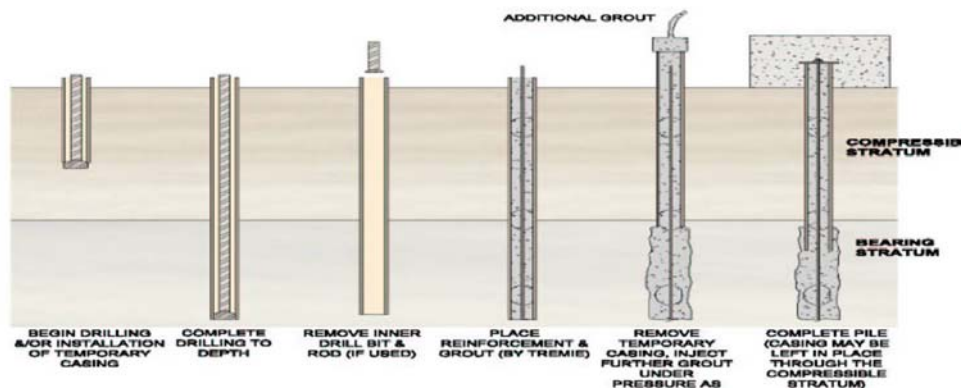


Pilotes y Micropilotes

13.1 HISTORIAL

El “micropilote” se empezó a utilizar en Italia (entre 1950-52) y en muchos otros países por la empresa FONDEDILE. Este termino es utilizado casi universalmente pero entendido como refiriéndose a pilotes ejecutados con técnicas diferentes.



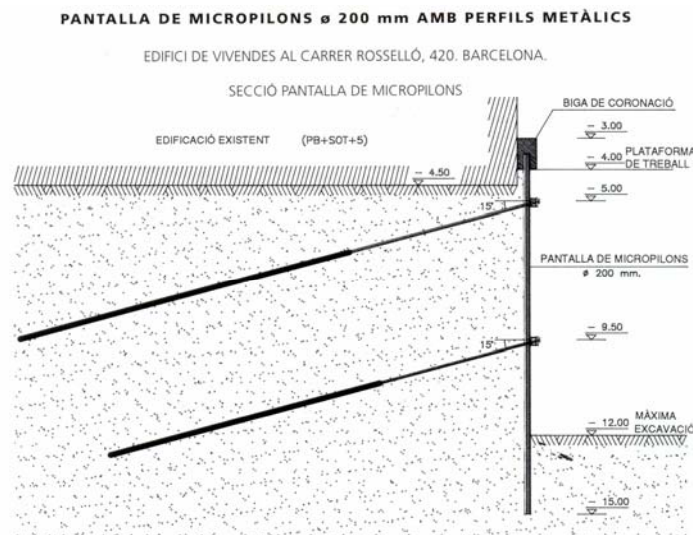
Cap.13-Imagen 1 Cortesía C. Arenas

La primera referencia que se ha encontrado es en el libro de Sansón (1993). En el se describe los “pali radice” como pilotes de pequeño diámetro, ejecutados con perforación a rotación y una tubería de entubación de unos 100 mm de diámetro; después se coloca una armadura central (de una o más barras) y se hormigota manteniendo la presión del mortero en cabeza con aire comprimido, mientras se extrae la tubería de entubación. Se utiliza una mezcla con una dosificación “elevada” de cemento y aditivos.

13.2 FORMA DE TRABAJO

Los micropilotes se usan cada vez más. Hay cuatro grandes áreas de utilización:

- Como cimentación y/o recalce de estructuras, trabajando básicamente a compresión.
- Constituyendo cortinas o muros discontinuos para contención de terrenos o excavaciones profundas.
- Trabajando a flexión, tracción o flexotracción en la corrección de corrimientos o deslizamientos.
- En “paraguas” de presostenimiento de túneles tanto en las bocas (es ya una práctica común en la mayoría de los túneles) como para el paso de terrenos muy difíciles o para la recuperación de tramos con hundimientos.



Cap.13-Imagen 1 Pantalla de micropilotes (C. Arenas)

En el mercado anglosajón a veces se diferencia entre “minipilote” con diámetro entre 150 y 250 mm, y “micropilote” con diámetro menos de 150 mm (Herbert, 1985). En España apenas se utiliza el término minipilote.

Tras un largo abandono de los pilotes con diámetros pequeños, durante los últimos años, éstos han alcanzado una gran importancia. La aparición de normas y homologaciones, han dado al usuario confianza en esta nueva tecnología. Los pilotes con diámetros pequeños y muy pequeños se conocen con distintos nombres:

- **micropilotes**
- **pilotes de raíz;**
- **minipilotes**

Además de las soluciones especiales, se utiliza frecuentemente para el saneamiento de obras, en los que han de reforzarse cimentaciones antiguas. También se utiliza en la instalación de recintos de trabajo con acceso limitado, dimensiones reducidas y pequeñas alturas de trabajo.

Entre los distintos tipos, el micropilote es el que más se ha desarrollado, especialmente en la minimización del diámetro de la perforación manteniendo de una alta capacidad de carga.



Cap.13-Imagen 2 (Cortesía C. Arenas)

La figura muestra que la relación del contorno del pilote con respecto a la sección transversal del pilote es extremadamente alta, la superficie envolvente es el factor más importante para la transmisión de la carga como en el caso de los anclajes inyectados. La elevada capacidad portante del pilote GEWI se debe al núcleo de acero, que por lo general se considera en el cálculo como la única sección resistente.

El mortero de cemento envolvente sirve como protección contra la corrosión, para la transmisión de la carga al suelo y como refuerzo contra el pandeo, así como lecho del

pilote en el subsuelo. Entre el mortero de cemento y el núcleo de acero debe haber buena adherencia, para que ambos componentes puedan actuar conjuntamente.

En éstos justifica la utilización del acero GEWI, cuyas corrugas garantizan la adherencia necesaria. La rosca gruesa continua provee además la posibilidad del anclaje final mediante elementos roscados, tales como tuercas de anclaje o la unión por medio de manguitos roscados. La inyección del mortero de cemento a través del tubo de la perforación consigue la fijación al suelo en función de las características del mismo. En los suelos peores, se aplica además una inyección posterior para el tramo adherente, con el fin de aumentar el rozamiento.

Los pilotes GEWI pueden ser utilizados como pilotes individuales, en filas o en grupo. Para evitar cargas excéntricas accidentales, que no pueden ser soportadas por otros elementos estructurales, es conveniente colocar los pilotes por parejas en cada dirección.

Los pilotes Gewi se utilizan sobre todo para la transmisión directa de la carga. Debe comprobarse que el suelo afectado por un grupo de pilote no esté sobrecargado y no tenga asentamientos. Dado que la barra resiste cargas de tracción y compresión, los pilotes Gewi son utilizados también para sollicitación a tracción y para contrarrestar presiones ascendentes. Precisamente en estos casos son muy útiles, ya que no perforan la placa de la solera, evitando así puntos difíciles de obturar.

Sólo un pequeño porcentaje de pilotes son sometidos a pruebas de carga lo que en comparación con los anclajes inyectados, da lugar a un menor grado de seguridad. Por lo tanto hay que tener muy en cuenta al elegir el coeficiente de seguridad de adherencia, principalmente con los de pilotes a tracción el cual debe ser como mínimo $f=2$. El pilote Gewi con su núcleo de acero resiste cargas alternas en el campo de tracción-compresión, tal y como se presenta en el caso de cimentaciones de torres, chimeneas, líneas de alta tensión, etc. Las investigaciones más recientes (Koreck, Schwarz 1985) han demostrado, que ciertos suelos, como por ejemplo en el caso de arena estratificada semidensa debido a las cargas alternantes y escalones de carga, sufren mermas considerables del rozamiento, en comparación con el caso de carga estática y por

consiguiente ha de contarse con coeficiente de seguridad muy elevados. Los anclajes en roca son los que tienen mayores seguridades.

Los pilote Gewi pueden ser instalados también con el fin de reforzar el terreno de forma similar a como se efectúa con los clavos para conseguir resistencias más elevadas., principalmente resistencia a tracción y cortante. En suelos con buenas características de rozamiento pueden formarse auténticos bloques de barras-suelo para muros de contención, pantallas sobre túneles o similares.

Los pilotes Gewi también pueden utilizarse como pasadores atravesando las juntas en una pendiente inestable. En estos casos los pilotes trabajan a flexión.

La solución más económica es una combinación de transferencia de carga y refuerzo del suelo. En la siguiente tabla se puede observar que la mayor elasticidad de un pilote Gewi respecto a la de los pilotes perforados, hace que el subsuelo también soporte las cargas, sobre todo cuando la placa de la cabeza del pilote se transmite la carga tanto al suelo como los pilote Gewi.

Asentamiento del suelo reforzado		Pilote		
Dimensión	Unidades	perforado D = 50 cm	Pilote Gewi	Suelo
Sección transversal	cm ²	1.960	19,6	1210
Longitud	m	10	10	10
Módulo de elasticidad	N/mm ²	300	0	2
Tensión con 500 KN de carga	N/mm ²	2,55	2,55	0,41
Asentamiento elástico	mm	0,64	6,1	20,5
Pilote				
Distribución de la carga con el mismo asentamiento en %		perforado+suelo		
		97	-	3
		Pilote		
		Gewi+suelo	-	77
				23

Otra ventaja a tener en cuenta es que la carga a compresión permite al suelo soportar fuerzas horizontales que se presentan con frecuencia. Esto tiene lugar con una deformación pequeña, mientras que los pilotes inclinados requieren deformaciones más intensas para entrar en acción. Una eficaz combinación del pilote Gewi con otros métodos de construcción tiene lugar cuando son utilizados como armadura para suelos en condiciones normales o inyectados a alta presión (es decir Jet-Gouting). Como elementos prefabricados y por consiguiente como elementos controlados su calidad en un suelo cuya mejora depende en alto grado de la inyección, pueden proporcionar un alto grado de seguridad frente a sollicitaciones a tracción, a cortadura y asentamientos.

13.3 TIPOS

14.3.1 Según el tipo de barra:

- a. Armados con barras corrugadas.
- b. Armados con tubos de acero



Cap.13-Imagen 3 Cortesía C Arenas

14.3.2 Según el tipo de construcción.

- a. PILOTES GEWI CON LONGITUD ELÁSTICA LIBRE

En terrenos desiguales ha de vigilarse que el asentamiento de los pilotes Gewi sea igual para todos los elementos, a fin de que no se produzcan sobrecargas. En estos casos se pueden utilizar pilotes Gewi con un tramo elástico libre, en el que es exactamente conocido el comportamiento de asentamiento elástico. En esta zona se

determina la fuerza transmitida al suelo. La barra de acero debe colocarse en el centro del orificio de la perforación.

b. PILOTES GEWI CON DOBLE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.

Una capa de mortero de cemento de 20 mm de espesor como mínimo para la barra Gewi se considera, en condiciones normales, como protección suficiente para pilotes permanentes. Si se imponen condiciones más severas principalmente en el caso de pilotes a tracción o suelos agresivos o terrenos húmedos, debe buscarse una doble protección contra la corrosión en pilotes permanentes, no en los pilotes perforados normales, protección que se aplica de forma análoga al caso de los anclajes inyectados en forma de un tubo nervado de plástico inyectado con mortero de cemento.

Los pilotes protegidos de esta forma pueden ser instalados en suelos cuya agresividad para el acero limitaría la utilización de pilotes convencionales de hormigón armado.

14.3.3 Según el tipo de cabeza del pilote.

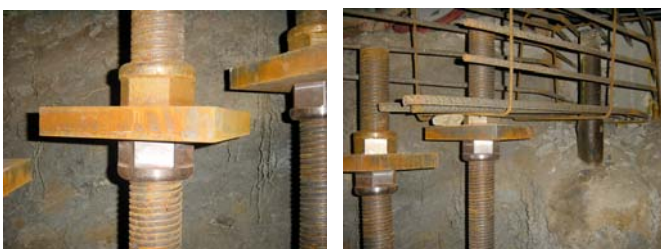
Tipos de cabezas de micropilotes

a SOLDADAS



Cap.13-Imagen 4 Cortesía C. Arenas

b MECANIZADAS



Cap.13-Imagen 5 Cortesía C. Arenas

13.4 PARTES DE LOS PILOTES

13.4.1 NÚCLEO DEL PILOTE.

Para tendones de acero localizados de forma centrada hay disponibles varios diámetros de barra, esto es, barras Gewi de 40 mm y 50 mm de diámetro.

Con tres barras Gewi la carga de trabajo puede ser mayor si el terreno lo soporta, así como la resistencia a la flexión. Se colocan varias barras roscadas de Gewi \odot 50 mm, cuando el rozamiento es suficientemente elevado como para absorber la carga, lo que se da fundamentalmente solo con instalación en roca.

<u>CAPACIDAD PILOTES GEWI (KN)</u>							
		Diámetro nominal					
		(mm)	28	40	50	3x40	3x50
		Sección transversal					
Calidad del	de la barra As						
acero fy/fs	(mm²)						
420/500	Fy=fs·As	616	1257	1963	3770	5890	
	Fy/1,71	259	528	825	1583	2474	
	Fy/1,75	151	309	482	926	1447	
500/550	Fy=fs·As	148	302	471	905	1414	
	Fy/1,71	308	628	982	1885	2945	
	Fy/1,75	180	367	574	1102	1722	
		176	359	561	1077	1683	

Cap.13-Imagen 6 Capacidades de los pilotes de la marca DSY, modelo Gewi (C. Arenas)

En la anterior tabla se encuentran indicadas las cargas límite de trabajo referidas a la sección de la barra a distintos tamaños.

13.4.2 UNIÓN DE MANGUITOS.

Manguitos de contacto; para uniones que trabajan a compresión.

Manguitos con contratueras; para aquellos que trabajan a tracción.

13.4.3 ANCLAJE FINAL.

Para el anclaje en la placa de la cabeza del pilote o en la estructura hay tres soluciones:

Unión por adherencia entre la barra y el hormigón armado, cuando hay suficiente longitud de adherencia, como por ejemplo en muros. Esta longitud se determina con una tensión de adherencia disminuida en un 20% al valor admisible.

El anclaje final en el hormigón mediante una pieza o placa de anclaje asegurada por contratuerca y en caso necesario una pequeña longitud de adherencia. En la zona próxima al borde se requiere siempre una armadura es espiral para absorber las fuerzas expansivas así como estribos contra punzamiento.

Anclaje roscado con placas de anclaje, que son partes de una construcción metálica o de un elemento prefabricado de hormigón.

El mortero de cemento de la cabeza del pilote penetra 10 cm. En el hormigón de la obra. Igualmente la armadura de la cabeza del pilote pasa 30 cm. En el hormigón de la obra.

13.5 INSTALACIÓN

13.5.1 MÉTODOS DE EJECUCIÓN.

1º PERFORACIÓN.

Puede hacerse por diversos sistemas, según el tipo de terreno a atravesar: rotación con corona de lidia o diamante o con tricono, retropercusión con martillo en fondo, o incluso hélice continua en terrenos flojos. Dependiendo de la estabilidad de la perforación esta puede hacerse en seco, con la ayuda de lodos bentoníticos o necesitan entubación, normalmente recuperable. El fluido de perforación puede ser aire o agua y se introduce por circulación inversa. Si es preciso atravesar primeros las capas de rellenos o suelos flojos se suele utilizar en ellas el sistema OD dejando la entubación exterior perdida.

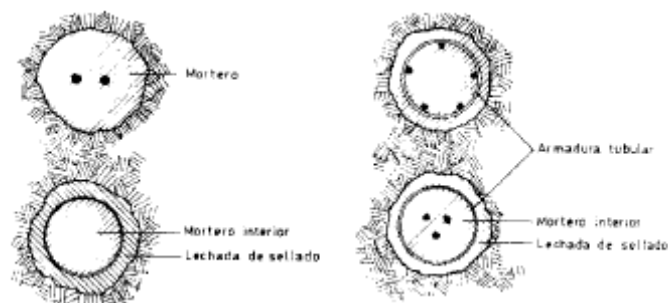
2º LIMPIEZA

La perforación se lava con agua y/o aire a presión. Se trata de una operación imprescindible para conseguir una mejor calidad.

3° COLOCACIÓN DE LA ARMADURA.

La armadura de un micropilote puede hacerse con barras, tubos o una combinación de ambas. En España la armadura habitual es el tubo de acero que además ha servido de entubación, y en su caso de guía de inyección.

Los tipos de acero a emplear dependen de las necesidades de resistencia (y de la forma de trabajo) del micropilote. Pueden usarse aceros de resistencia entre $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$ y $f_{yk} = 800 \text{ MPa}$ aunque lo más normal es el uso de aceros de 560 MPa de límite elástico.



Cap.13-Imagen 7 Distintos tipos de armadura de un micropilote (Rodríguez Ortiz, 1984)

La armadura de tubo garantiza la continuidad del micropilote en caso de corte del mortero (defecto que es muy frecuente en terrenos flojos) y además proporciona resistencia al corte y a flexión, necesarios cuando los micropilotes no trabajan solo a compresión. Además puede realizarse un pretensado del pilote mediante un cable o barra sujeta a la parte inferior del tubo y sujeta en cabeza con un pequeño gato (gato cable) o una turca (para barra).

4° PUESTA EN OBRA DEL MORTERO MEDIANTE UNA TOLVA TREMIE.

5° COLOCACIÓN DEL MORTERO.

Cuando se rellena con mortero este debe tener una resistencia $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ a 28 días. Se suelen utilizar relaciones agua/cemento bajas ($2/c = 0.5$) y arena como árido. Una dosificación típica es:

- agua (0.5), cemento (1), arena (0.5); (en peso)

Puede llegarse a valores de la relación agua/cemento algo mayores: la consistencia debe ser tal que se garantice el relleno total de la perforación, sin cortes. Pero si hay que rellenar huecos o realizar inyecciones de compensación conviene un mortero algo más magro.

El método de introducción del mortero variará según el tipo de pilote. Los volúmenes de mortero deben ser mayores que el teórico (un 40% a 80% superiores).

La inyección se realiza con lechada fluidas con resistencias características a 28 días $f_{ck} = 25$ MPa y relaciones agua/cemento $w/c = 0.5$. A veces se añade una proporción reducida de bentonita para facilitar su fluidez.

El número de fases de inyección en estos micropilotes debería ser al menos de 2 en areniscas o calizas poco fisuradas, al menos de 3 en suelos de compacidad media y 4 o más en aluviones y suelos blandos. Entre cada fase debe existir un intervalo de tiempo mínimo de 6 a 12 horas para permitir que la lechada alcance una primera resistencia. Los caudales máximos de inyección deberían ser (Bustamante, 1986):

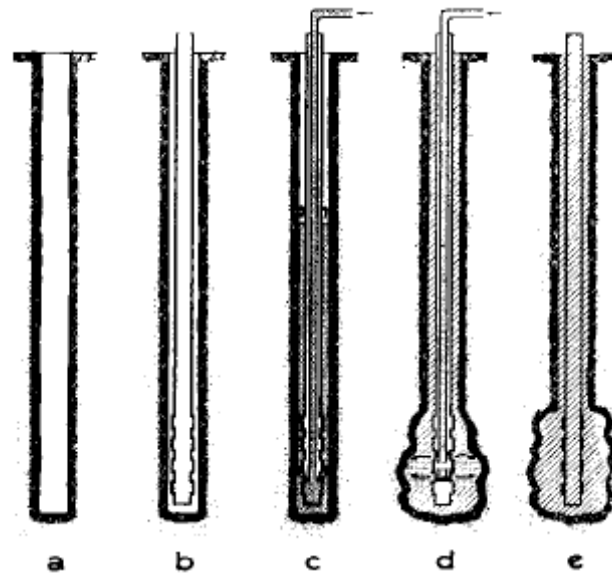
0,3 a 0,6 m³/hora para suelos cohesivos

0,8 a 1,2 m³/hora para suelos granulares

6º EXTRACCIÓN DE LA ENTUBACIÓN MANTENIENDO EL MORTERO A PRESIÓN MEDIANTE AIRE COMPRIMIDO.

7º TERMINACIÓN DEL “PALO RADICE” AÑADIENDO ALGO DE MORTERO EN CABEZA.

13.5.2 SISTEMAS DE EJECUCIÓN



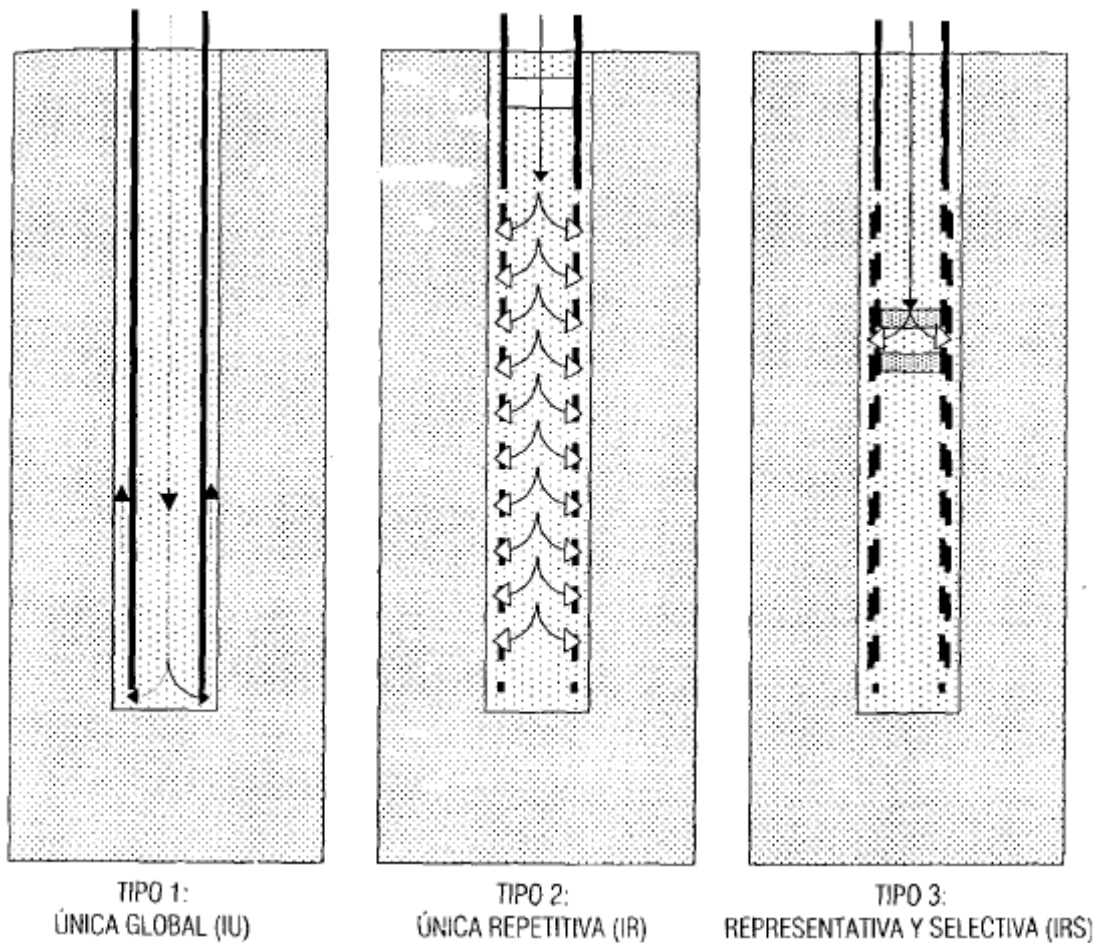
Cap.13-Imagen 8 Método de construcción de un micropilote tipo Tubfix (Romana)

La perforación puede realizarse a rotopercusión, a rotación o con barrera helicoidal, según la consistencia del terreno. El fluido de lavado puede ser aire, agua, o una suspensión de bentonita. Se introduce por el interior de la perforación y sale por la cavidad anular entre el terreno y la entubación (circular inversa). Se aumenta así el diámetro real de perforación. El terreno y entubación. Puede o no añadirse presión de aire en esa fase pero muchas veces no se hace o se aplica con los valores bajos de la presión que pueden obtenerse en obra con un compresor.

Puede omitirse la entubación si las paredes del taladro son estables. La armadura puede sustituirse por un tubo o incluso por un perfil de acero.

Por lo tanto los métodos de instalación de un micropilote pueden ser muy distintos y es preciso clasificarlos de alguna manera a fin de definir en cada caso el tipo de micropilote obtenido.

13.6 SISTEMAS DE INYECCIÓN



Cap.13-Imagen 9 Clasificación de los micropilotes según AETESS (2000)

La clasificación que se propone da por supuesto que la armadura es un tubo, lo que es normal en España, y sigue la clasificación francesa (Bustamente, 1986):

- **IGU Inyección Global Única** (“injection globale et unitaire” en francés).



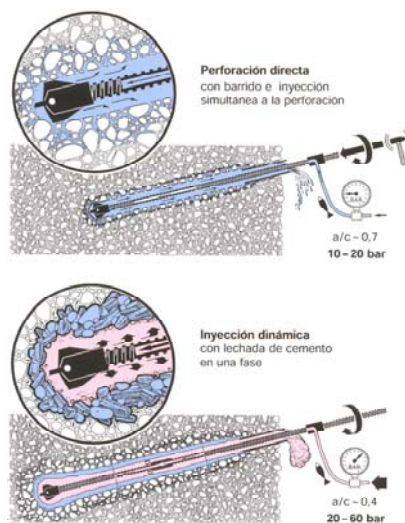
Cap.13-Imagen 10 Cortesía C. Arenas

- **IRS Inyección Repetitiva y Selectiva**, mediante la introducción de un doble obturador en el tubo manguito que permite seleccionar el intervalo de inyección al nivel deseado y repetir la operación varias veces (“injection repetitive et selective” en francés).



Cap.13-Imagen 11 Cortesía C. Arenas

- **Inyección continua – Simultanea.**



Cap.13-Imagen 12 Cortesía C. Arenas

Un parámetro muy importante es la dosificación del cemento en la lechada de inyección

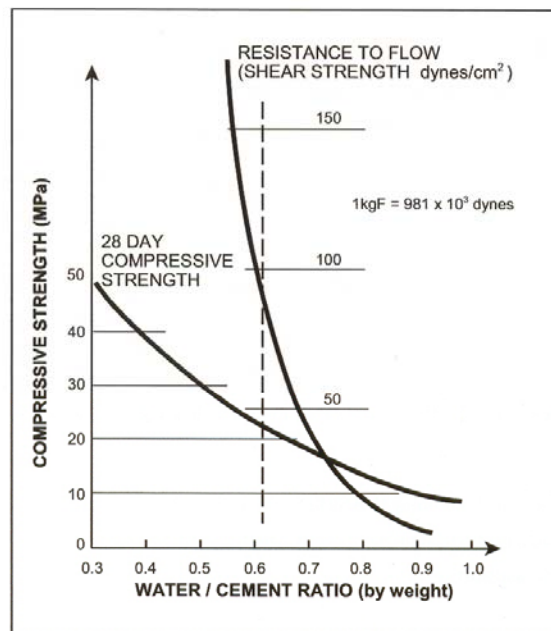


Figure 4 - 3. Effect of Water Content on Grout Compressive Strength and Flow Properties (Barley and Woodward, 1992)

Cap.13-Imagen 13 Manuel Romana

PERFORACIÓN E INYECCIÓN CON ENTUBADO.

En suelos de roca suelta, el pilote Gewi se debe instalar en perforaciones entubadas. Gracias a su reducido diámetro, éstas pueden realizarse con procedimientos de perforación altamente desarrollados para la tecnología del anclaje. Pueden ser profundizados de forma rápida, libres de vibraciones y con poco ruido. Pueden perforarse sin problemas obstáculos tales como capas, bloques o cimientos. Las perforaciones pueden ser realizadas con cualquier ángulo de inclinación desde la horizontal hasta la vertical. El entubado rígido (tabla MP002) permite no sólo perforaciones rectas, en la que puede ser instalada sin que la barra Gewi tenga flexiones, sino que sirva además para la inyección del tramo adherente y vástago del pilote. La siguiente figura muestra las distintas fases de instalación del pilote.

INYECCIÓN POSTERIOR

La inyección posterior aumenta la capacidad portante al crecer el rozamiento en suelos cohesivos. El sistema de inyección posterior desarrollado especialmente para anclajes de la barra Dywidag, se aplica igualmente para los pilotes Gewi. Por medio de una tubería anular, equipada en el tramo adherente con válvulas de inyección, puede procederse a una o varias inyecciones posteriores. El límite de la capacidad de transmisión de fuerza no se debe solamente al rozamiento máximo, sino también a la capacidad de soportar las cargas del propio suelo.

<u>DIÁMETRO DE ENTUADO PARA PILOTES GEWI</u>				
Pilote Gewi (mm)	40	50	3x40	3x50
Perforación				
mínima	requerida			
(mm)	108	133	137	160
Con equipo del pilote Gewi	Unión por manguito y con sistema de inyección posterior	Unión por manguito y con sistema de inyección posterior	Unión por manguito sin sistema de inyección posterior	Unión por manguito sin sistema de inyección posterior

Tabla MP003

13.7 CARGAS DE PRUEBA DEL PILOTE

Las pruebas de los pilotes suelen ser muy caras, por lo cual se llevan a cabo raras veces.

La carga total de un micropilote no es muy elevada, es más fácil realizar pruebas de carga que con pilotes ordinarios de más diámetro. Cuando se carga un pilote a compresión, los pilotes contiguos pueden absorber las fuerzas de reacción.

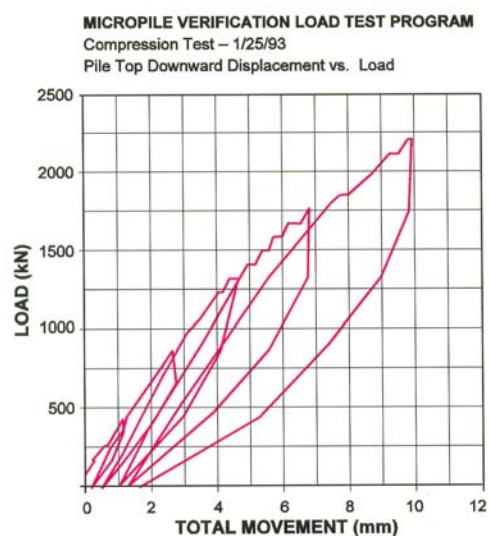


Figure 7 - 5. Pile top displacement vs. pile load curve

Cap.13-Imagen 14 Diagrama de carga y descarga, en prueba de carga (Cortesía C. Arenas)

En un ensayo a tracción, la fuerza de ensayo puede ser aplicada directamente al suelo contiguo siempre que se tenga la seguridad de que las fuerzas de reacción no influyen en el rozamiento a lo largo del pilote. Los desplazamientos de la cabeza del pilote bajo carga se miden en cada caso con respecto a una viga atravesada, que se apoya fuera de la zona de influencia de la carga de ensayo. El comportamiento portante de un pilote Gewi puede valorarse muy bien comparando la curva de carga-asiento del pilote a compresión con la carga-elevación del pilote a tracción en el mismo suelo

En el pilote a tracción, la columna de mortero de cemento no actúa como en el caso del pilote a compresión aunque no se la tiene en cuenta en el cálculo. Por ello la elevación de la cabeza del pilote es mayor. Sorprende la comprobación de que la diferencia en el comportamiento portante de un pilote individual y el de un pilote de un grupo de 5 es pequeña. Una de las experiencias más interesantes del pilote Gewi es el hecho, de que en las aplicaciones realizadas hasta el presente con pilote Gewi \odot 50 mm., el asiento total bajo la carga de trabajo se mantuvo por debajo de 10mm.

**Cap.13-Imagen 15 Pruebas de carga (Cortesía C. Arenas)**

13.8 VENTAJAS

El pilote Gewi es en realidad un pilote inyectado a presión de pequeños tamaño. Gracias a su construcción de forma compacta, resultan las siguientes ventajas y aplicaciones.

- Rosca continua y roscabilidad a lo largo de toda la longitud de la barra.

Aplicación:

- Unión de tramos cortos en condiciones de instalación restringidas, por ejemplo bajo puentes o en recintos.
- Conexión a obras existentes y elementos prefabricados mediante tuercas y anclajes finales, en carriles de grúas, postes para funiculares y postes de alta tensión.

- Núcleo de acero continuo con características de resistencia garantizadas.

Aplicación:

- Para resistir fuerzas de tracción y compresión (empujes de viento, cargas dinámicas) en cimentaciones o las debidas a variaciones de los niveles de agua.
- Para resistir fuerzas a tracción puras, por ejemplo para el anclaje de cables tirantes.

- Pequeño diámetro de perforación.

Aplicación:

- Utilización de perforadores rotativas de alto rendimiento y compactas, que permiten perforar a través de roca. Por ejemplo para aumentar la capacidad resistente de bandas de cimentación, o en el caso de cajones empotrados.
- Para trabajar en plataformas muy pequeñas (por ejemplo entre carriles o pendientes muy empinadas). La utilización de Gewi incluso con cargas elevadas es recomendable en aquellos casos, en los que no tienen acceso grandes máquinas para muros pantalla y máquinas para pilotes perforados, o en obras existentes que no pueden ser retirados de la zona de trabajo, por ejemplo en el caso de vías de ferrocarril y cimentaciones.

- Los pilotes pueden colocarse con cualquier inclinación.

Aplicación:

- Para agrupar pilotes en haces en la superestructura, por lo que con frecuencia pueden prescindirse de las placas de cabeza de los pilotes.
- Para soportar grandes cargas horizontales, por ejemplo en zanjas inyectadas.

- Inyección del pilote con mortero de cemento.

Aplicación:

- Consolidación del suelo del entorno. Se produce este efecto con pilotes que están próximos a muros, pilares de apoyo, caballetes, etc. Por ejemplo para el aseguramiento de estructuras subterráneas, antes de la excavación subterránea, antes de la excavación, por ejemplo de túneles.

- Posibilidad de inyección posterior del pilote.

Aplicación:

- Seguridad de poder soportar la carga incluso con suelos cohesivos semisólidos.

- Pequeños asentamientos.

Aplicación:

- En todas las obras sensibles al asentamiento, por ejemplo en estructuras reticulares.

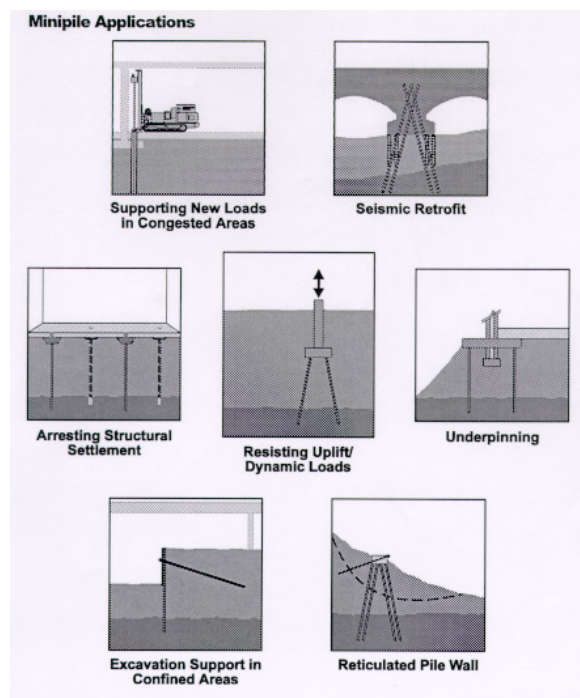
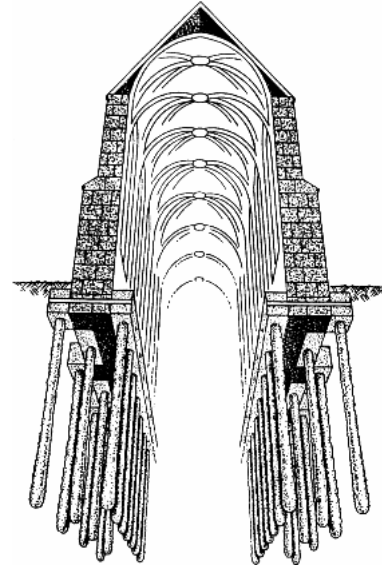
Las ventajas indicadas del pilote permiten que tengan campos de aplicación del tipo más diverso.

13.9 INCONVENIENTES

- La relación entre el coste y la carga admitida es mayor en un micropilote que es un pilote.
- Muchos proceso de cálculo son empíricos y sólo se pueden contrastar con pruebas de carga si se pretende aprovechar al máximo la resistencia del micropilote.
- La calidad depende mucho de que el proceso de ejecución sea riguroso.

13.10 APLICACIONES

- micropilotes en nuevas cimentaciones
- recalces
- pantallas
- pantallas ancladas
- micropilotes en losas de subpresión
- pilotes pasivos en puertos
- apeo de un edificio
- realce y nueva cimentación de un puente
- grupo de micropilotes como pila de puente
- micropilotes en zapatas de muros
- realce de una zapata corrida



13.11 PARÁMETROS DE CÁLCULO

14.5.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

No siempre se disponen de los datos necesarios por Ensayos Directos. Si no los hay se asignan desde los bancos de datos o desde el conocimiento del suelo. Es imprescindible la justificación desde el cálculo. Se debe huir de cálculos sofisticados a partir de programas informáticos, al menos en los tanteos previos.

Se debe modelizar el terreno con los siguientes parámetros.

- POTENCIA DE CADA CAPA
- CLASIFICACIÓN: GRANULAR, COHESIVO O DE TRANSICIÓN.
- POSICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO
- SUELO SECO, HUMEDO, SATURADO O SUMERGIDO.
- VALOR ASIGNADO DEL SPT MEDIO
- HUMEDAD Y DENSIDAD SECA
- ANGULO DE ROZAMIENTO Y COHESIÓN.

Si no conocemos como es habitual el peso específico de las partículas sólidas, se recomienda tomar:

$$S = 2.7 \text{ T/M}^3$$

Con estos datos calcularemos las densidades antes citadas en cada capa.

El resto de los parámetros geotécnicos para el uso de cimentaciones profundas de los datos citados son en general función del ángulo de rozamiento adoptado, por lo que se deben extremar las precauciones al adoptar este parámetro.

14.5.2 MÉTODO TRADICIONAL PARA “PALI RADICE”

El método de cálculo propuesto por Lizzi (1985) es el siguiente:

$$P_{ult} = \pi D L K I$$

donde:

P_{ult} = carga última del palo radice a compresión (no incluye coeficientes de seguridad).

D = diámetro nominal (de perforación).

L = longitud.

K = coeficiente que representa el rozamiento por el fuste.

I = coeficiente adimensional que depende del diámetro.

TABLA 1. COEFICIENTES DE LA FÓRMULA DE LIZZI (1985)

SUELO	K (Kpa)	DIÁMETRO (cm)	I
Blando	50	10	1.00
Suelto	100	15	0.90
De compactad media	150	20	0.85
Muy compacto, grava, arena	200	25	0.80

Valor de la resistencia por el fuste K

Valor del coeficiente I

Con el método se desprecia la resistencia por la punta y la resistencia por el fuste utilizada puede exceder del valor máximo que suele admitirse para los pilotes convencionales, que es de 100 kpa. La diferencia es achacada por Lizzi al contacto estrecho entre pilote y terreno y al diámetro real, mayor que el nominal. Con este método se ha calculado la inmensa mayoría de los “pali Radice”.

14.5.3 MÉTODO DE BUSTAMANTE

Bustamante (1980) ha propuesto un método “para el cálculo de los anclajes y micropilotes inyectados”. Seguiremos la referencia más fácil de encontrar en español (Bustamante, 1986), cuyos ábacos han sido confirmados nuevamente por Bustamante (2003).

El método se baso en el ensayo de numerosos anclajes y micropilotes, se refiere a las categorías de inyección IGU (una fase única) o IRS (varias fases).

La carga límite de un micropilote (como la de un pilote) a compresión vale:

$$Q_l = Q_p + Q_s$$

donde:

Q_l = carga límite en cabeza (no incluye coeficientes de seguridad)

Q_p = resistencia por la punta límite

Q_s = resistencia límite por el fuste

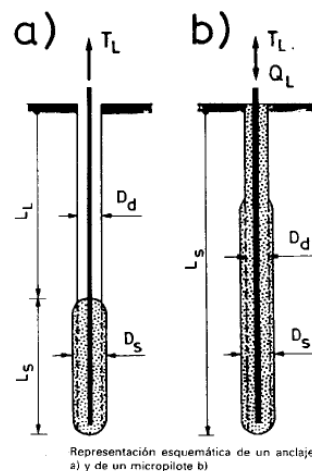
$$Q_s = \sum \pi D_i L_i q_{si}$$

donde para cada capa i (véase la figura posterior)

Q_s = diámetro medio real ($D_{si} = \alpha D_{ni}$)

L_i = longitud de la capa

q_{si} = resistencia unitaria por el fuste



Cap.13-Imagen 16 Nomenclatura para el cálculo por el método de BUSTAMANTE (Romana)

El diámetro real puede estimarse multiplicando el diámetro nominal de perforación por un coeficiente α que se reproduce en el cuadro siguiente.

SUELOS	COEFICIENTE "		Cantidad mínima de lechada aconsejada V _s
	IRS *	IGU **	
Grava	1,8 a 1,8	1,3 a 1,4	1,5 V _s
Grava arenosa	1,6 a 1,8	1,2 a 1,4	1,5 V _s
Arena en grava	1,5 a 1,6	1,2 a 1,3	1,5 V _s
Arena gruesa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 V _s
Arena mediana	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 V _s
Arena fina	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 V _s
Arena limosa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 a 2,0 V _s para IRS 1,5 V _s para IGU
Limo	1,4 a 1,6	1,1 a 1,2	2,0 V _s para IRS 1,5 V _s para IGU
Arcilla	1,8 a 2,0		2,5 a 3,0 V _s para IRS 1,5 a 2,0 V _s para IGU
Marga	1,8	1,1 a 1,2	1,5 a 2,0 V _s para capa compacta
Marga calcárea	1,8	1,1 a 1,2	
Creta alterada o fragmentada	1,8	1,1 a 1,2	2,0 a 6,0 V _s ó más si la capa está fracturada
Roca alterada o fragmentada	1,2 a 1,8	1,1	1,1 a 1,5 V _s si la capa está finamente fisurada 2,0 ó más si la capa está fracturada

V_s: Volumen del bulbo de sellado
 IRS: Inyección Repetitiva y Selectiva
 IGU: Inyección Global Unificada

Los valores de la resistencia unitaria por el fuste q_s pueden tomarse de las figuras que aparecen el Documento que Bustamante público. Por último, para aplicar el método de Bustamante es preciso que efectivamente se realice una inyección a presión y que los volúmenes teóricos del bulbo previsto V_s. Debe inyectarse entre un 50 % un 100% más sobre el volumen teórico para compensar las pérdidas de lechada por exudación en el terreno, las “pérdidas ligadas a la técnica de inyección” y para poder “tratar el suelo en la inmediata periferia del bulbo”.

En cuanto a la resistencia por la punta puede calcularse por métodos convencionales o puede calcularse por la regla simplificada:

$$Q_p = 0.15 Q_s$$

El coeficiente de seguridad de seguridad

14.5.3 MÉTODOS CONVENCIONALES

En Rigor la resistencia de un micropilote vale:

$$P_N = \frac{1}{F_1} (\pi D q_r \frac{1}{F_2} + \frac{\pi D^2}{4} q_p \frac{1}{F_3})$$

Donde:

P_N = carga nominal admisible del micropilote

- F_1 = factor de mayoración de cargas
- $F_2 F_3$ = coeficientes de seguridad de minoración de resistencias, fuste y punta
- D = diámetro nominal (de perforación)
- L = longitud
- q_r = rozamiento por el fuste
- q_p = carga de hundimiento por la punta

Los valores de los coeficientes de seguridad parciales propuestos por Oteo (2001) son

F_1	RESPONSABILIDAD	IMPORTANCIA ECONÓMICA
1.25	Poca	Poca
1.40	Poca	Bastante
1.50	Grande	Grande

Tabla 1 Valores del Coeficiente F_1 (Oteo, 2001)

Nota. La variación total de F_1 es 1.20 -1.6.

$F_2 = 1.50$ a 2 $F_3 = 3$ a 4

En realidad la resistencia por la punta es mucho menor que la resistencia por el fuste y en pilotes largos puede no llegar a movilizarse. Por lo tanto puede despreciarse

La resistencia del fuste admisible en cada estrato vale:

$$q_{sia} = \frac{c_i}{F_c} + \frac{(\sigma'_{vio} + \sigma_{iny}) \text{tg } \varphi_i}{F \varphi}$$

donde:

- q_{sia} = resistencia admisible en el estrato i
- c_i = cohesión efectiva en el estrato i
- σ'_{vio} = presión vertical efectiva en el estrato i antes de la construcción del micropilote
- σ_{iny} = sobrepresión de inyección efectiva en el estrato i
- φ_i = ángulo de rozamiento efectivo en el estrato i .
- F_φ = coeficiente de seguridad parcial de minoración del rozamiento $\text{tg } \varphi'$

Y la resistencia del micropilote vale

$$P_n = \frac{1}{F_1} \sum \Pi D L_i q_{sia}$$

En términos generales pueden adoptarse los siguientes valores de los coeficientes parciales de seguridad para cohesión y rozamiento (Oteo, 2003)

$$F_c = 1.25 \text{ a } 1.60$$

$$F_\phi = 1.25 \text{ a } 1.35$$

En la práctica el valor de “c” será muy bajo tanto en arenas como en arcillas normalmente consolidadas, y en cambio será el más significativo para los tramos de micropilote que atraviesen arcillas muy preconsolidadas y/o rocas.

Si no se dispone de información geotécnica precisa pueden utilizarse los ábacos de Bustamante para estimar q_{si} (que no incluye coeficientes parciales de seguridad).

14.5.4 MÉTODO APLICADO POR DYWIDAG (C. ARENAS)

CAPACIDAD PORTANTE INTERIOR.

Es relativamente fácil de fijar, dado que se determina por rotura del pilote. La calidad del acero, de la que se deduce la capacidad portante, se conoce:

$$\text{Límite elástico} \quad f_x = 420(500) \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistencia a tracción} \quad f_s = 500(550) \text{ N/mm}^2$$

A partir de estos valores pueden determinarse las cargas de trabajo (MP002).

Para estar del lado de la seguridad, el área de la sección transversal del mortero, que une al acero con el terreno no se tiene en cuenta para el cálculo de pilotes que trabajan a compresión, en tanto se utilizan únicamente los diámetros de perforación normalizados para el pilote Gewi. Es decir que tanto para pilotes a compresión como a tracción solo se tiene en cuenta al acero para la determinación de las cargas de trabajo permisibles.

Las cargas estructurales se deducen a partir de las fórmulas recogidas en el Artículo 60 de la EH-91, sobre "Soportes Compuestos".

$$1,2 \cdot N_d = (0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd}) + (A_s \cdot f_{yd}) + (A_p \cdot f_{ydt})$$

N_d= Esfuerzo axial de cálculo

A_c= Sección neta de hormigón

A_s= Sección total de las barras longitudinales

A_p= Sección de la armadura tubular

f_{ydt}= Resistencia de cálculo de la armadura tubular, en el límite elástico

f_{yd}= Resistencia de cálculo de las barras longitudinales

f_{cd}= Resistencia de cálculo de la lechada

(Factores de seguridad: f_{yd}/1.15 , f_{cd}/1.5)

$$N_{servicio} = N_d / 1,6$$

CAPACIDAD PORTANTE EXTERIOR

Se determina por el fallo del terreno en que se apoya el pilote. Antes de la realización del pilote es preciso analizar el suelo a suficiente profundidad por debajo del extremo del pilote. En suelos no cohesivos, las características de la resistencia se determinan por medio de sondeos (sondeo a presión o sondeo por percusión) y se determina la distribución de la granulometría de las capas de suelo. En suelos cohesivos deber determinarse el coeficiente de consistencia, la resistencia a la compresión uniaxial y la resistencia al cortante de las capas de suelo.

Una vez conocidas las capas presentes, puede fijarse el valor del rozamiento entre el cuerpo inyectado de mortero de cemento y el suelo del entorno. La tabla MP004 muestra coeficientes de rozamiento límites para los pilotes inyectados, cuando no se efectúan pruebas del pilote.

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO PARA PILOTES DE PERFORACIÓN PEQUEÑA

Tipo de suelos	Pilote a compresión	Pilote a tracción
	MN/m ²	MN/m ²
Grava mediana y grava gruesa	0,2	0,1
Arena y arena de grava	0,15	0,08
Suelo cohesivo	0,1	0,05
Tabla	MP004	

Dado que según la norma DIN 4128 estos valores son muy bajos, se recomienda realizar pruebas de carga.

TRACCIÓN O COMPRESIÓN SIMPLE

$$Tl = \pi * D_s * L_s * q_s$$

donde:

Tl = Tracción o compresión límite.

D_s= Diámetro de sellado, del anclaje o micropilote.

L_s= Longitud de sellado

Q_s= Fricción lateral.

ESTABILIDAD

Es muy importante tener en cuenta la resistencia al pandeo. Un pilote con una desviación dada debe tener un lecho capaz de soportar una carga de trabajo. Los valores del suelo a tener en cuenta son:

ASIENTOS

Los asientos del pilote pueden ser elásticos y permanentes. La experiencia muestra que los asentamientos permanentes son pequeños y son debidos a la transferencia de las

cargas por rozamiento a la superficie de contacto, incluso con cargas próximas a las críticas. La magnitud de los asentamientos elásticos del pilote depende de su longitud, de la adherencia entre la barra Gewi y el mortero de cemento y de la fuerza transmitida al suelo en exceso sobre el cálculo según la longitud de adherencia. Bajo condiciones desfavorables y con pleno aprovechamiento del acero, la compresión elástica de la barra de acero de las calidades indicadas tendría como máximo, un acortamiento de 1,17 mm/m.m., cuando las solicitaciones inciden en la zona sobrecargada de la barra.

PILOTES GEWI CON CARGAS PREVIAS

Si una cimentación con pilotes Gewi va a soportar una estructura que tendrá grandes asentamientos, se ofrece la simple posibilidad de aplicar una carga previa al pilote contra la obra para impedir al mínimo el asentamiento posterior o incluso elevar ligeramente la obra. La tuerca de anclaje efectúa esta carga previa en cuanto se aplica la fuerza del gato. La carga previa se puede conseguir por escalones, para que los pilotes contiguos participen en soportar también la carga durante el proceso de elevación.

DIMENSIONADO DE PILOTES GEWI

La longitud comercial máxima de los tubos suele ser de 9 m, para facilitar un transporte por medios convencionales. Si se desea construir micropilotes de más longitud (o en trozos más pequeños) la unión suele hacerse por rosca, lo que es cómodo, pero debilita la sección de acero, especialmente a flexión. En esos casos la unión correcta incluye un manguito exterior de refuerzo.

Bermejo (2203) ha realizado ensayos, a flexión y a esfuerzo cortante, de tubos de diámetro exterior 88.9 mm y espesor 7 mm., comparando la resistencia de tubos continuos con la de tubos unidos con rosca macho-hembra y con la de tubos unidos con un manguito exterior de diámetro exterior 102 mm y espesor 7 mm las cargas de rotura (a flexión o a cortante) de los tubos con empalme por manguito es del mismo orden, o ligeramente superior, que la del tubo continuo, mientras que en el caso de los tubos con unión a rosca macho-hembra las cargas de rotura son del orden del 50 % de las de los tubos con manguito.

13.12 PROYECTO DE PILOTAJE

1. DEFINICIÓN DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.
2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS
3. CÁLCULO DEL TOPE ESTRUCTURAL DEL PILOTE.
4. DEFINICIÓN EN PLANTA DE LA CIMENTACIÓN.
5. SELECCIÓN DEL TIPO DE PILOTE.
6. CARGA DE HUNDIMIENTO. LONGITUD TOTAL.
7. COMPROBACIÓN DE ASIENTOS.
8. COMPROBACIÓN EFECTO GRUPO.
9. COMPROBACIÓN DE EFECTOS ADICIONALES.
10. DIMENSIONADO DE ARMADURAS DEL PILOTE.
11. DIMENSIONADO Y ARMADO DE ELEMENTOS
12. COMPLEMENTARIOS: ENCEPADOS Y RIOSTRAS.

C.13 BIBLIOGRAFÍA

Rock Support and Reinforcement .

Practice in Mining

Ernesto Villescusa

Rotterdam, 1999, Edit. Brookfield

Manual de Anclajes en Ingeniería Civil

Roberto Ucar Navarro

Madrid, 2004, Edit. U.D.Proyectos

IGNEO TÚNELES

López Jimenos, Carlos

Ed. Ingeniería de Túneles, 1998

MANUAL DE TÉCNICAS DE MEJORA DEL TERRENO

Bielza Feliz, Ana

Ed. U.D. Proyectos.

Mining & Construction

Revista internacional sobre minería

Nº1 2004

Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes

Carlos López Jimeno

Madrid 1999, Edit. Entorno Gráfico.

Revista Ingeopres.

TCM. Técnicas de Construcción y Minería

Revista del Grupo Atlas Copco

Método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados.

Bustamante M.

Apuntes sobre pilotes

Romana, Manuel., 2003