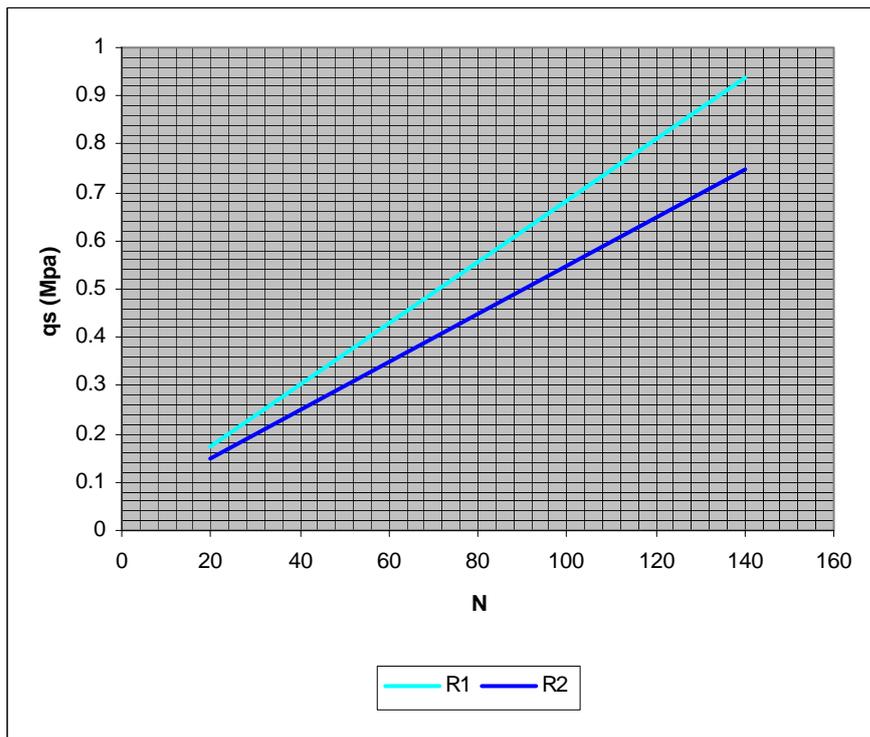
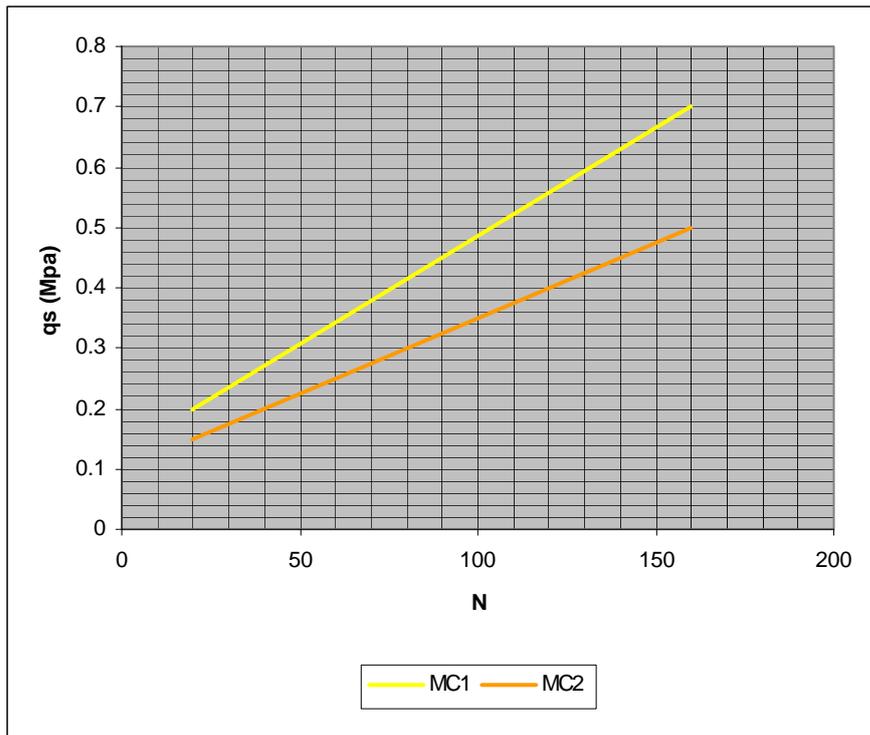
q_s es el coeficiente de fricción lateral que depende del tipo de inyección y del suelo implicado.

Los valores de q_s se obtienen de las siguientes gráficas:

MICROPILOTES INYECTADOS



MICROPILOTES INYECTADOS



Dado que el método referido es netamente empírico es normal que exista una notable dispersión de datos siendo importante recordar este hecho a la hora de diseñar un micropilote.

Este método se basa en un buen número de las pruebas de la carga y por lo tanto puede ser una guía muy buena para un diseño inicial. Sin embargo, todavía hay muchas incertidumbres relacionadas con las variaciones en los procedimientos constructivos y los test de carga siguen siendo la mejor alternativa para determinar una capacidad final del diseño.

La resistencia por punta vienda dada por:

$$QP_L = s_p \times k_p \times p_l$$

Donde:

s_p es el área de la punta del micropilote de acuerdo con un diámetro D_s si el procedimiento de la construcción garantiza que habrá un aumento en el diámetro.

k_p es el coeficiente para la resistencia por punta que depende del tipo de suelo como se aprecia en la tabla inferior .

Soil Type	k_p
sands and gravels	1.2
clays	1.6
clays and silts	1.8
fragmented rock	1.5

es un coeficiente para la resistencia por punta y depende del tipo de suelo y de la presión límite del suelo medida con el presiómetro de Ménard.

La resistencia por la punta no excede del 15 al 20% de la resistencia por el fuste y consecuentemente puede ser definida del siguiente modo:

$$QP_L = 0.15 QS_L$$

MICROPILOTES INYECTADOS

Bustamante y Doix (1985) recomienda usar factores de seguridad que varíen entre 1.8 y 2.2 dependiendo de la utilización del micropilote.

Igualmente sugieren un factor de seguridad de 2 para micropilotes permanentes bajo carga a compresión.

Type of foundation	Factor of Safety			
	Tension		Compression	
	Temporary	Permanent	Temporary	Permanent
Anchorage	1.8	2.0	-	-
Micropile	2.0	2.2	1.8	2.0

MICROPILOTES INYECTADOS

Modelo ejemplo para el cálculo de la resistencia geotécnica de un micropilote aislado realizado en formato Excel. Método de Bustamante y Doix.

Columna estratigráfica

Material	cotas (m.)		N
	de	hasta	
Relleno	0	5	
Esq.Alterad.	5	9	40
Esquistos	9	15	50

Definición de modelo de cálculo

Material	Elección
Relleno	
Esq.Alterad.	R2
Esquistos	R1

	Elección	
	IRS	IGU
Arena+grava	SG1	SG2
Arcilla+limo	AL1	AL2
Creta+marga margo-calc.	MC1	MC2
Roca alt. y fragment.	R1	R2

Elección del micropilote tipo

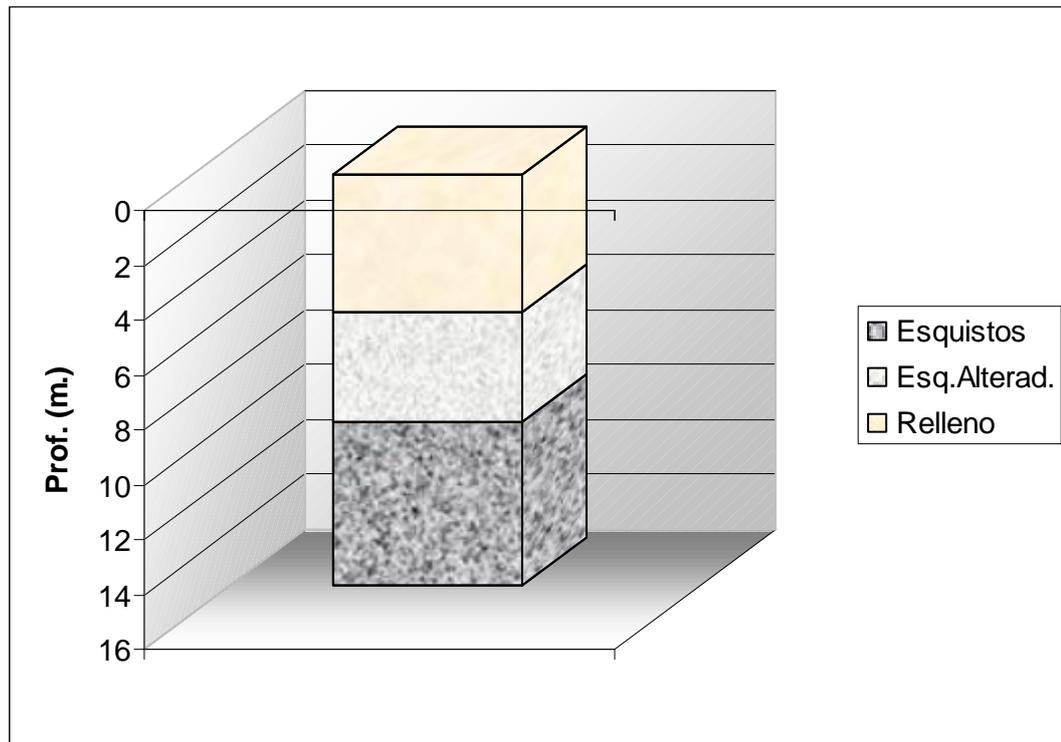
Micropilote Tipo
90/7

Tipos		
Micropilote	Diam.perfor.	Capacidad
73/5	125 mm	26 Tn
90/7	150 mm	45 Tn
114/7	150 mm	60 Tn
114/9	150 mm	80 Tn

MICROPILOTES INYECTADOS

Modelo estratigráfico:

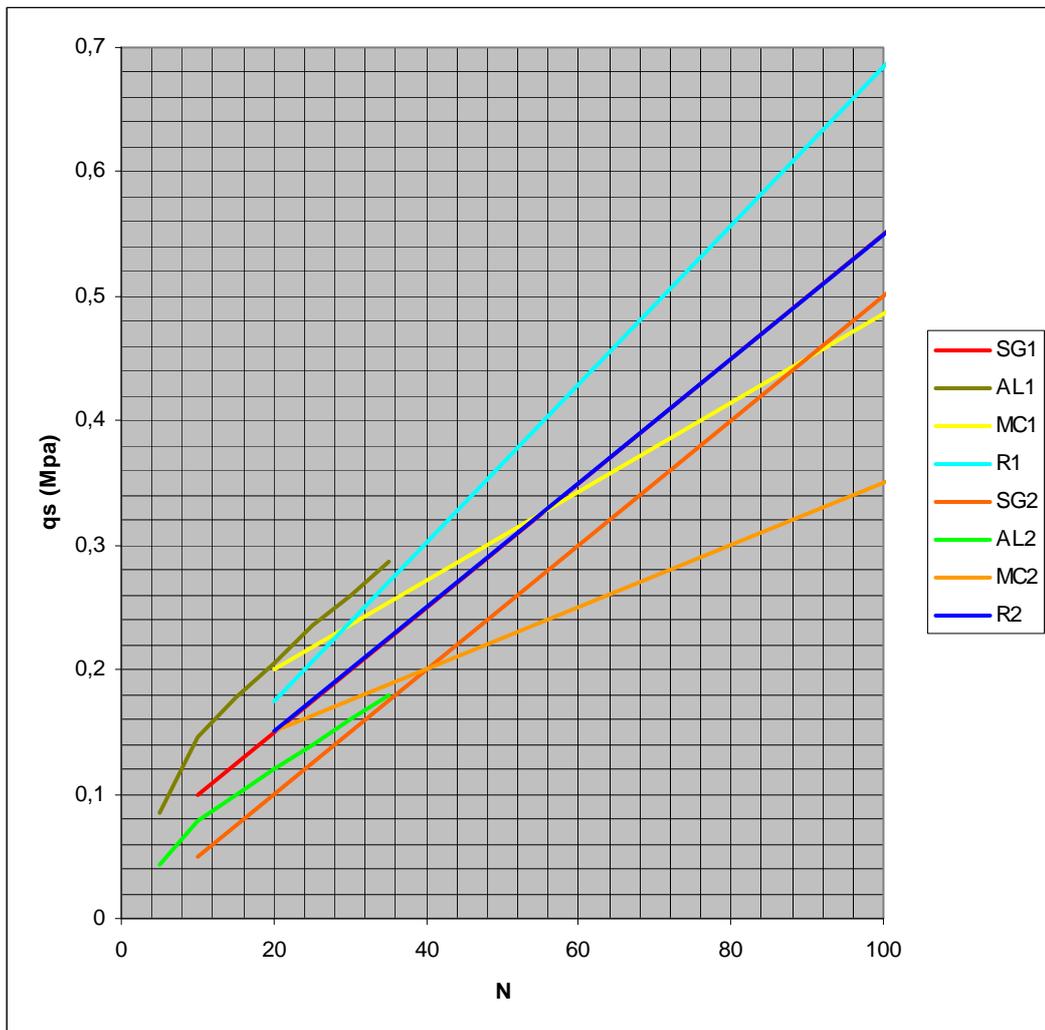
Material	cotas de	(m.) hasta
Relleno	0	5
Esq.Alterad.	5	9
Esquistos	9	15



Cálculo:

Obtención fricción lateral unitaria (q_s)

Material	q_s
Relleno	0,00kg/cm ²
Esq.Alterad.	2,50kg/cm ²
Esquistos	3,68kg/cm ²



**Obtención coeficiente alfa de
mayoración**

Material	Coef.
Relleno	0,00
Esq.Alterad.	1,10
Esquistos	1,40

MICROPILOTES INYECTADOS

Obtención de Tracciones límites

	cotas de	(m.) hasta	Potencia (m.)	N	Modelo cálculo
Relleno	0	5	5	0	0
Esq.Alterad.	5	9	4	40	R2
Esquistos	9	15	6	50	R1

	qs (kg/cm²)	Coef de mayción	Micropilote	Diam.perfor. (mm.)	Capacidad (Tn)
Relleno	0,00	0,00	90/7	150	45
Esq.Alterad.	2,50	1,10			
Esquistos	3,68	1,40			

	Factor seguridad = 2		F.S.=3
	Tracción Tn	Tracción	Resistencia en punta
Relleno	0,00	Tn/m.l. De sellado	4,93 Tn
Esq.Alterad.	25,92	6,48Tn/m.l. De sellado	
Esquistos	72,74	12,12Tn/m.l. De sellado	

Carga límite a Compresión	103,59Tn
Carga límite a Tracción	98,65Tn

3.4.d Método de cálculo para micropilotes no inyectados

Vesic (1977) definió el método convencional de cálculo para micropilotes vertidos, que es paralelo al de los pilotes clásicos.

La carga última (Q_o) de un micro de estas características se divide en dos partes: carga por el fuste (Q_s) and carga por la punta (Q_p).

$$Q_o = Q_p + Q_s = q_o A_p + f_s A_s$$

Donde:

A_p es el área de la punta

A_s es el área del fuste

q_o es la resistencia unitaria en la punta

f_s es la resistencia unitaria por el fuste

El cálculo de la carga de hundimiento puede hacerse por las teorías de la capacidad portante según la siguiente expresión:

$$q_o = c N_c^* + \sigma_o N_\sigma$$

Donde:

N_c^* y N_σ son coeficientes de capacidad portante que están en función del ángulo de rozamiento (ϕ) y coeficiente de elasticidad del suelo.

c es la cohesión y σ_o viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma_o = 1/3 (1+2K_o) q_v$$

Donde:

K_o es el coeficiente de presión lateral

q_v es la presión vertical efectiva

La resistencia por el fuste se puede dividir en dos partes, adherencia y fricción, del siguiente modo:

$$f_s = c_a + q_s \tan \delta$$

Donde:

c_a es la adherencia desarrollada en el fuste

q_s es la tensión normal que se desarrolla a lo largo del micropilote y se relaciona con la tensión vertical efectiva (q_v) por un coeficiente de presión sobre el fuste (K_s):

$$q_s = K_s q_v$$

$\tan \delta$ es el coeficiente de rozamiento entre el suelo y el fuste.

Siguiendo estos criterios la resistencia por el fuste puede escribirse también como:

$$f_s = K_s \tan \phi q_v$$

El coeficiente K_s depende principalmente de las condiciones iniciales del suelo y el método de ejecución del micro.

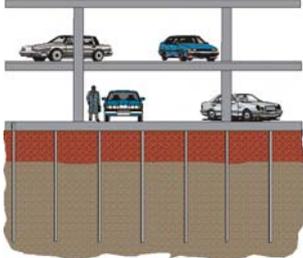
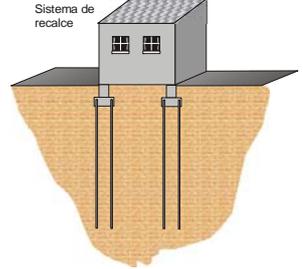
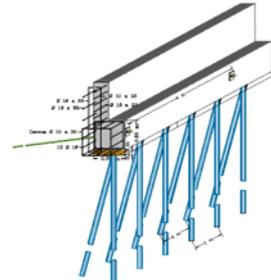
Vesic (1977) recomendó valores de K_s para los diferentes tipos de pilotes en comparación con K_o y con el coeficiente de empujes pasivos ($K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$)

4. Ejemplos

4.1 Introducción

Como se ha comentado previamente el uso de los sistemas de micropilotaje y su difusión es muy variada y aceptada en la actualidad.

A continuación se presentan algunos ejemplo de aplicación de la técnica de micropilotaje, desarrollados principalente en el entorno andaluz.

Aplicación	Ejemplo	Gráfico
Cimentación en nueva edificación	CONDICIONES DE CIMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO EN CALLE AZHUMA, GRANADA	
Técnicas de recalce en edificación	CONDICIONES DE ESTABILIDAD Y DE CIMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CENES DE LA VEGA, GRANADA	
Técnicas de estabilización de deslizamientos en áreas urbanas	ESTABILIZACION DEL DESLIZAMIENTO DE LA LADERA DE OTIVAR GRANADA	
Técnicas de estabilización de deslizamientos en áreas urbanas	TRATAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LADERA, PANTALLAS Y MUROS DE CONTENCIÓN DE "FUENTES DE ALMUÑECAR", EN TARAMAY, GRANADA	

<p>Cimentación de estructuras en obra civil</p>	<p>CIMENTACIÓN DE LAS PILAS DE UN PUENTE EN LA LOCALIDAD DE PORTUGOS, GRANADA</p>	
<p>Estabilización de terraplenes</p>	<p>DESLIZAMIENTO DE TERRAPLEN EN LA A-320 P.K. 14+750, JAEN</p>	
<p>Estabilización de deslizamientos en obra civil</p>	<p>CORRECCIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN LA CARRETERA A-339, SERÓN - LAS MENAS PK 8+700, ALMERIA</p>	
<p>Construcción de pantallas para ejecución de sótanos</p>	<p>CONDICIONES DE CIMENTACIÓN Y ESTABILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE 15 VVDAS. LOCALES Y APARCAMIENTOS EN PASEO DE LA BOMBA 13, GRANADA</p>	
<p>Desarrollo para la construcción de obras subterráneas</p>	<p>EDIFICIO TRIÁNGULO PLAZA CATALUÑA</p>	

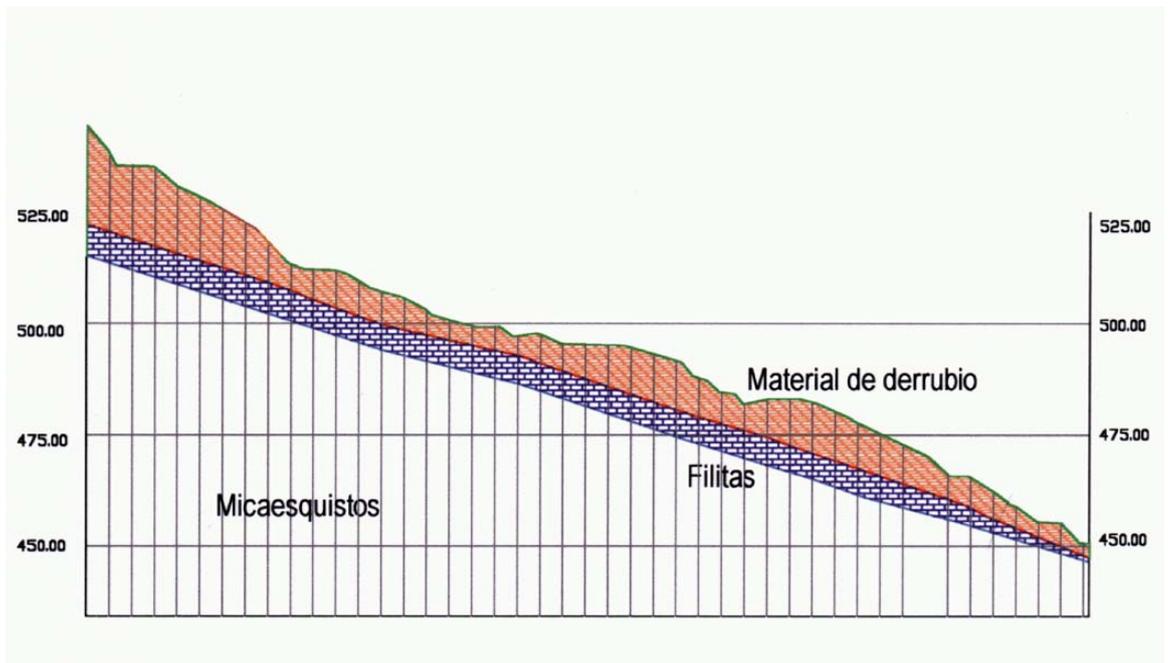
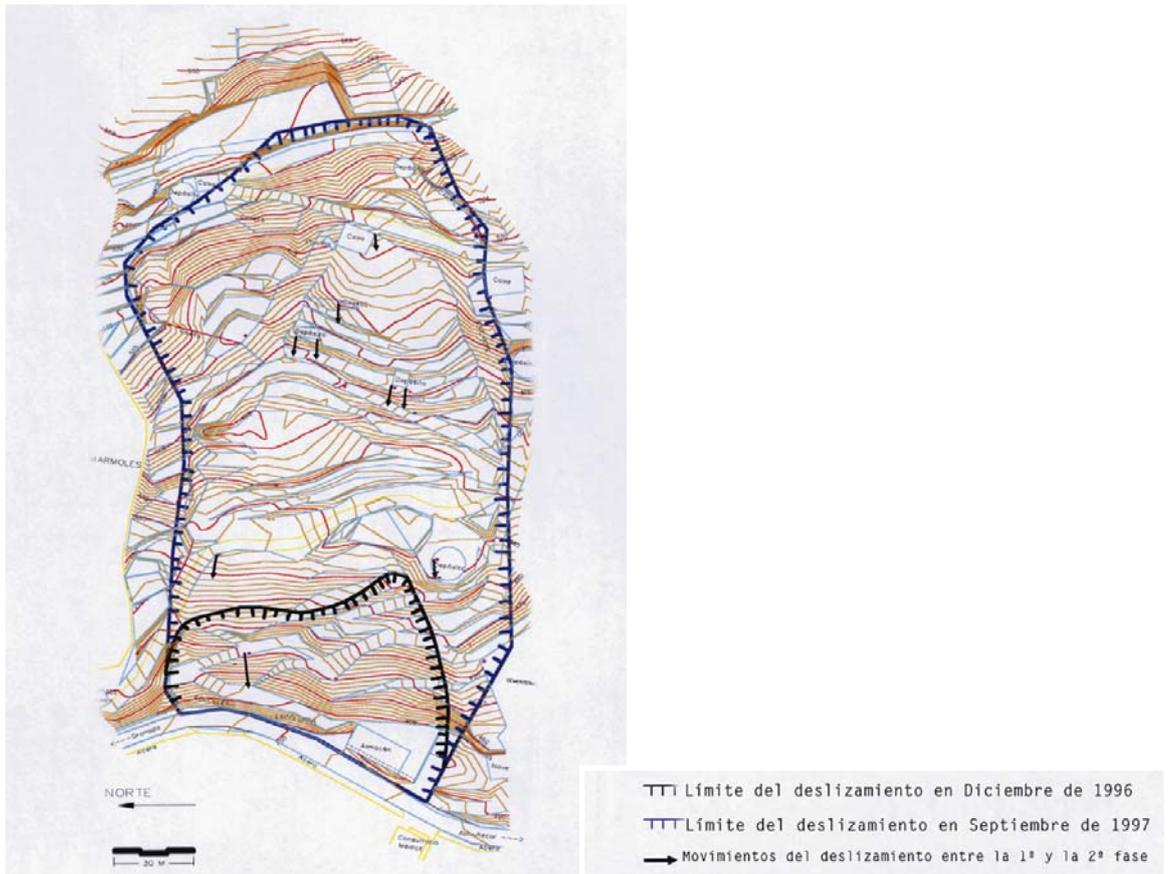
4.2. ESTABILIZACION DEL DESLIZAMIENTO DE LA LADERA DE OTIVAR GRANADA

En Diciembre de 1996 se produce un deslizamiento en la localidad de Otivar, en Granada, que provoca el corte de la carretera que cruza dicho pueblo y una importante alarma social.

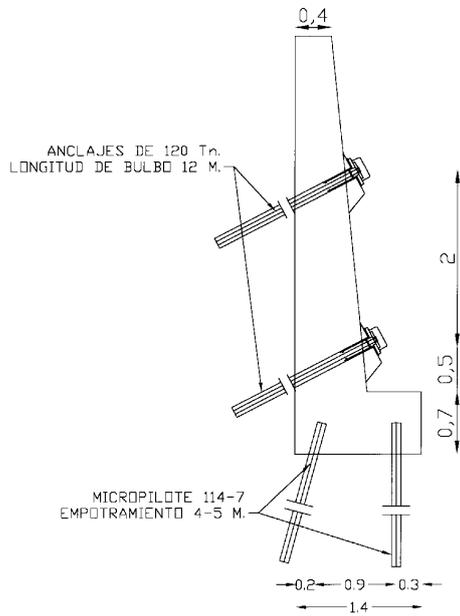
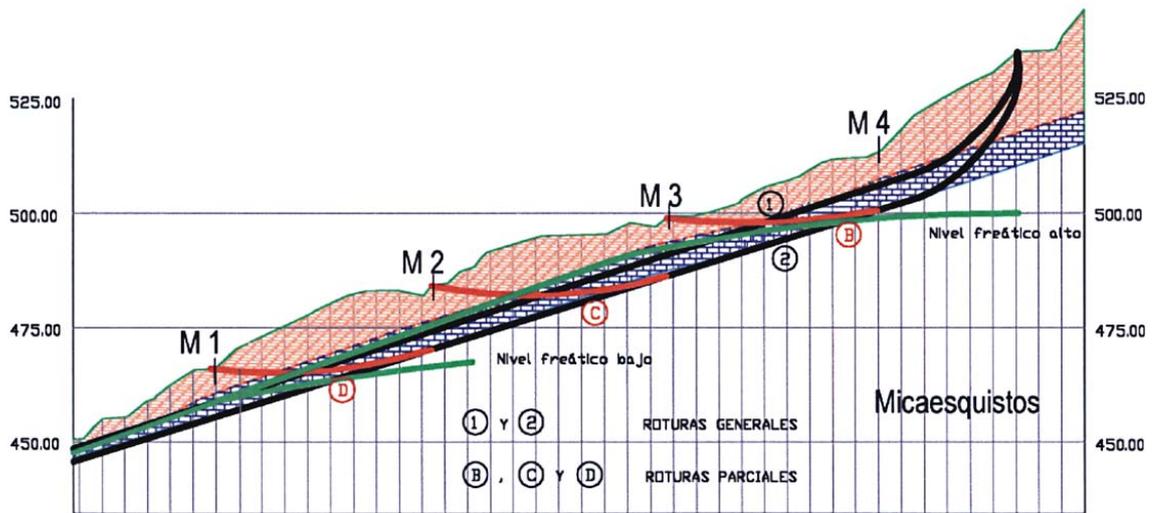
Al objeto de garantizar su estabilidad se proponen una serie de muros micropilotados como se puede observar en las fotos y gráficas posteriores.



MICROPILOTES INYECTADOS

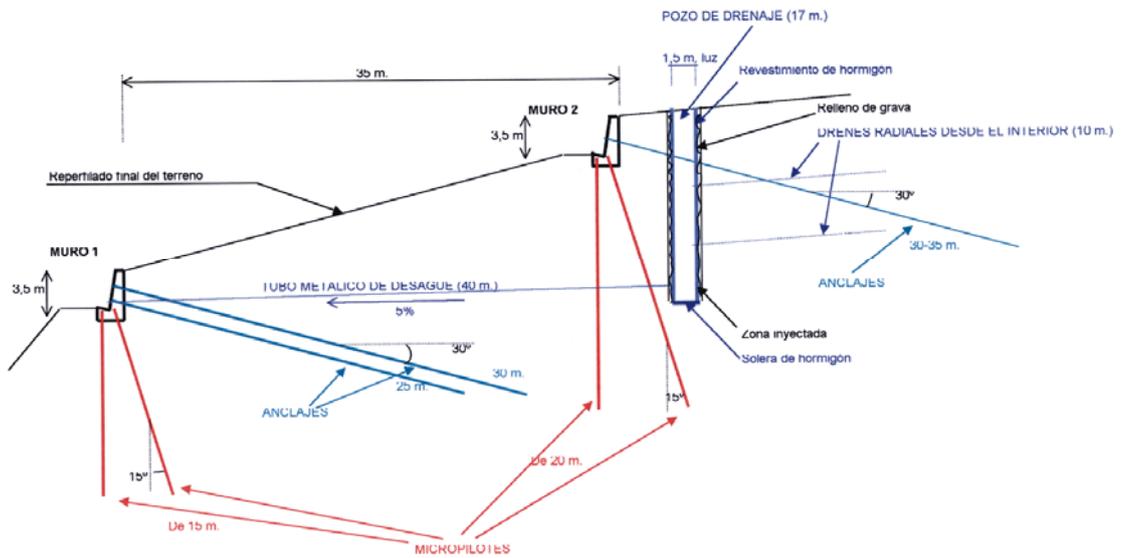


MICROPILOTES INYECTADOS



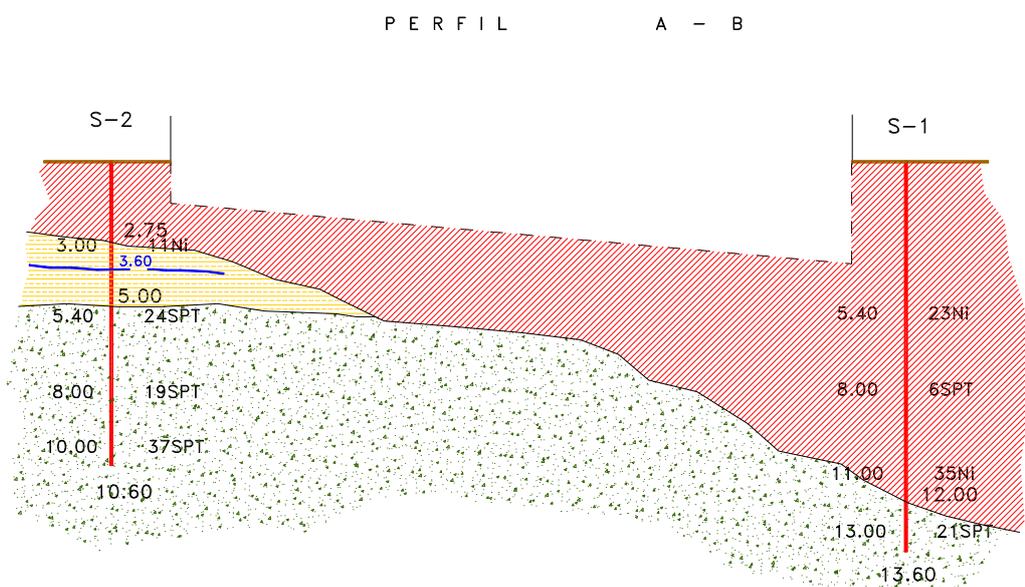
MICROPILOTES INYECTADOS

MURO	Cotas de coronación Norte-Sur (m.)	Longitud (m.)	Altura (m.)	Micropilotes de 60 Tn.		Anclajes de 120 Tn.		Observaciones
				Nº filas	Nº	Nº	Nº	
7	536-537	54	1-1,5	1 fila de micropilotes y 1 de anclajes ejecutados en 1997, en 1ª fase				Ejecutado en 1ª fase. Se prolonga hacia abajo 1-1,5 m. bajo la zapata original.
6	525-526	59	2,0	1 fila de micropilotes y 1 de anclajes ejecutados en 1997, en 1ª fase				Se levanta muro sobre viga de atado ejecutada en 1ª fase.
5		32	2,5	17	1	8	1	
4	514,5-515	86	3-5,0	78	2	43	2	Altura variable. Máxima de 5 m. y mínima de 3 m.
3	497-496	86	3,5	57	2	28	1	
2	481-482	80,5	3,5	54	2	27	1	
1	470-469,5	72,5	3,5	61	2	43	2	



4.3 REPARACIÓN DE PATOLOGÍAS DETECTADAS EN LA PISCINA DEL CENTRO DEPORTIVO MILITAR LOS MONDRAGONES, GRANADA

El modelo estratigráfico obtenido mediante las perforaciones realizadas se define como un paquete de material de relleno de espesores variables entre 12.00 y 2.75 m, medido desde la rasante exterior a la piscina, correspondiendo la mayor potencia con la zona más profunda de la piscina.



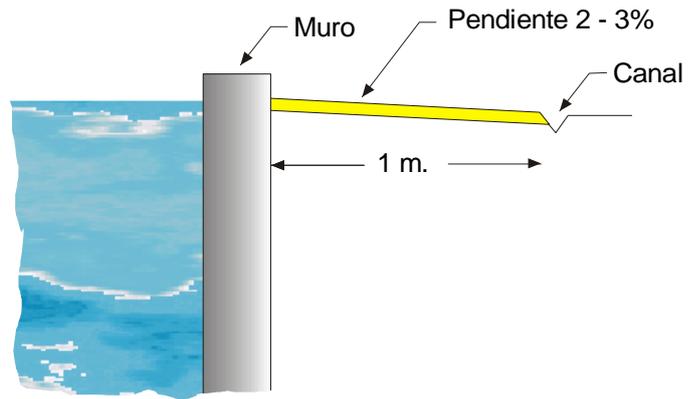
Lógicamente se define la necesidad de proceder al recalce de la piscina al objeto de adecuar la cimentación y evitar el desarrollo de las patologías existentes y proceder a la reparación de las mismas.

Se propone una solución de recalce mediante micropilotaje inyectado (IRS).

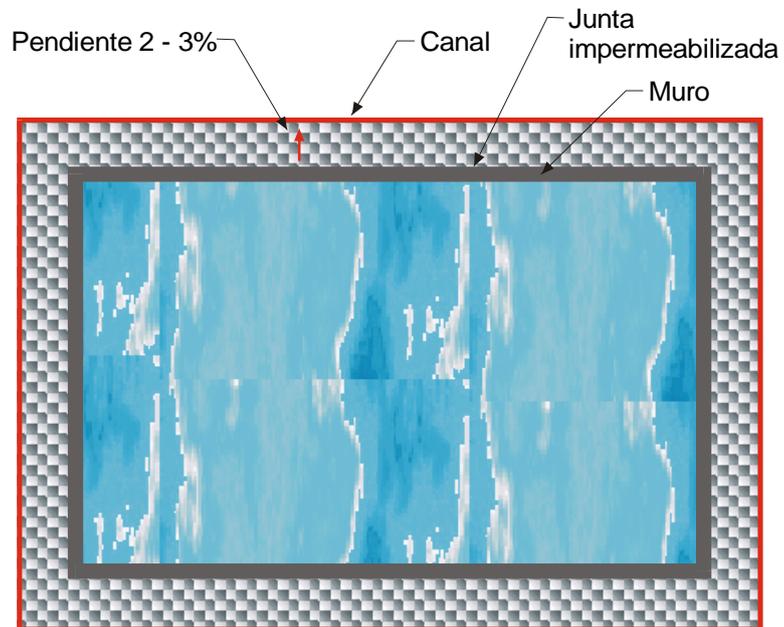
Entendemos adecuado la utilización de micropilotes inyectados de diámetro 150 mm. Los micropilotes deberán estar formados por una armadura de forma tubular por resistencia eléctrica del tipo DIN 2440 en acero ST-52.

Como medidas adicionales que proponemos al objeto de evitar el acceso de agua referido en el punto anterior consideramos adecuado plantear la colocación del acerado perimetral de la piscina de al menos 1 m de anchura con pendientes forzadas (2 - 3%) hacia fuera y recogida de aguas al final del mismo, debidamente evacuadas.

MICROPILOTES INYECTADOS



► Igualmente se deberá garantizar una correcta junta entre los paramentos verticales de la piscina y dicho acerado al objeto de evitar filtraciones por la misma.



4.3 PATOLOGÍAS OCURRIDAS EN LA LOCALIDAD DE MORALEDA DE ZAFAYONA, GRANADA

En una primera época la calle en cuestión se encontraba próxima a una ladera y se podía observar la existencia de un muro de mampuestos que intentaba contener los materiales existentes bajo la calzada.

Junto a esta calle existían y existen en la actualidad una serie de edificaciones, viviendas que tras el deslizamiento acaecido se han visto afectadas en mayor o menor medida, sobre todo la existente en la ladera deslizada.



Vista general y detalle del salto existente en la parte superior del hundimiento

Bajo la citada calzada, de acuerdo con testimonios recabados en vecinos de la zona, antiguamente existían una serie de galerías a las que se accedía desde la propia ladera deslizada.

En un principio estas galerías se encontraban en buen estado, pero tras el paso de los años y afectadas por las filtraciones procedentes de las lluvias y por el tráfico generado en esta calle, se comenzaron a presentar una serie de desprendimientos en el interior de las propias galerías. Estos hundimientos hicieron que las galerías quedarán cerradas parcialmente en algunas zonas de su interior debido a los materiales desprendidos.



Con el paso del tiempo, y tras persistir esta situación, se produjo el deslizamiento objeto del estudio, que fue causado por el hundimiento generalizado de las galerías.

El hundimiento de las galerías condujo a que se viesen afectadas todas las construcciones existentes junto a la ladera. En la calle ubicada sobre ellas fue el

MICROPILOTES INYECTADOS

lugar donde se hizo más patente el problema generado por el hundimiento de las galerías, que ocasionó a su vez que el muro de mampostería que contenía el terreno se desplazara de su posición inicial.

Con la pérdida de las funciones para las cuales se construyó el muro de mampostería, se produjo el flujo de los materiales de relleno a los que estaba encargado de contener.

A su vez, en el gunitado que se encontraba bajo el muro de mampostería se presentaron una serie de grietas de considerables dimensiones, haciendo perder las características funcionales para las que se ejecutó en su día. Estas deformaciones y roturas fueron provocadas, como hemos comentado, por el hundimiento de las galerías.

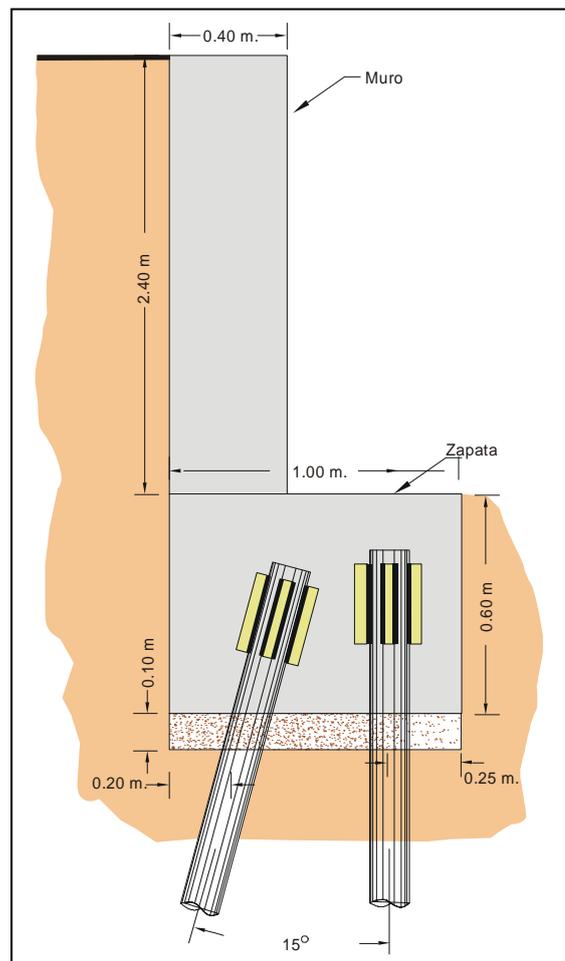
Estos materiales a su vez ejercieron unos empujes elevados sobre las edificaciones situadas en la propia ladera, haciendo aparecer una serie de patologías en las mismas. En concreto estos empujes se centraron en los pilares de las edificaciones, dando lugar a la aparición de grietas en los cerramientos de las mismas que, en un principio y sin un estudio más profundo, podrían afectar a la propia estructura de las viviendas, llegando incluso a su práctica destrucción.

Con el fin de solucionar este deslizamiento se propone en este estudio la ejecución de un muro de hormigón armado en la zona que se vio afectada. El muro se cimentará sobre dos filas de micropilotes, un de ellas vertical y la otra inclinada 15° con respecto a la vertical, que actuarán a su vez de pantalla.

La equidistancia entre los micropilotes, será de 0,75 m, es decir, colocados al tresbolillo, cada 0,75 m de distancia se situará un micropilote vertical y de idéntica forma se ejecutarán los inclinados.

El muro propiamente dicho tendrá una altura de 2,40 m y una longitud de 24,00 m, con lo que se reparará toda la zona afectada por el deslizamiento.

Con el fin de facilitar el drenaje del agua que pudiese filtrarse en la zona del trasdós del muro y evitar empujes excesivos sobre el mismo producidos por este agua, se dispondrán una serie de mechinales para facilitar la salida de esta.



MICROPILOTES INYECTADOS

Los micropilotes tendrán una viga de atado con unas dimensiones de 0,60 m de alto por 1,00 m de base, que a su vez actuará como zapata, cimiento, del muro de hormigón armado.

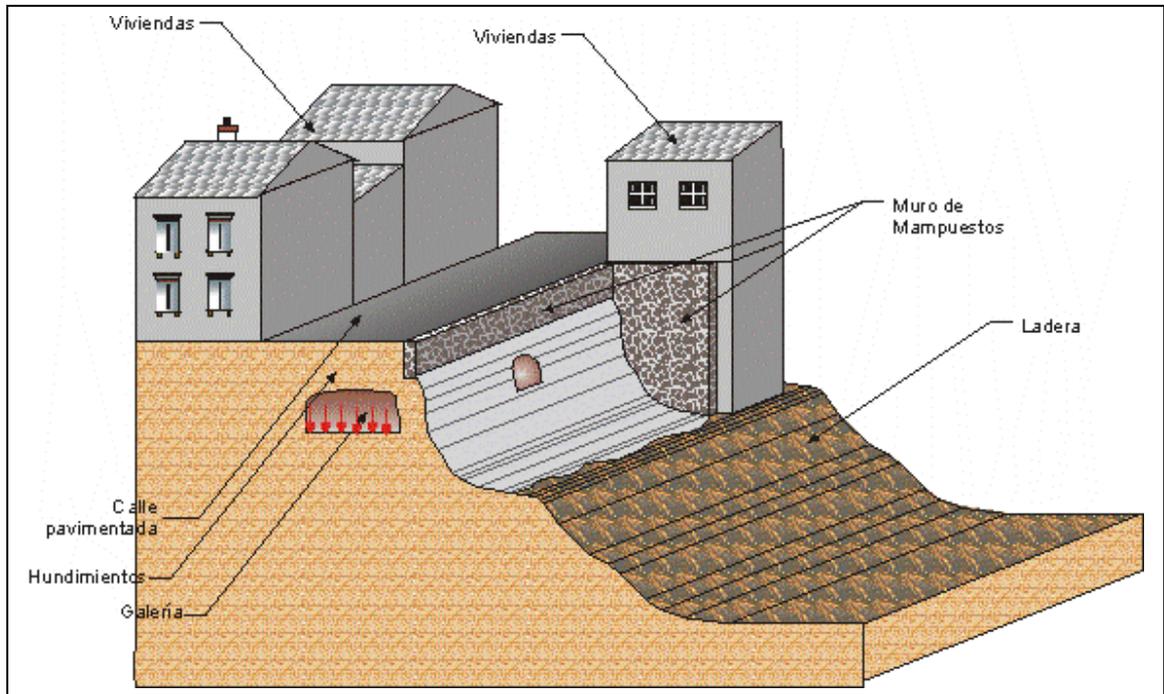
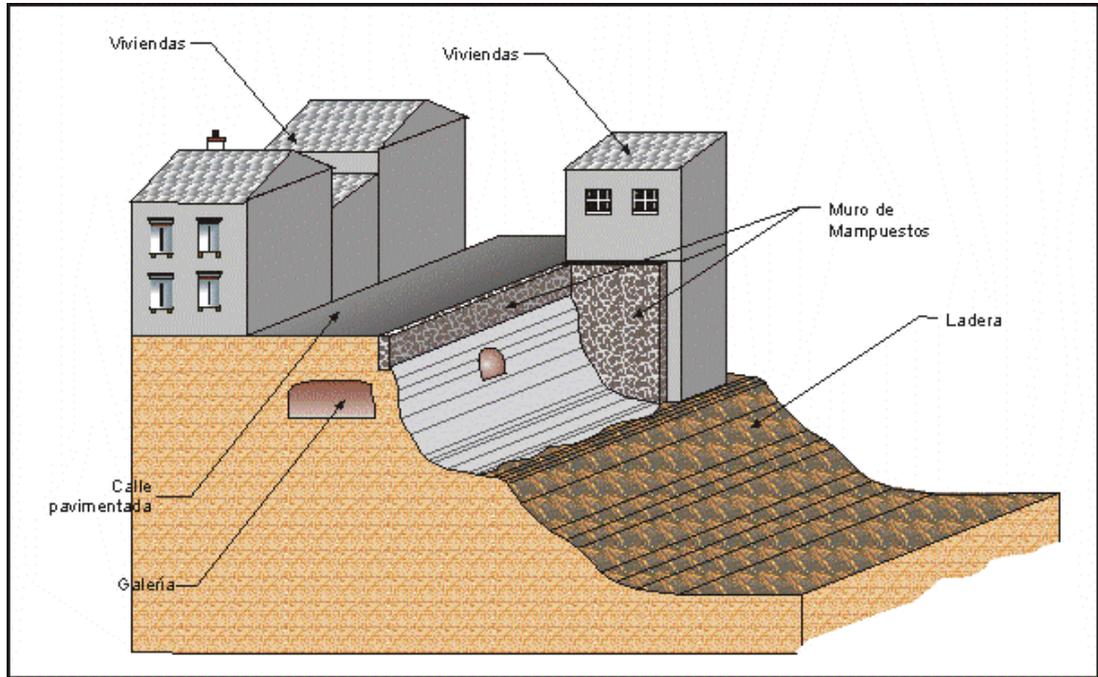
La longitud total de estos micropilotes será de 11,00 m, estando libres en los 4,00 primeros metros y quedando el resto sin inyectar.

Tras la ejecución de la estructura de contención, se procederá al relleno de la excavación realizada y a la reposición y pavimentación de la calle superior.

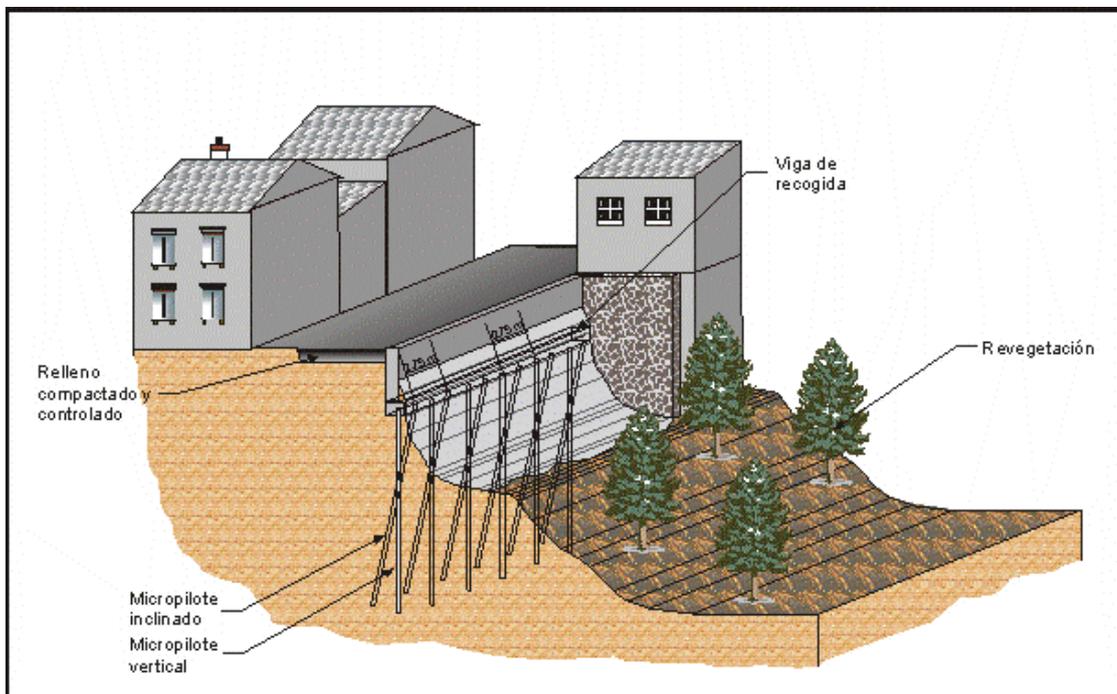
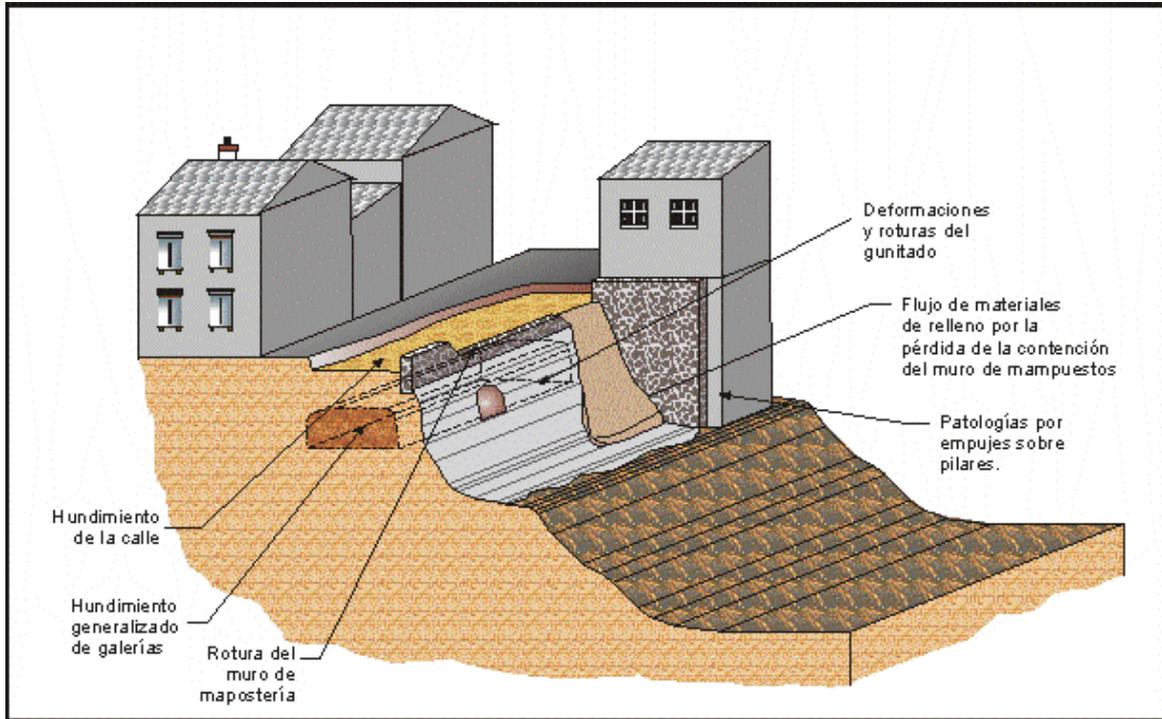
Además se propone la ejecución de la revegetación de la zona inferior de la ladera, con lo que se proporcionará mayor estabilidad a la misma.

Como último punto debemos indicar que las viviendas afectadas deberán ser objeto de un seguimiento exhaustivo para controlar las patologías aparecidas en ellas. Si estas patologías continuaran desarrollándose deberá realizarse un recalce de la cimentación de las viviendas mediante un sistema de micropilotes inyectados. Este proceso de recalce deberá ser objeto de un estudio posterior, ya que en este tenemos por objeto el mismo.

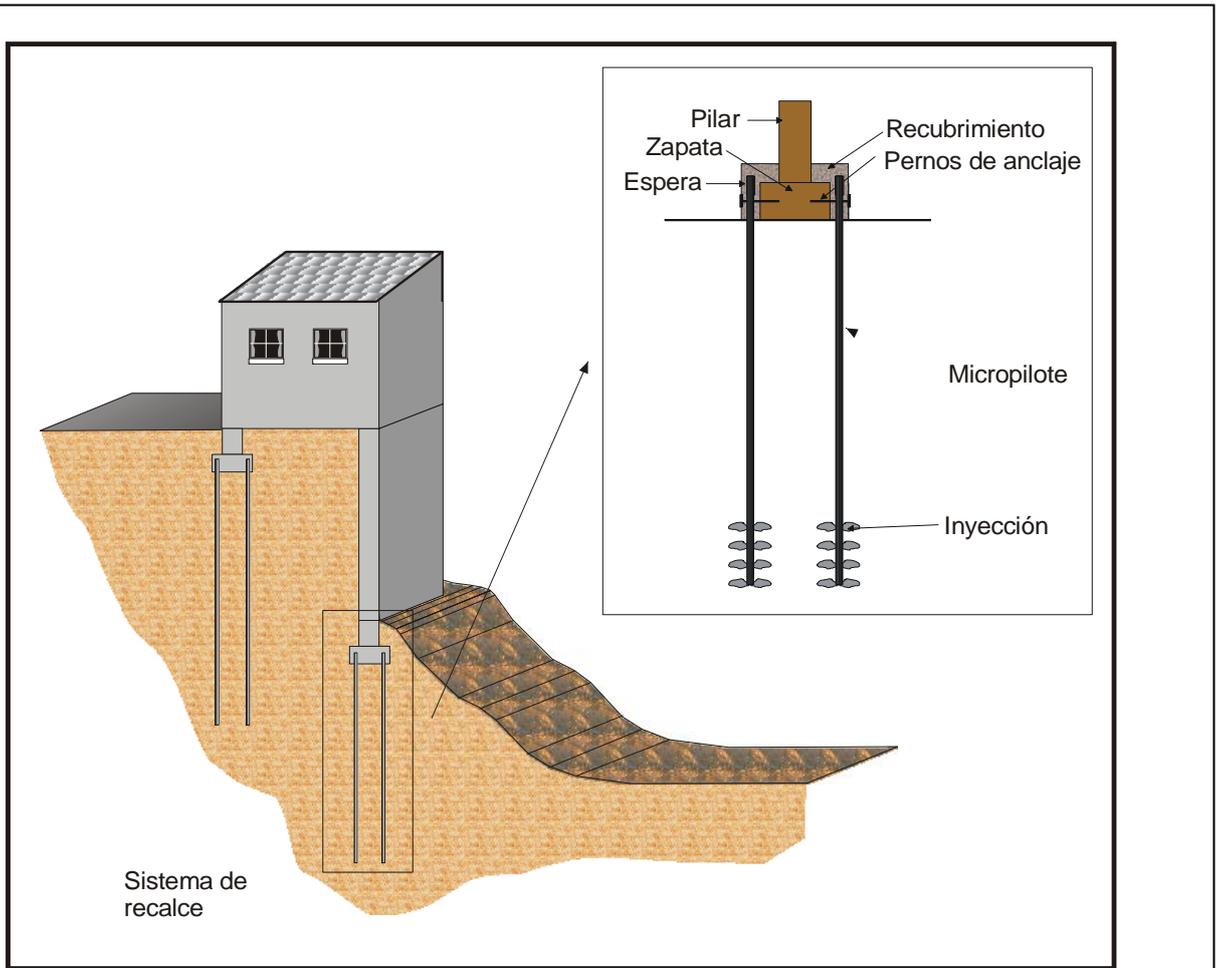
MICROPILOTES INYECTADOS



MICROPILOTES INYECTADOS



MICROPILOTES INYECTADOS



4.4 TRATAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LADERA, PANTALLAS Y MUROS DE CONTENCIÓN DE "FUENTES DE ALMUÑECAR", EN TARAMAY, ALMUÑECAR, GRANADA

Bajo el Punto de vista geológico, la ladera de Taramay, se encuentra dentro de los materiales paleozoicos, que integran la unidad estructural denominada "Manto de Salobreña". En amplias zonas de estas formaciones se originan frecuentes roturas gravitacionales a gran escala, produciendo una fracturación de la formaciones en grandes paquetes que conservan su estratificación y esquistosidad, limitados por fallas y fracturas, constituyendo un verdadero puzzle de bloques. Esta estructura de grandes bloque puesta de manifiesto en las laderas, es consecuencia de un



proceso generalizado de distensión del macizo Bético por elevación continuada del mismo y una erosión producidas por el encajamiento de la red fluvial.

La zona que nos ocupa ha estado frecuentemente sometida a procesos de deslizamiento, casi siempre acompañando a periodos de fuertes y frecuentes lluvias.

Igualmente el esquema tectónico del área no viene más que a acrecentar estos problemas localizándose sectores muy propicios a frecuentar dichas inestabilidades.

Dados estos antecedentes entendemos que no debe desestimarse la inestabilización del sector que nos ocupa habiéndose de tomar aquellas medidas que generen la consolidación del mismo.

Los materiales que se definen son los siguientes:

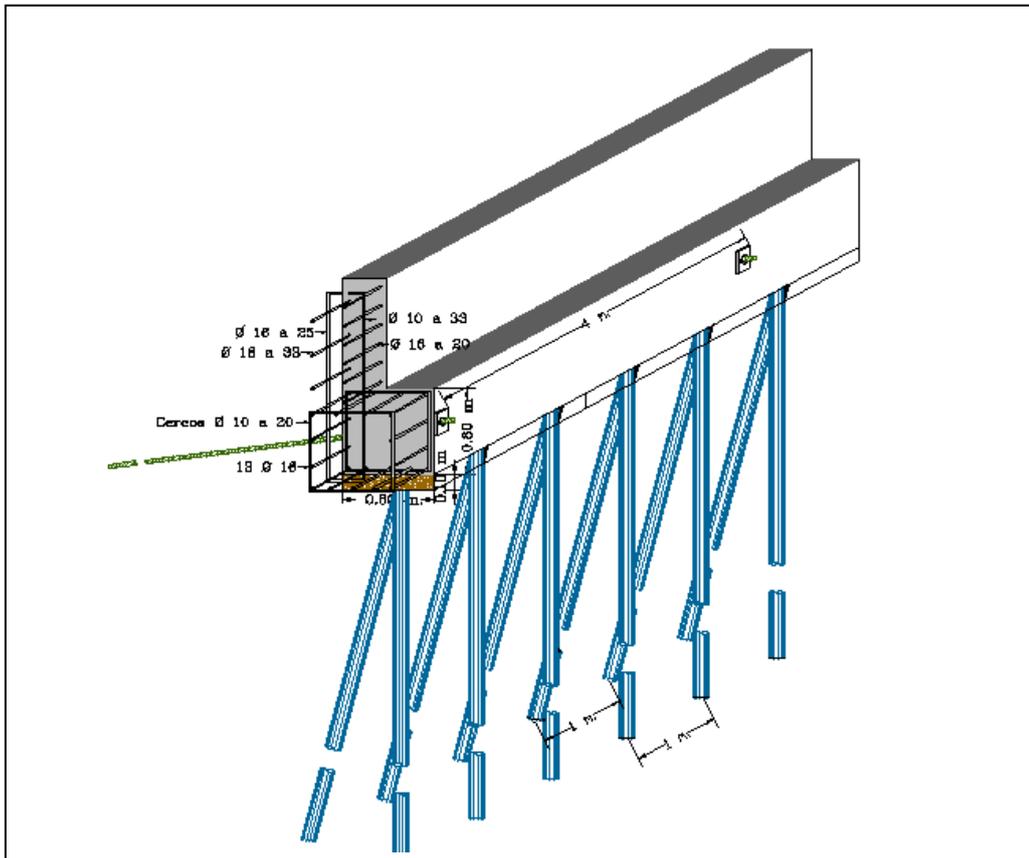
- a.- Material de relleno.
- b.- Suelo de naturaleza esquistosa
- c.- Roca esquistosa muy fracturada.

MICROPILOTES INYECTADOS

Al objeto de garantizar la estabilidad global de la zona estudiada se propuso la ejecución de varias pantallas de micropilotes cuyas cabezas deberán ser recogidas mediante una viga riostra que unifique el conjunto.

Los micropilotes se separarán en planta 1 metro entre micropilote vertical y vertical así como entre inclinado e inclinado.

Por tanto la disposición será de 1 micro vertical, 1 inclinado separados 1 metros, y así sucesivamente hasta completar la longitud a contener en planta.



4.5 CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE TOMA EN LA PRESA DEL NEGRATIN, ZUJAR, GRANADA

Dadas la condiciones geotécnicas de la zona estudiada se considero que la zona donde se pretendia ubicar la estructura esta caracterizada por la existencia de unos sedimentos procedentes de la cuenca del Guadiana Menor sobre los que se disponen un derrubio de pie de monte y un horizonte de suelo vegetal, como nivel más superficial.



El suelo portante detectado hace referencia, en la zona estudiada, a suelos principalmente cohesivos formados por arcillas margosas y limos con abundancia de yesos.

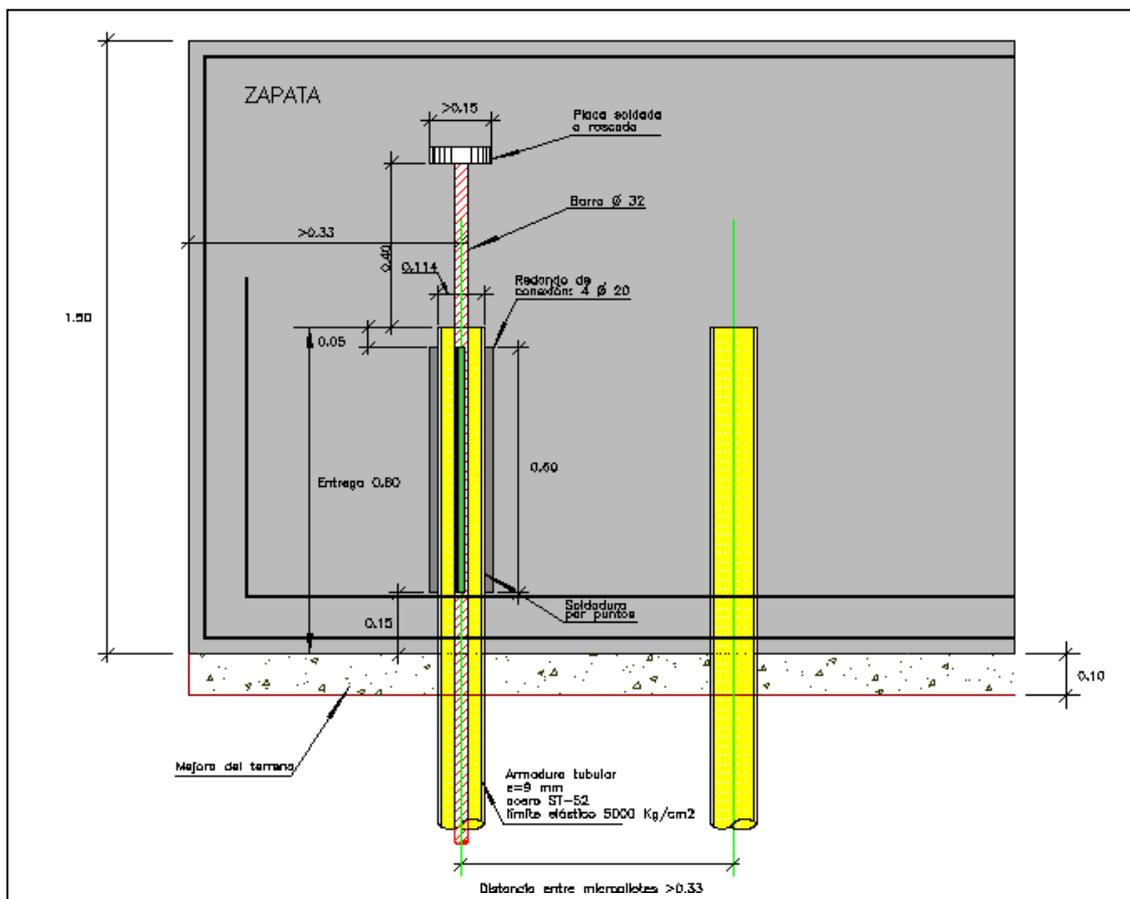
La profundidad generalizada a la cual se detecta el suelo portante es de 6.70 m. desde la rasante actual o boca de sondeo.

Al objeto de alcanzar el sustrato portante formado por las arcillas margosas y limos, se planteo actura mediante el sistema de cimentación profunda con micropilotaje.

MICROPILOTES INYECTADOS

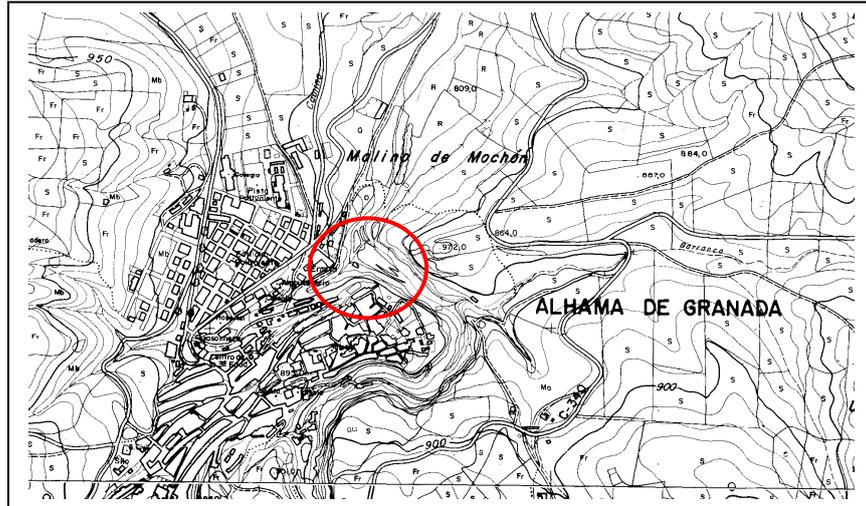
Se propuso la utilización de micropilotes inyectados del tipo I.R.S. cuyas cabezas deberán ser recogidas mediante una viga de hormigón que unifique el conjunto.

Igualmente se estimó adecuado el uso de micropilotes con una sección de 150 mm de diámetro, armado con un tubo de acero de alto límite elástico (5000 Kg/cm²), de 90 mm de diámetro exterior y 7 mm de espesor, lo que da una sección de acero de 18,25 cm².

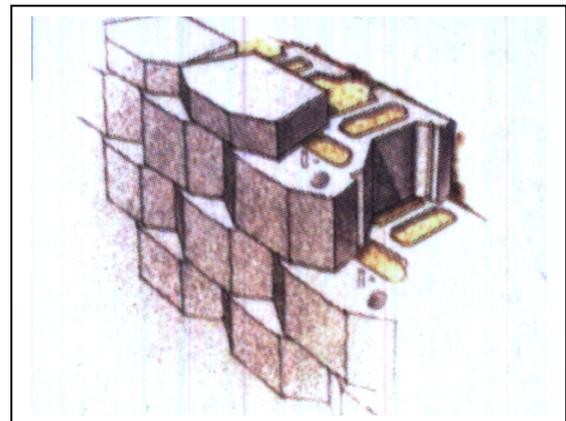
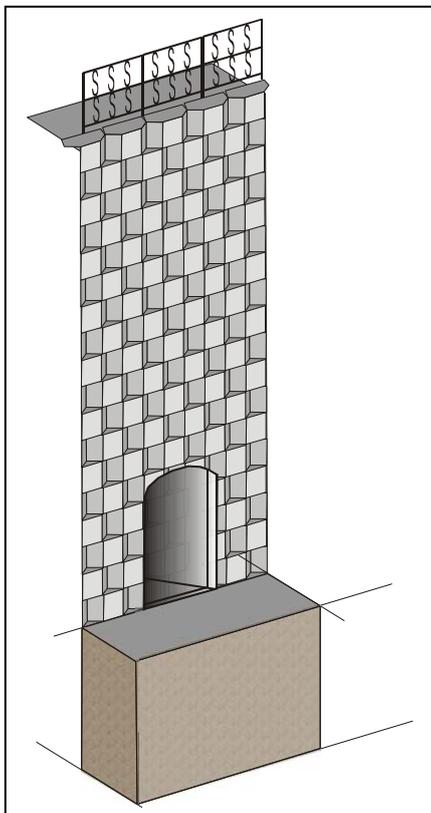


4.6 ESTABILIDAD DE DOS MUROS CONSTRUIDOS MEDIANTE SISTEMA KEYSTONE COMO ELEMENTOS DE CONTENCIÓN PARA EL RECINTO FERIAL EN ALHAMA DE GRANADA, GRANADA

En el barranco que recorre la población de Alhama de Granada de Suroeste a Noreste, se estaba llevando a cabo la construcción de una zona de recreo (Zona del Ferial).



Para dicha obra y como elementos de contención, se han levantado dos muros de tierra armada escalonados utilizando el sistema Keystone con geomalla sintética, de una altura próxima a los 8.00 m.



Según las observaciones de campo, dichos elementos se han cimentado directamente sobre el terreno natural formado por un material conglomerático, aflorante en la zona, rellenándose al mismo tiempo la zona de trasdós.

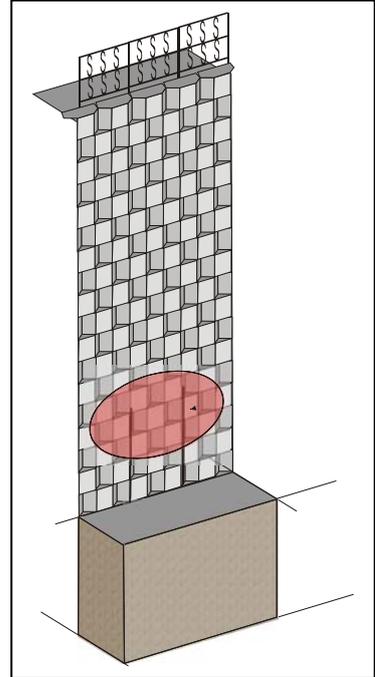
Para la evacuación del agua existe una

entubación subterránea, oculta por el relleno del trasdós comentado anteriormente, que desemboca en el muro inferior, desde la cual el agua tiene una caída hasta el fondo del barranco.

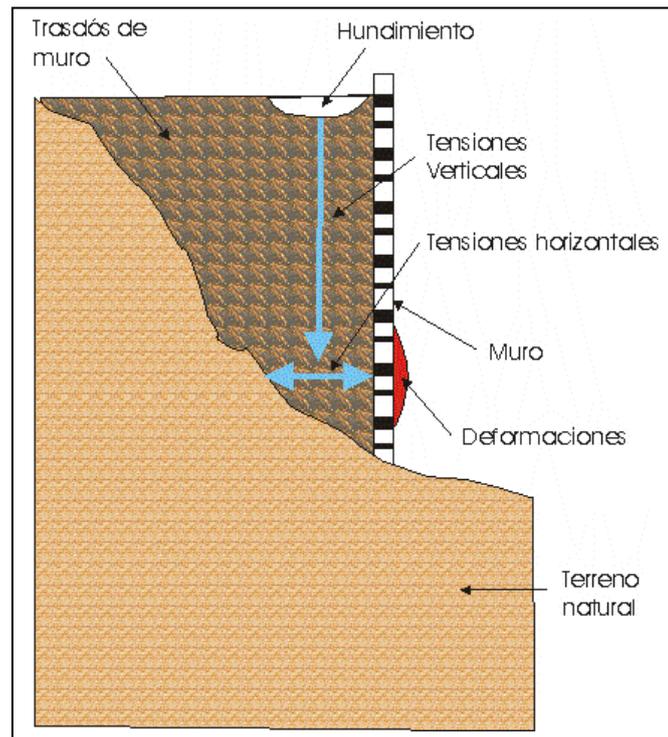
Las patologías existentes se han observado principalmente en la proximidad a la base de los muros, donde aparece un abombamiento de los mismos.

En el muro superior se han detectado unas fisuras verticales en los elementos que lo forman. De igual forma, en el relleno del trasdós del muro inferior, aparecen zonas de hundimiento del material.

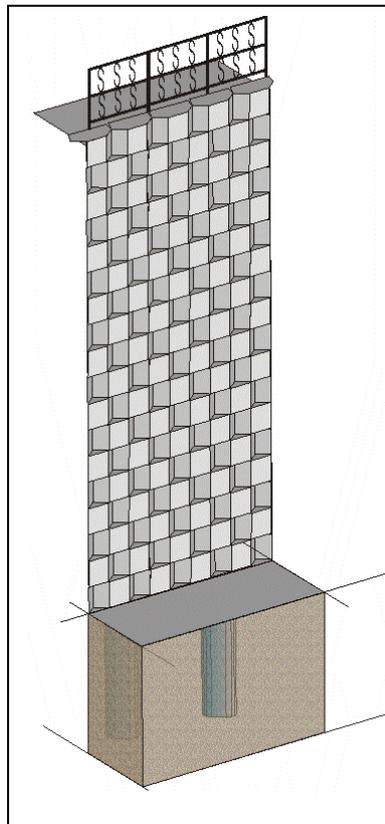
El colapso y la existencia de agua han provocado un incremento de tensiones, que en la parte central del muro, se ha reflejado en un aumento de las tensiones horizontales. Este incremento ha desarrollado tensiones horizontales en la dirección de muro, debido a la indeformabilidad del sustrato que se encuentra en la dirección opuesta. Las deformaciones producidas se han visto favorecidas por la tipología del muro y su carácter flexible.



MICROPILOTES INYECTADOS



Una de las soluciones a adoptar fue la construcción de una losa puentada mediante micropilotaje y por consiguiente la mejora del terreno colapsable.



4.7 CONDICIONES DE ESTABILIDAD Y DE CIMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CENES DE LA VEGA, GRANADA

Tras los reconocimientos realizados tanto por las visitas efectuadas como por los dos sondeos mecánicos de reconocimiento se ha obtenido la siguiente columna estratigráfica:

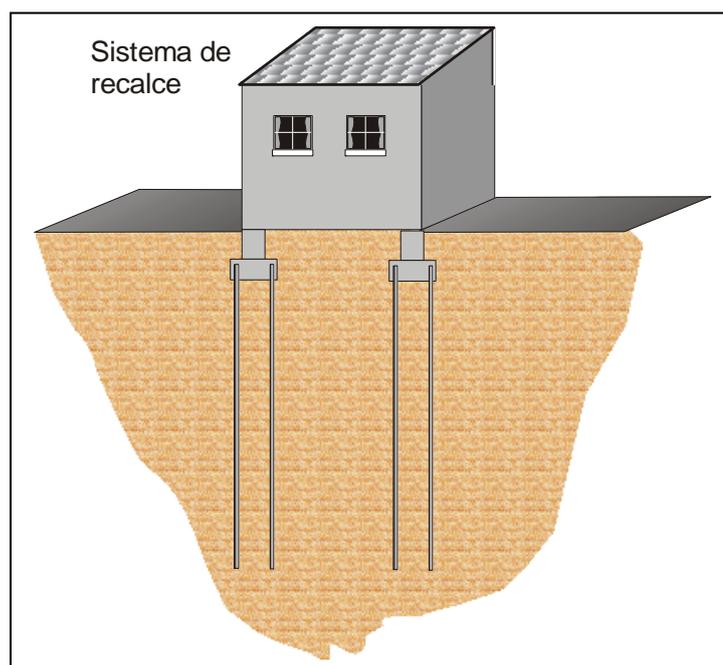
Material	Cotas
Ladrillería y Solera	0.00 - 0.50 m.
Limos flojos con abundante humedad	0.50 -5.30 m.
Limos arenosos de tonos marrones con abundantes cantos	5.30 - 12.60 m.

Dados los materiales detectados y las patologías observadas se puede afirmar que la edificación estudiada ha estado sometida a procesos de asentamientos que han provocado las patologías detectadas. Estos asientos han debido de localizarse principalmente en la capa de limos flojos con abundante humedad que se ha detectado entre las cotas 0.50 y 5.30 m medidos desde la rasante actual.

Tras las consideraciones necesarias se plantea imprescindible la realización de un sistema de recalce que garantice la transmisión de las cargas hasta los niveles competentes definidos por los suelos limos arenosos de tonos marrones con abundantes cantos y que se detectan a la cota -5.30 m medidos desde la rasante de perforación o boca de sondeos.

Proponemos al objeto de caracterizar la estabilidad y viabilidad de la vivienda un sistema de recalce mediante micropilotaje.

Se ha seguido los criterios propuestos por el Profesor Bustamante donde se ha conferido la resistencia a los micropilotes por fuste y punta en los limos arenosos de tonos marrones con abundantes cantos subyacentes que se detectan a partir de los 5.30 m de profundidad.



MICROPILOTES INYECTADOS

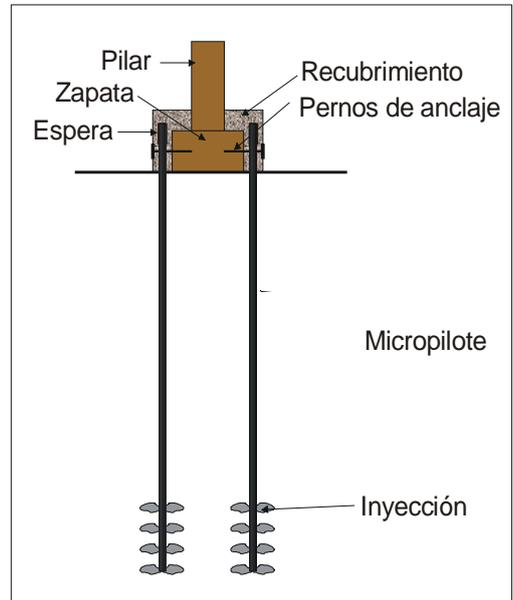
Igualmente se proponen los sistemas de inyección IRS (Inyección repetitiva y selectiva).

Se adopta el siguiente modelo de micropilotaje:

Micropilote	Tipo 90/7
Sección de acero	18.25 cm ²
Sección de hormigón	158.46 cm ²
Diámetro de perforación	150 mm.
Capacidad	45.6 Tn.

Coefficientes de ponderación

Acero	1.15
Mortero:	1.50
Ejecución:	1.60



4.8 CONDICIONES DE CIMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO EN CALLE AZHUMA, GRANADA

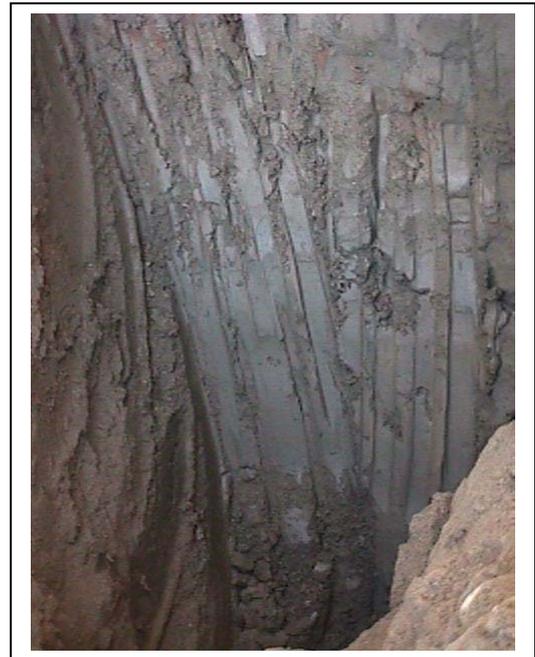
Establecemos el siguiente modelo geotécnico, sobre la base de las perforaciones realizadas y el reconocimiento de la columna estratigráfica:

Prof. (m.)	Material	Parámet. Geotéc.
0.00 - 7.80	Rellenos de naturaleza antrópica	-
7.80 - 10.40	Gravas y arenas de tonos grises.	δ natural..... 1.95 tn/m ³ δ seca..... 1.85 tn/m ³ ϕ ángulo roz..... 33° Cohesión..... 0 N (SPT) 27

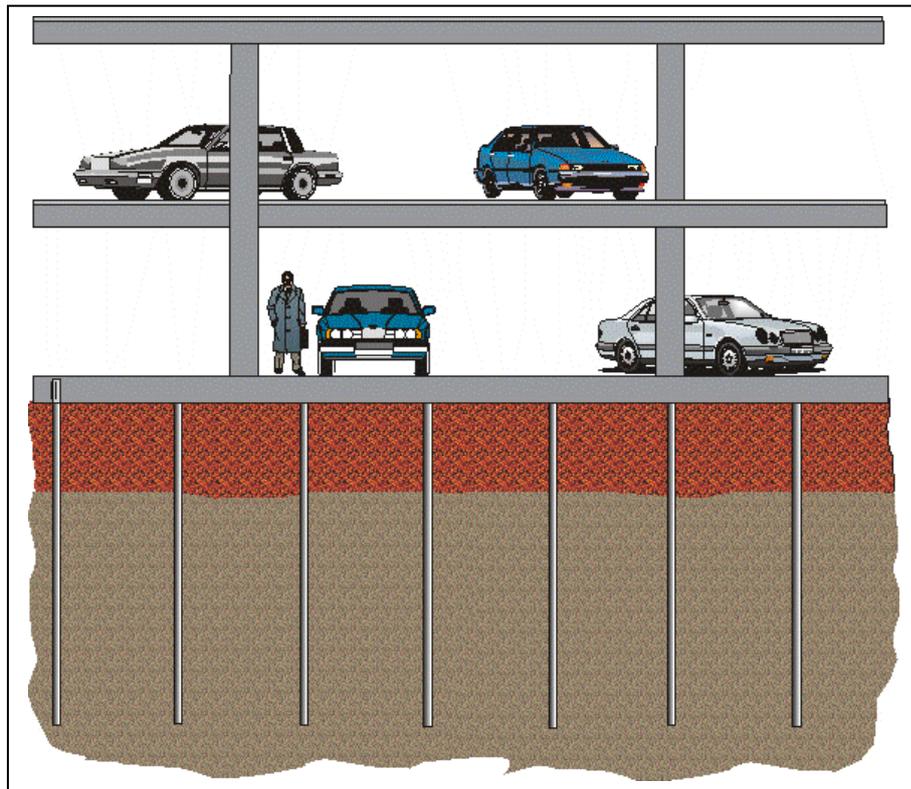
Descartamos inicialmente los primeros 7.80 m. de rellenos antrópicos, por su baja e irregular compacidad.

Sobre la base de las cargas transmitidas por los pilares, se ha optado por hacer una distribución de micropilotaje de tal forma que cada uno de los definidos sea capaz de asumir una tensión a compresión de 25 Tn.

Según la consideraciones realizadas se puede estimar micropilotes de longitud de 6 m. que deben de alcanzar la cota -12.5 m, de tal forma que queden inyectados los tres últimos metros que se sitúan en las gravas referidas.



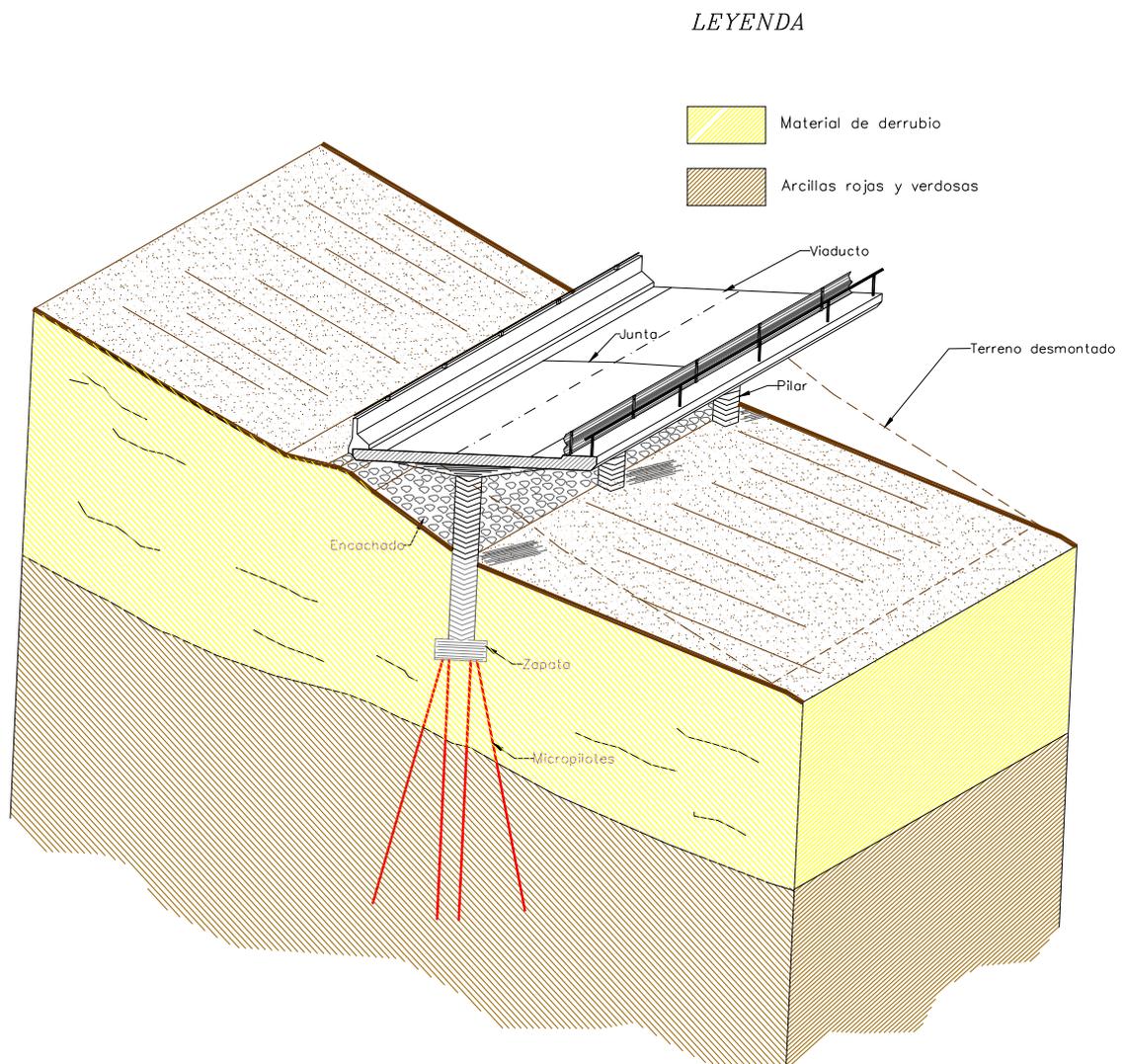
MICROPILOTES INYECTADOS



4.9 CIMENTACIÓN DE LAS PILAS DE UN PUENTE EN LA LOCALIDAD DE PORTUGOS, GRANADA

Al objeto de pasar un área sometida a procesos de deslizamientos se propuso la ejecución de una estructura de paso que estuviera cimentada sobre los materiales portantes de la zona formados por esquistos y micaesquistos relativamente sanos.

En el gráfico siguiente se aprecia el desalle de la solución planteada, cimentado las pilas mediante un sistema de micropilotaje vertical y en abanico.

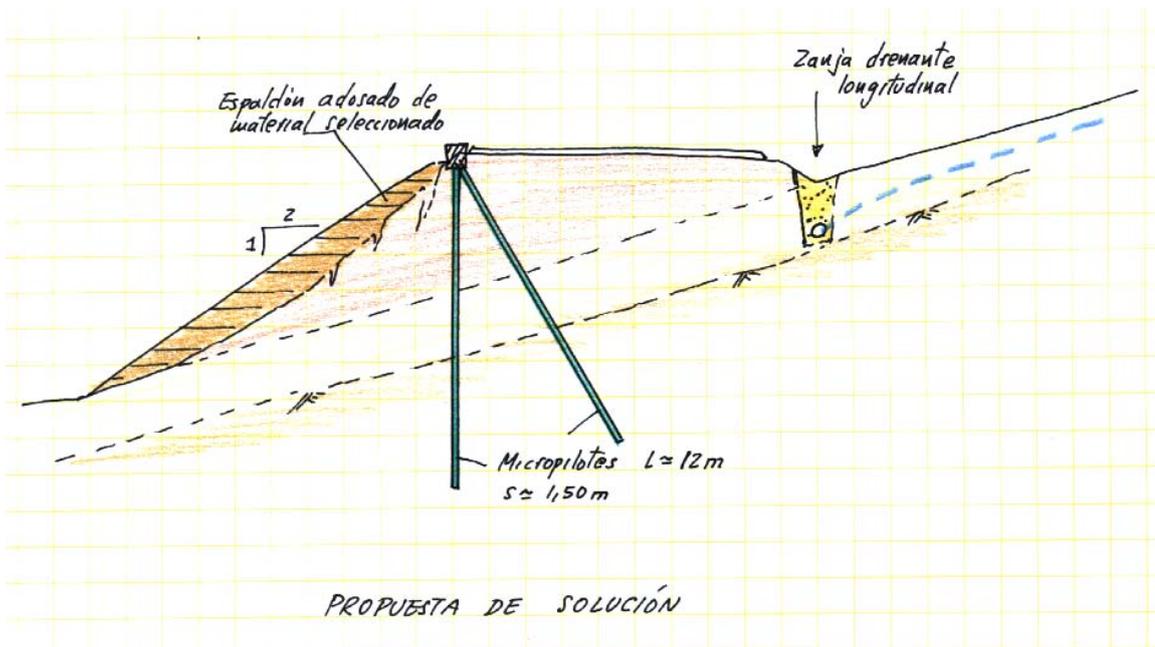


4.10 DESLIZAMIENTO DE TERRAPLEN EN LA A-320 P.K. 14+750, JAEN

En el PK 14+750 de la carretera A-320, se ha detectado un terraplén, situado a media ladera, donde se han desarrollado grietas longitudinales de cierta importancia en arcén y calzada, llegando hasta el eje de la carretera, que ha producido el corte del carril dirección Mancha Real, y que en la actualidad ha sido rellenado con grava para permitir transitoriamente el tráfico.



Se planteo el refuerzo del propio en su borde exterior. Para ello una solución muy utilizada consiste en construir una pantalla discontinua de micropilotes, formando caballetes de forma que el micro inclinado hace de anclaje de los verticales. Ambos van unidos por una viga corrida de encepado, de hormigón armado, de dimensiones aproximadas 0,60 x 1,00 m.

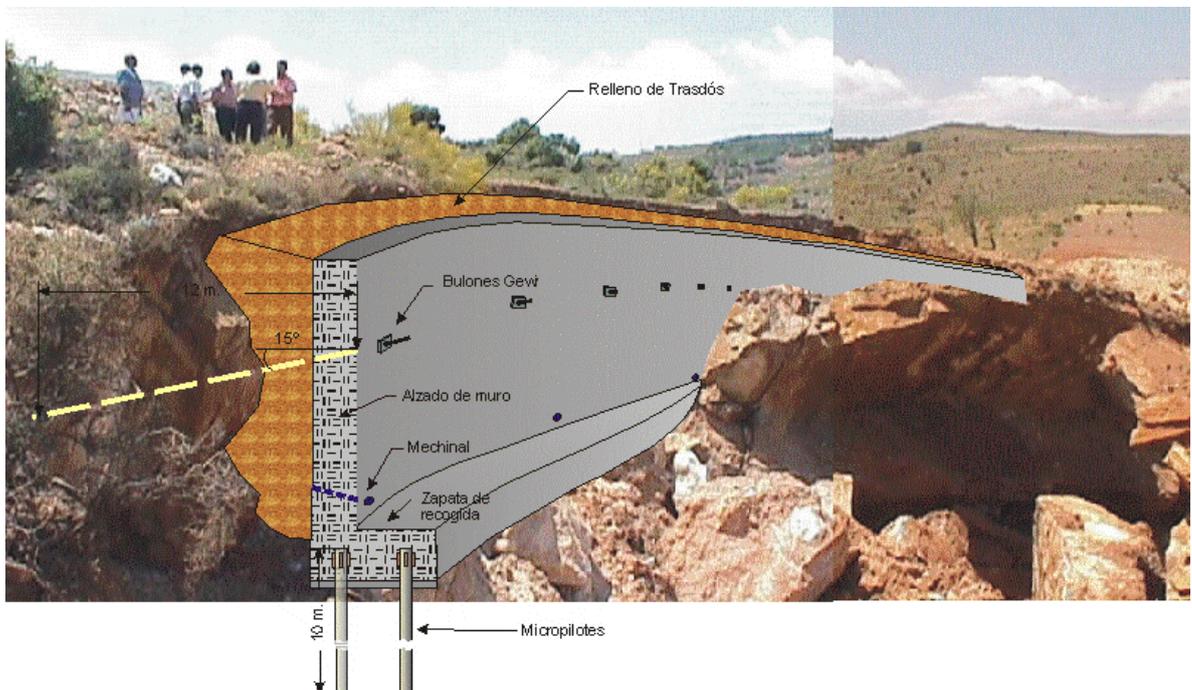


PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.11 CORRECCIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN LA CARRETERA A-339, SERÓN - LAS MENAS PK 8+700, ALMERIA

En esta caso se plantearon las siguientes soluciones, para los deslizamientos acaecidos en la carretera A-339, Serón-Las Menas, PK 8+700, en Almería:

- Pantalla de micropilotes, mediante el sistema vertical - inclinado con armadura 90/7, conectores micro-viga, barra de diámetro 32 mm. En el interior y longitud total de 15 m por micropilote.
- Viga encepado de canto 80 cm. con armadura similar a la prevista en el informe previo.
- Bulonado mediante barras Gewi de 40 mm. con perforación de 120 y con una longitud estimada de 12 m. e inclinación entre 15 y 20 °, donde al menos 4 m. queden empotrados en el material competente.
- El sistema debe inyectarse mediante IGU y tesarlos a una tensión entre 10 y 12 tn.



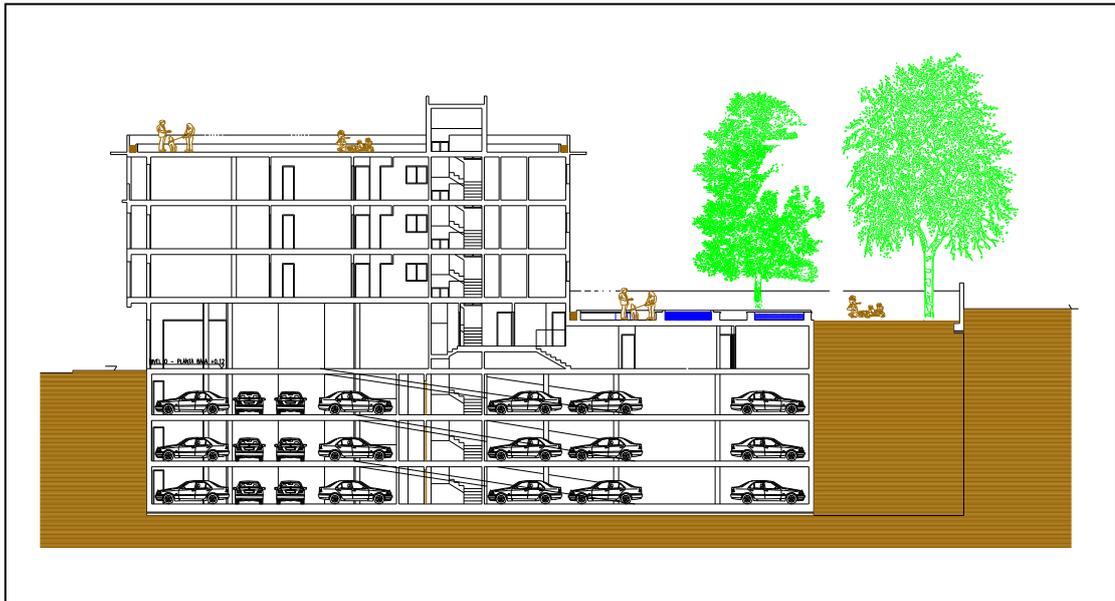
Las características de dicha pantalla son las siguientes

- Muro de hormigón con zapata de 1.8 m. de anchura por 1 m. de canto (incluido el hormigón de limpieza), alzado de anchura 40 cm. y altura variable entre 5 y 6 m.
- La zapata habrá de estar micropilotada mediante pares de micropilotes de iguales características a los referidos anteriormente, pero distribuidos al tresbolillo con separación en planta de 2 m. y separación entre filas de 1 m. La longitud estimada de esto micropilotes será de 10 m.
- El muro estará anclado mediante bulones de características similares a los descritos anteriormente, distribuidos en una sola fila y longitud estimada de 12 m.
- El alzado del muro se realizará con encofrado a dos caras, rellenando el trasdós con material granular de filtro y con tubos pasantes en la zona inferior (mechinales).

4.12 CONDICIONES DE CIMENTACIÓN Y ESTABILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE 15 VVDAS. LOCALES Y APARCAMIENTOS EN PASEO DE LA BOMBA 13, GRANADA

El solar en estudio se encuentra situado en el Paseo de la Bomba nº13, colindando fachada sur con la Cruz Roja.

El edificio proyectado consta de planta baja y tres de Alzada sobre rasante y tres sótanos bajo rasante.



Como estructura de contención se plantearon las flexibles, que son aquellas en que por sus dimensiones y morfología, cumplen su función experimentando deformaciones apreciables de flexión, lo cual obliga a tener en cuenta estos esfuerzos en su diseño.

En estas estructuras flexibles, por lo general, se introduce el elemento artificial en el terreno, por debajo del nivel de excavación, en una longitud tal que la reacción o empuje de tipo pasivo en el intradós sea importante y comparable con el empuje del trasdós.

Si la longitud es tal que asegura el equilibrio del conjunto la estructura puede quedar en voladizo. Pero si ello requiere gran longitud, se puede preferir, por razones económicas, el disponer uno más niveles de apoyo que proporcionen la reacción necesaria para



MICROPILOTES INYECTADOS

soportar los empujes del trasdós. Esto conlleva, además, la ventaja de reducir los esfuerzos de flexión que se generan en la propia pantalla, limitar los propios movimientos, etc.,

Para la definición mediante micropilotes se debe seguir los criterios propuestos por el Profesor Bustamante donde se debe conferir la resistencia a los micropilotes por fuste y punta.

Para los materiales implicados los parámetros considerados deberán ser las siguientes:

IGU (Inyección Global Unificada)		IRS (Inyección Repetitiva Selectiva)	
qs (Fricción lateral unitaria)	Coficiente α	qs (Fricción lateral unitaria)	Coficiente α
0.8	1.2	1.3	1.6

Los coeficientes de ponderación propuestos son los siguientes:

Acero: 1.15

Mortero: 1.50

Ejecución: 1.60

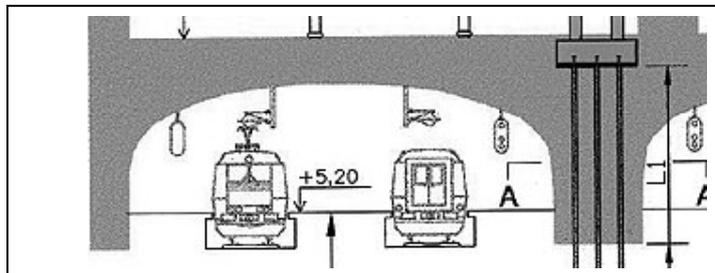


4.13 EDIFICIO TRIÁNGULO PLAZA CATALUÑA

El edificio Triángulo es un complejo de 15.000 m² de locales comerciales, 12.000 m² de oficinas y 12.000 m² de aparcamiento, todo ello distribuido en cinco sótanos, una planta baja, seis plantas sobre rasante y un altillo. Situado en pleno centro de Barcelona, en la manzana que forman la confluencia de las calles Pelayo y Bergara con la Plaza de Cataluña, la cimentación de una parte del edificio se ha realizado, mediante una ingeniosa solución, sobre la estación subterránea de los Ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña, utilizando un hormigón de alta resistencia en los encepados de los micropilotes.

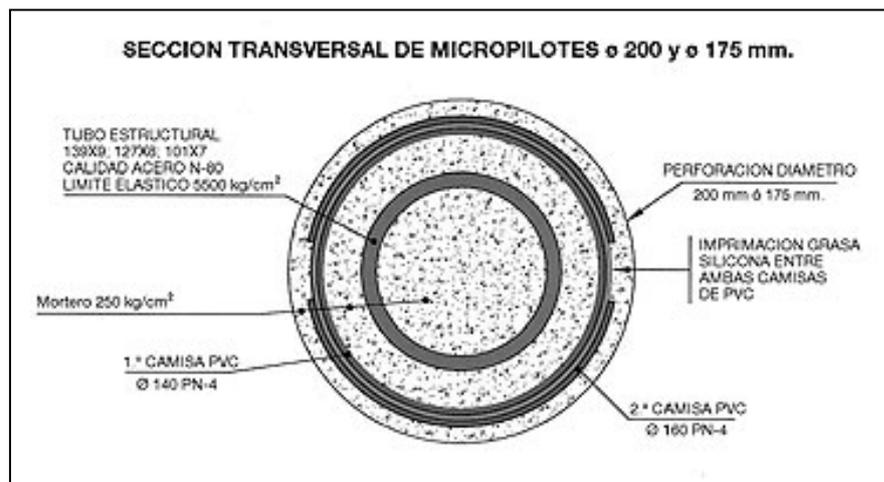
El edificio, propiedad de la Compañía de Seguros UAP (actualmente AXA), fue construido por Dragados entre enero de 1997 y noviembre de 1998, con un presupuesto de 4.000 millones de pesetas

La perforación de los micropilotes, en cotas superiores al nivel freático, se realizó con tricono de aire, ya que en las pruebas realizadas se mostró como el sistema menos agresivo con la estructura atravesada y el más silencioso. Para evitar problemas derivados de posibles desviaciones se realizaron comprobaciones de verticalidad cada metro. Asimismo, en las zonas más conflictivas, por la cercanía de la perforación a paramentos de la estación, los micropilotes se han revestido con una camisa de acero de 200 mm de diámetro y 5 mm de espesor.



El número total de micropilotes realizados es de 175, con longitudes medias de 26 m, y máximas de 34 m.

Para el encepado de estos micropilotes ha sido necesaria la utilización de un hormigón de alta resistencia, de 100 N/mm² de resistencia característica, dado que la carga transmitida por cada pilar es de 520 t, con un canto de 60 cm por la limitación impuesta por la cota del vestíbulo del edificio en su cara superior, y por las bóvedas de la estación en su cara inferior. La solución final ha sido la de un encepado mixto, formado por un bastidor metálico y un hormigón de alta resistencia.



El bastidor metálico tiene forma de T, con dimensiones en planta de 2,0x1,5 m, soldándose al mismo las armaduras del encepado, las placas de reparto situadas en las cabezas de los micropilotes, así como las armaduras verticales del pilar de hormigón, por medio de unas cartelas metálicas que forman en planta el arranque de la sección del pilar.

La rigidez de la sección mixta conseguida con este procedimiento asegura el reparto de la carga del pilar a todos los micro-pilotes, obteniéndose una uniformidad de deformaciones que garantizan la verticalidad del pilar y la ausencia de giros en el conjunto.

En el proyecto de forjado a base de losas con armaduras postesadas, al ser irregular la planta del edificio, y variar las luces libres entre 6 y 13 m, con predominio de luces de 8 m, ha sido necesario adoptar soluciones distintas para cada caso, razón por la que la distribución de los cordones de pretensado en los forjados es muy dispar. Por lo general, éstos se distribuyen en planta repartidos en una dirección y concentrados en la otra, para facilitar así las tareas de montaje. Siempre que ha sido posible se ha unificado el trazado vertical de los cordones para reducir al mínimo el número de silletas diferentes.

Los cordones utilizados han sido del tipo no adherente, en los que la armadura se sitúa dentro de una vaina de plástico engrasada por el interior. Al no ser necesaria la inyección de estos cordones, el diámetro total es del mismo orden que el de un redondo corrugado.

El mayor coste de este tipo de armadura activa frente al redondo de armado se compensa con su mayor capacidad mecánica, de forma que el coste de este tipo de forjados es similar al de un forjado armado, así como su plazo de ejecución, incluso en obras como ésta en la que la planta del edificio es irregular.

4.14 OBRAS DE MICROPILOTAJE EN EDIFICIOS DE INTERES SINGULAR

<p>Catedral de Granada</p>	<p>Recalce de la Sacristía de la catedral, donde gran parte de su cementación está realizada mediante pilotes de madera.</p>	
<p>Monasterio de San Jerónimo en Grandada</p>	<p>Recalce mediante sistema de micropilotaje con aire comprimido de las antiguas caballerizas del Monasterios</p>	
<p>Capitania del Puerto Deportivo de Marina del Este en La Herradura, Granada</p>	<p>Cimentación mediante micropilotaje adyacente al Puerto Deportivo.</p>	
<p>Estabilización de la ladera de La Punta de la Mona, La Herradura, Granada</p>	<p>Estabilización de la ladera mediante diferentes niveles de anclajes y micropilotaje.</p>	
<p>Estabilización y unión del Peñón de las Caballas en el Puerto Deportivo de Marina del Este, La Herradura, Granada.</p>	<p>Unión y estabilización del Cerro de las Caballas al macizo rocoso costero del Puerto Deportivo de Marina del Este.</p>	
<p>Cimentación del Complejo del Parque de las Ciencias, Granada</p>	<p>Cimentación mediante micropilotaje</p>	

5. Referencias

- A. Benslimane, I. Juran and D. A. Bruce (1997). " Group and Network Effect in Micropile Design Practice". XIV International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. . Hamburg, Volume 2. pp. 767-770
- Arenas, C. (1999). " El Nuevo Método Austríaco con Micropilotes, Anclajes y Bulones Autoperforantes Ischebeck Titan". Ingeopres, N°72. pp. 88-92
- ASCE Geotechnical Special Publication No. 69 (1997). "Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment Development 1987 - 1997". Edited by R. Schaefer.
- ASTM-D1143-81, 1981. "Method of Testing Piles Under Static Axial Compressive Load," Section 04, Vol. 04.08.
- Bruce, D. A., 1989. "American Developments in the Use of Small Diameter INSERTS as Piles and In Situ Reinforcement," DFI Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, May 15-18, London, 12 pp.
- Bruce, D. A., 1994. "Small Diameter Cast-in-Place Elements for Load Bearing and In Situ Earth Reinforcement," in Ground Control and Improvement by P. P. Xanthakos, L. W. Abramson, and D. A. Bruce. John Wiley and Sons. Chapter 6. pp. 406-492.
- Bruce, D. A., DiMillio, A. F. and Juran, I., 1995a. "Introduction to Micropiles: An International Perspective," Foudation Upgrading and Repair for Infrastructure Improvement, ASCE, New York, NY.
- Bruce, D. A., DiMillio, A. F., and Juran, I., 1995b. "Primer on Micropiles," Civil Engineering, Vol. 65, No 12, December, pp 51-54.
- Bruce, D. A., 1997. "Chapter on Micropiles," Ground Improvement, reinforcement, and Treatment: A Twenty Year Update and a Vision for the 21st Century, ASCE, Ground Reinforcement Committee.
- Bunling, S. and Robinson, S. A. (1987). Bored Piles - Design And Testing. Proceedings of Singapore Mass Rapid Transit Conference, 155-175. Singapore.
- Bustamante, M. and Doix, B., 1985. "Une Méthode pour le Calcul des Tirants et des Micropieux Injectés," Bull. liaison laboratoire Ponts et Chaussées, 140, nov-déc, p. 75-92.
- Chan, S F. and Ting, W. H. (1996). Micropiles. 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, 93-99. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Chang, M. F. and Broms, B. B. (1991). Design of Bored Piles In Residual Soils Based On Field-Performance Data. Canadian Geotechnical Journal, 200-209. Vol. 28.

Coyle, H. M. and Reese, L. C. (1966). Load Transfer For Axially Loaded Piles In Clay. *Journal Of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE*, Vol. 92, No. SM2, 1-26.

Ellis, I., 1985, "Piling for Underpinning," Symposium on Building Appraisal, Maintenance and Preservation, at University of Bath, Bath. p.88-96

Ellis, I. W., 1990. "Mini Pile Underpinning," in *The Maintenance of Brick and Stone Masonry Structures*, London-New York: E. & F. N., first edition.

Finno, R.J and Orozco Perdomo, C. September 1997. "Evaluation of Compaction Grouted Minipiles at the Northwestern University National Geotechnical Experimentation Site". Department of Civil Engineering Northwestern University.

Gouvenot, D., 1973. "Essais en France et à l' Étranger sur le Frottement Latéral en Fondation: Amélioration par Injection," *Travaux*, 464, Paris, Nov.

Hayward Baker publication, Minipile, 1996.

Hernández del Pozo, J.C. et all, 2002. "Cimentaciones Profundas. Procedimientos de Ejecución y Cálculo". Area de Ingenieria de la Construcción. Area de Ingenieria del Terreno. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada.

I. Juran, A. Benslimane and D. A. Bruce (1996). Slope Stabilization by Micropile Ground Reinforcement ". *International Symposium on Landslides*, Trondheim, Norway.

Koreck, H. W., 1978. "Small Diameter Bored Injection Piles," *Ground Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 14-29.

Littlejohn, G. S., 1970. "Soil Anchors," *Ground Engineering Conf.*, Institution of Civil Engineers, London, pp. 33-44.

Lizzi, F., 1982. "Reticulated Root Piles to Correct Landslides," *ASCE Conf.*, Chicago, Ill., October.

Lizzi, F., 1993. " 'Pali Radice' Structures," in *Underpinning and Retention*. Edited by S. Thorburn and G. S. Littlejohn. Published by Blackie Academic and Professional. pp. 84-156

Mascardi, C. A., 1982, "Design Criteria and Performance of Micropiles," *Symposium on Soil and Rock Improvement Techniques including Geotextiles, Reinforced Earth and Modern Piling Methods*. December, Bangkok, Paper D-3.

Neoh, C. A. (1996). Performance of Slender Micropiles Socketed In Limestone Bedrock. 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, 493-501. Kuala Lumpur, Malaysia.

Pells, P. J. N. and Rowe, R. K. (1983). A Design Method For Rock Socketed Piles. 5th ISRM Congress, 14-29. Melbourne, Australia.

Tan, T. S. (1986). The Use Of Small Diameter Piles As A Solution To Foundation Problems In Limestone Areas. IEM-JSSMFE Joint Symposium on Geotechnical Problem, 123-137. Kuala Lumpur, Malaysia.

Thirteenth Southeast Asian Geotechnical Conference, 16-20 November, 1998, Taipei, Taiwan, ROC Design, Installation and Performance of Micropiles in Kuala Lumpur Area, Malaysia S.S. GUE SSP Geotechnics Sdn. Bhd., Malaysia S.S. LIEW SSP Geotechnics Sdn. Bhd., Malaysia

Toh, C. T., Col, T. A., Chiu, H. K., Chee, S. K. and Ting, W. H. (1990). Design Parameters For Bored Piles In A Weathered Sedimentary Formation. 12th ICSMFE, 1073-1078. Rio De Janeiro.

Troughton, V. M. and Stocker, M. (1996). Base And Shaft Grouted Piles. Proc. Instn. Civ. Engrs., Geotech. Engng, 119, July, 180-192. Informal Discussion.

Warner, J., 1982. "Compaction Grouting the First Thirty Years," Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, New Orleans, LA, February, pp. 694-707.

Weltman, A. (1981). A Review Of Micro Pile Types. Ground Engineering, May, 43-49.

Woods, R. 1. And Barkhordari, K. (1997). Load Transfer Mechanism In Ground Anchorage. Numerical Model In Geomechanics, 629-634. Balkema.