



Cimentación/recalce



Anclaje de pantallas



Estabilización de taludes



## Micropilotes TITAN

**La innovación se impone.**  
Proyecto, diseño y ejecución.

Homologación oficial de idoneidad técnica Z-34.14-209



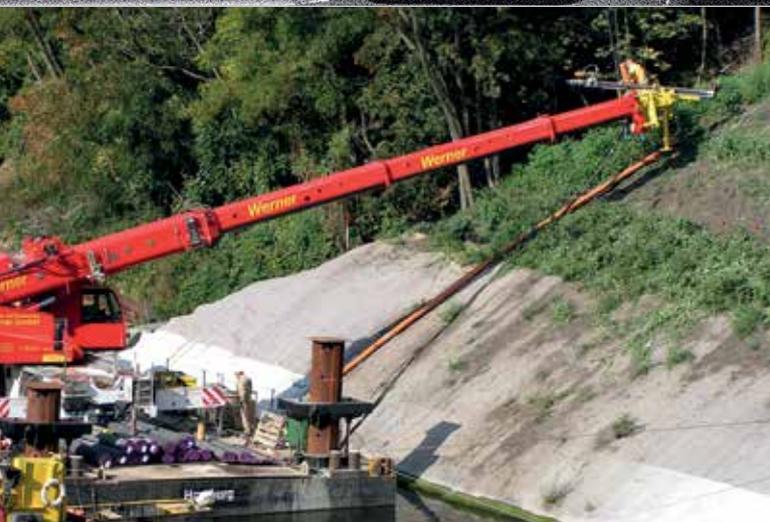
**Cimentación /  
recalce**

Sujeción de losas de  
subpresión mediante  
micropilotes TITAN 40/20  
Casa de la Cultura  
Westerhaar,  
Países Bajos



**Anclaje**

Retrofijación de pantalla  
con micropilotes TITAN  
Dresde, Alemania



**Estabilización de taludes**

Micropilotes  
TITAN 30/11 para  
estabilización de un  
desmonte, obra ARGE  
Teltowkanal  
Berlin, Alemania

Bulones de 12 m de  
longitud, perforación con  
deslizadera fijada a brazo  
de grúa telescópico sobre  
un pontón.



## Sobre este catálogo.

Mediante el presente catálogo usted dispone de toda la información básica sobre nuestros micropilotes TITAN, con explicaciones detalladas de lastécnicas de aplicación. Estos elementos se usan en el campo de la geotecnia de diversas maneras:

- como micro a compresión en cimentaciones,
- como micro a tracción en retrofijaciones,
- para estabilizar taludes,
- bajo cargas cíclicas con cambio de signo.

El apartado "Asistencia para proyectar" repasa someramente las normas a satisfacer y las comprobaciones requeridas mediante ejemplos de diseño. El anexo documenta una serie de ensayos básicos y un inventario tabular de todos los elementos del sistema que se pueden suministrar.

Puede obtener información detallada sobre las diversas posibilidades de aplicación de los micropilotes TITAN en los respectivos catálogos específicos de aplicación de ISCHEBECK, en la dirección web [www.ischebeck.de](http://www.ischebeck.de) o bien contactando con el comercial responsable de su área.

1.	Modelo original	4
2.	Espectro de aplicación	6
3.	Micropilote TITAN en detalle	8
3.1	Barra de acero con tres funciones	8
3.2	Bocas de perforación perdidas	10
3.3	Manguito de empalme	11
3.4	Centrador	11
3.5	Variantes de disposición en cabeza	11
4.	Técnica de ejecución	12
4.1	Anclaje en dos fases	12
4.2	Resultado	14
5.	Maquinaria	16
6.	Asistencia para proyectar	20
6.1	Diseño como micropilote	20
6.1.1	Comprobación de la resistencia interna	21
6.1.2	Comprobación de la resistencia externa	22
6.1.3	Comprobación a pandeo (piezas a compresión)	24
6.1.4	Comprobación en servicio	26
6.2	Ejemplos de diseño	28
6.3	Comprobación de la durabilidad (protección frente a la corrosión)	32
6.4	Obtención del volumen teórico necesario de cemento	34
7.	Anexo	36
7.1	Ensayos básicos y comprobaciones	36
7.1.1	Estabilidad direccional	36
7.1.2	Transmisión de carga	37
7.1.3	Diámetro del cuerpo de inyección	38
7.1.4	Adherencia y anchura de fisura	39
7.1.5	Ampliación efectiva del diámetro de perforación	40
7.2	Normas	42
7.3	Datos técnicos	43

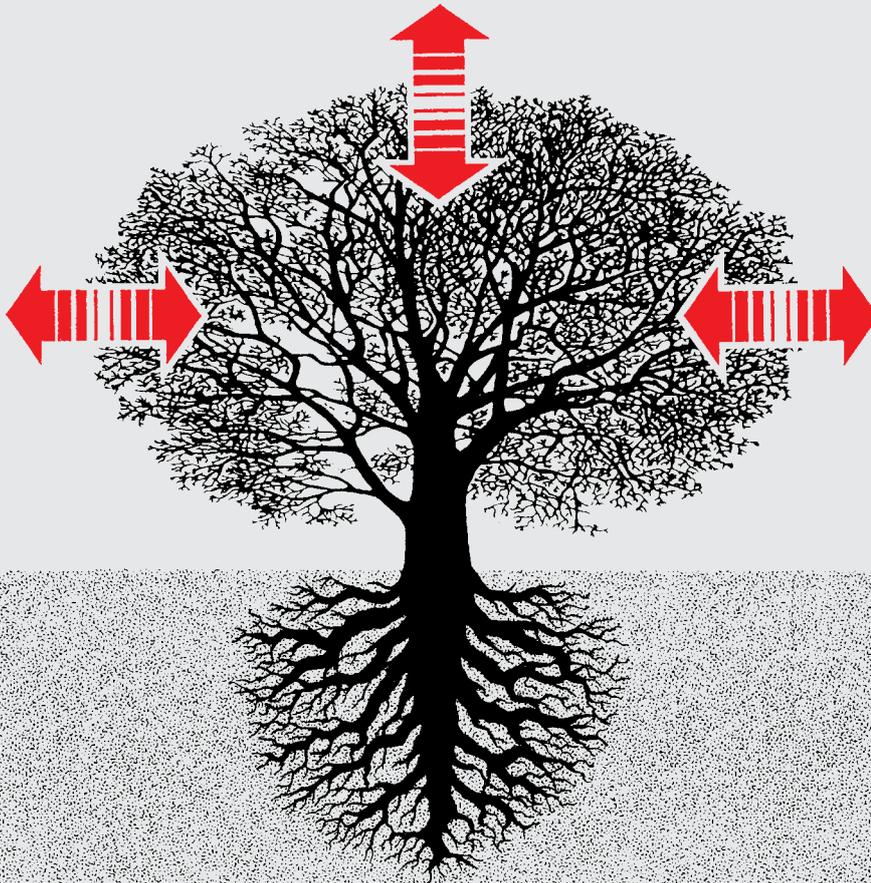


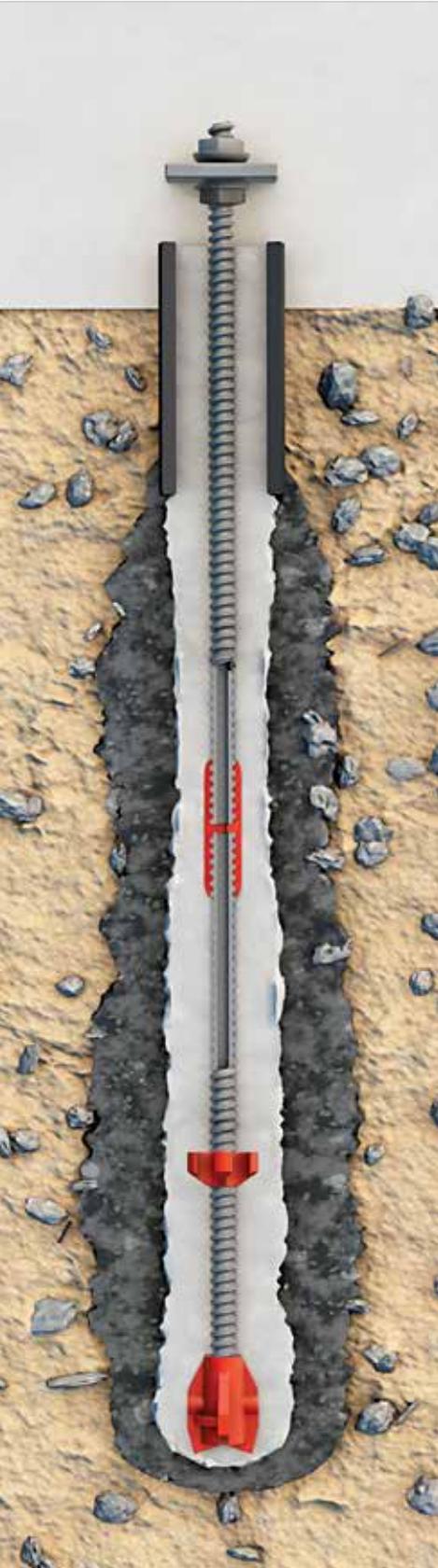
# 1. Modelo original

## Las raíces de un árbol- un modelo a seguir.

La imagen de un árbol robusto nos ha inspirado. Está soportado por una red de raíces grandes y pequeñas, que lo anclan al suelo sin necesidad de un cemento cementicio. Las raíces soportan las acciones verticales y horizontales que actúan sobre el árbol, tanto estáticas como dinámicas, momentos o impactos, y las transmiten al suelo. El árbol soporta así el viento, la nieve o los sismos. El conjunto de raíces se encastra en el suelo y forma un todo monolítico (bulbo de raíces).

Se crea así un material mixto (compuesto). Las raíces se expanden bajo el árbol según un "patrón de diseño" desconocido hasta ahora para nosotros. De esta imagen del árbol hemos aprendido a construir usando el suelo de forma racional, mejorándolo y reforzándolo. El Dr. F. Lizzi ya tuvo este pensamiento innovador en la técnica de cimentaciones en 1952 y llamó a sus micropilotes "pilotes raíz" (Pali Radice).





### **Micropilotes TITAN - nuestro sistema.**

En los micropilotes TITAN, el miembroportante es una barra de acero roscada que sirve como barra de perforación perdida, conducto de inyección y armadura (3 en 1). Contrariamente al conocido procedimiento según la norma DIN 4128 aplicado hasta ahora, según el cual en taladros de perforación en suelos sueltos o rocas disgregadas debe disponerse una camisa (entubación/casing) para proteger las paredes frente a desprendimientos, con el sistema Ischebeck se estabilizan dichas paredes de perforación mediante el fluido (lechada) de inyección - la camisa se vuelve pues innecesaria. De este modo se ahorran pasos en el procedimiento de perforación, lo que en la mayoría de casos conlleva rendimientos mayores en comparación con los sistemas con entubación.

Otra ventaja es la simultaneidad intrínseca al sistema de la perforación con lechada estabilizante y la inyección dinámica de suspensión cementicia.

Al carecer de entubado, se forma una incrustación natural del bulbo de inyección en el suelo circundante. Gracias al elevado rozamiento por fuste, los asentos en cabeza de micropilotes pasivos son en general del orden de milímetros, comparables en magnitud a los anclajes de cable pretensados descritos en la norma EN 1537. De este modo, los micropilotes de inyección TITAN, con su sistema particular de transmisión de cargas, son una alternativa funcional y económica a los anclajes permanentes pretensados.

Según la aplicación de que se trate, los pilotes de inyección se denominarán micropilotes, anclajes o bulones.

Incrustación continua del bulbo de inyección en el suelo



---

Los micropilotes TITAN cumplen con la norma europea EN 14199 "Micropilotes" (+DIN SPEC 18539) El suplemento nacional, la DIN y están regulados en Alemania a través de la homologación oficial de idoneidad técnica Z-34.14-209 otorgada por el Instituto Alemán de la Construcción (DIBt).

---

## 2. Campos de aplicación

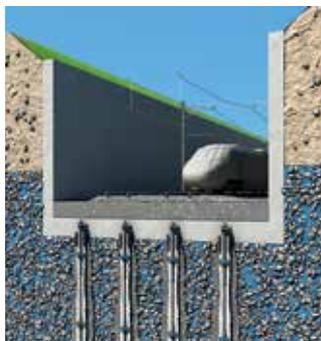
### Micropilotes

para cimentaciones /  
recalces



Micropilote TITAN según EN 14199 para cimentaciones/recalces. Transmisión de cargas de compresión y tracción hasta estratos profundos de suelo competente.

- Nuevas construcciones
- Reutilización de antiguas edificaciones
- Rehabilitación para mitigación de daños (p.ej. por socavación, etc)
- Sujeción losas de subpresión



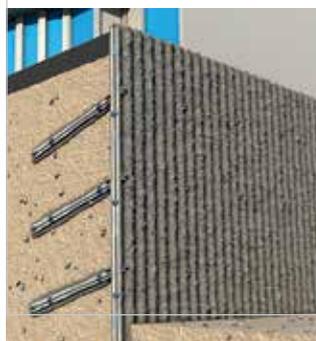
### Micropilotes

para anclajes de pantallas



Micropilote TITAN según EN 14199 para anclajes de retrofijación. Transmisión de cargas de tracción hasta estratos profundos de suelo competente.

- Zanjas
- Retrofijación de pantallas/tablestacado
- Fijación de muros
- Aplicación temporal y permanente
- Alternativa a anclajes de cable pretensados



### Bulones/Soil Nailing

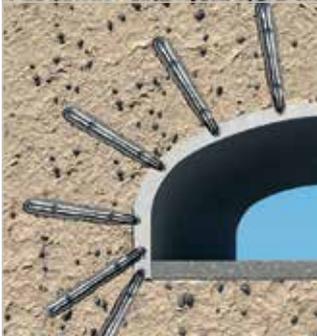


Micropilote TITAN como bulón/soil nail según EN 14490 para aumentar la resistencia a tracción y cortante.

- Sujeción frente a desprendimientos
- Sujeción de taludes
- Tierra armada
- Fijación de geomallas

> encontrará más información sobre los campos de aplicación de los micropilotes TITAN en los catálogos específicos de Ischebeck o en la siguiente dirección web:  
[www.ischebeck.de](http://www.ischebeck.de)

## Ejecución de túneles



Micropilotes TITAN en la construcción de túneles.

- Sujeción de secciones
- Bulonado de las secciones de túnel
- Paraguas estabilizador
- Anclajes IQ, con inyección de resinas especiales

## Aplicaciones especiales



- **Drill Drain:**  
Micropilote TITAN como drenaje horizontal con un cuerpo de inyección especial poroso para permitir una evacuación segura de agua a la canalización correspondiente
- **Monojet:**  
Micropilote TITAN siguiendo el principio del "jet-grouting", con presiones de hasta 240 bar.
- **Geotermia:**  
Micropilote TITAN como micropilote estructural y como pilote geotérmico



### Ventajas en el diseño

- Sistema fiable
- Diseño rápido y seguro
- Aplicación versátil - también en condiciones de contorno difíciles
- Aplicable en todo tipo de suelos

### Ventajas en la puesta en obra

- Procedimiento de construcción único, independiente de la aplicación
- Se necesita poco espacio para la ejecución
- Gran rendimiento en obra
- Independiente de cambios en los estratos de suelo
- No se necesita un parque de maquinaria adicional

### Ventajas para el promotor

- Sin grandes costes debidos a pruebas de control
- Protección duradera frente a la corrosión
- Gran seguridad durante la ejecución
- Sin grandes afecciones al entorno
- Sistema económico

### 3. Micropilote de inyección

#### TITAN en detalle

##### 3.1 Barra de acero con tres funciones

- Perforación directa sin entubación/camisa
- Ejecución en menos fases = mayor eficiencia en el trabajo
- Gran seguridad durante la ejecución

Miembro portante de acero funciona como:

- Barra de armado

- Tubo de inyección

- Barra de perforación



##### 3.1.1 Función barra de armado

Miembro portante de acero estructural de grano fino

##### Normativa

El miembro portante de acero es, según se define en la norma europea EN 14199, apartado 6.2.2, una barra de acero para armado de micropilotes de hormigón y debe cumplir asimismo con los requisitos de la norma EN 10080\*.

El Eurocódigo 2 (EN 1992) y la norma alemana DIN 488 dividen los aceros de armado en dos y tres clases respectivamente. Para la clase B se exige lo siguiente:

- Límite elástico  $f_{y,k}$ : 400-600 N/mm<sup>2</sup>
- Relación  $(f_t/f_y)_k$  y  $R_m/R_e \geq 1,08$
- Deformación total bajo carga máxima  $\epsilon_{uk}$  y  $A_{gt} \geq 5,0 \%$

##### Acero estructural de grano fino S 460 NH según EN 10210

El acero de grano fino puede soportar mayores cargas que el acero estándar a igualdad de dimensiones. Asimismo se consigue disponer de un acero de armado con mayor tenacidad y ductilidad, con un alto valor de resiliencia. La resistencia al impacto de este acero alcanza como mínimo valores de  $W \geq 40$  Joule/cm<sup>2</sup> (a -20 °C) para nuestro acero, claramente por encima de los valores típicos de acero estructural pasivo y activo, con 27 y 15 Joule/cm<sup>2</sup> (a -20 °C) respectivamente. El alto valor de resiliencia implica un riesgo mínimo de daños iniciales en el material debido a la perforación por rotoperusión. Los requisitos exigibles al acero pasivo de hormigón armado quedan satisfechos incluso después de la operación de perforación. El acero de grano fino es además insensible a la corrosión interna por fisuras.

##### Ductilidad - fracaso no súbito del material

Gracias a su gran ductilidad, el acero reacciona frente a sobrecargas con grandes deformaciones uniformes. La carga permanece constante. En un caso extremo de eventuales sobrecargas muy elevadas, habrá grandes deformaciones previamente al fracaso del elemento estructural. Un fracaso súbito queda así descartado.

##### Protección duradera frente a la corrosión

El recubrimiento debido al cuerpo de inyección cementicio proporciona una protección duradera frente a la corrosión (ver página 32).

Las siguientes medidas adicionales pueden elevar aún más el grado de protección frente a la corrosión en casos de especial exposición/agresividad:

- Galvanizado en caliente
- Capa duplex
- Acero inox. (ver 6.3, comprobación por durabilidad)

\* Nota: la DIN EN 10080 se ha derogado en Alemania y se ha sustituido por la norma DIN 488.

\*\* EN 10210: Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino

### 3.1.2 Función tubo de inyección

Miembro portante de acero como tubo en lugar de una barra maciza

#### No es necesario el encamisado / entubación adicional = menor trabajo

El miembro portante de acero se perfora directamente por rotopercusión hasta la profundidad final. La lechada inicial, inyectada a través de las toberas de la boca de perforación, estabiliza automáticamente las paredes del taladro, de modo que la fase de encamisado se hace innecesaria. Las fases tradicionales de colocación a posteriori de la armadura y recuperación de la camisa desaparecen también.

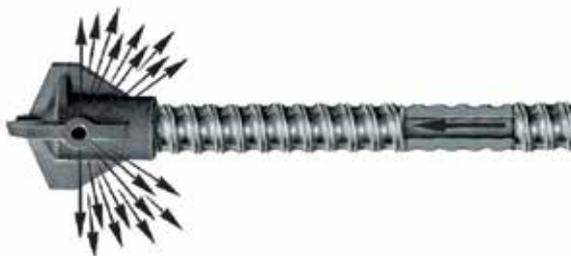
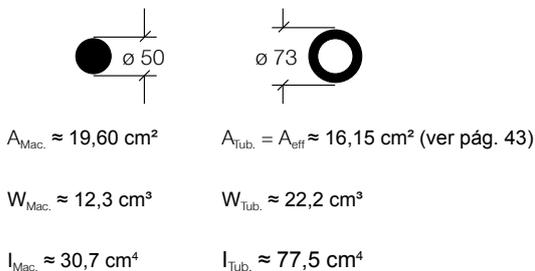
#### Inyección completa y segura = no es necesario reinyectar

El miembro portante de acero se utiliza para el relleno final del orificio de perforación desde su punto más bajo. Esto garantiza un cuerpo de inyección final continuo, con un relleno completo del orificio de perforación y cualquier eventual oquedad. No es pues necesario introducir tubos adicionales para reinyectar.

#### Otra ventaja adicional es la sección transversal, estáticamente más eficiente

A igualdad de sección transversal, un tubo es estáticamente superior a una barra maciza en lo que se refiere a pandeo, perímetro (superficie de adherencia) y rigidez a flexión. A igualdad de cuantía de acero (costes de material) y de resistencia a axil, se obtiene una mayor estabilidad (pandeo por flexocompresión).

Ejemplo: Comparativa barra maciza de 50 mm con barra hueca TITAN 73/53.



### 3.1.3 Función barra de perforación

Miembro portante de acero con rosca TITAN\*

#### Rosca continua para una puesta en obra versátil

Adaptación rápida e individual a las condiciones específicas de cada obra cortando las barras a cualquier longitud en espacios reducidos de obra o gálibos pequeños. La rosca continua posibilita que se pueda enroscar (manguitos de empalme, gatos de tesado, etc) independientemente de donde se haga el corte.

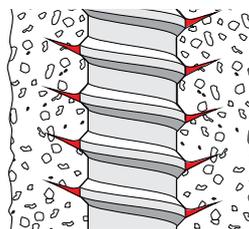
#### Rosca autobloqueante

La rosca autobloqueante permite prescindir de dos contratuercas por manguito de empalme.

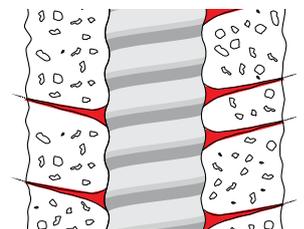
#### Adherencia óptima con fisuras de anchura mínima en el cuerpo de inyección

La adherencia a rasante, la más efectiva y fiable de entre los mecanismos de adherencia, depende sobre todo de la geometría de la rosca. El valor del área proyectada de corrugas  $f_R$  es representativo de la eficacia de la adherencia. Para el caso de la rosca TITAN se obtiene un valor de área proyectada muy alto. Se halla entre el valor óptimo de  $f_R = 0,14$  y  $f_R = 0,25$ , muy por encima de los valores de área proyectada de corruga de las típicas barras de armado ( $f_R = 0,056$ ). Además, las áreas inclinadas de rosca a  $45^\circ$  reducen las fuerzas de tracción anular. La anchura de fisura bajo carga máxima se halla por debajo del valor exigible de 0.1 mm para protección permanente frente a la corrosión, aspecto este que no cumplen las barras de perforación con rosca circular R32 y R38 (de acuerdo con ISO 10208 e ISO 1720).

Rosca TITAN\*  
Microfisuras sin daños visibles en el cuerpo de inyección



Rosca circular R  
Menos fisuras pero de mayor tamaño y penetración que dañan el cuerpo de inyección



La rosca especial TITAN garantiza una muy buena adherencia y minimiza el riesgo de fisuras longitudinales en el cuerpo de inyección.



\* La rosca cumple en cuanto a forma y desarrollo con el Eurocódigo 2, DIN 488, EN 10080 y ASTM-A 615.

### 3. Micropilote de inyección

#### TITAN en detalle

- Bocas de perforación apropiadas para todo tipo de suelos
- Cambios imprevistos en el tipo de suelo durante la ejecución no implican en general cambios en el procedimiento de construcción

Tubo de transición de PEAD (polietileno de alta densidad)

Miembro portante

Manguito de empalme

Centrador

Boca de perforación perdida



#### 3.2 Bocas de perforación perdidas



##### Boca para arcilla

Para suelos arcillosos, suelos mixtos arcillo-arenosos cohesivos sin bolos < 50 S.P.T. <sup>1)</sup>



##### Boca en cruz

Para arenas densas y gravas con bolos > 50 S.P.T. <sup>1)</sup>



##### Boca de botones

Para roca disgregada<sup>2)</sup>, filita, esquisto, roca arcillosa; resistencia < 70 MPa



##### Boca escalonada -y- de metal endurecido

Para dolomías, granito, arenisca; resistencia 70-150 MPa



##### Boca de botones de metal endurecido

Para hormigón armado o roca<sup>2)</sup>, resistencia > 70 MPa



##### Boca de metal endurecido con escariador:

Para asegurar estabilidad en la alineación de la perforación en los estratos de transición del terreno

- Todas las bocas disponen de tubos de inyección de Venturi.

- Las fotos de las bocas son ilustrativas. La forma y color de cada una pueden variar.

<sup>1)</sup> S.P.T. Standard Penetration Test

<sup>2)</sup> La resistencia a compresión de los suelos está en general por debajo de la resistencia del macizo rocoso por la prácticamente inevitable presencia de superficies de diaclasado. Como regla aproximada sirve: la resistencia a compresión de los suelos puede asumirse como un 10 - 20% de la resistencia del macizo rocoso. (Fuente: Prof. Dr. Kurosch Thuro, departamento de ingeniería geológica, Universidad Técnica de Munich, Alemania).

**3.3 Manguito de empalme**  
Conexión sin contratuercas



Según nuestra homologación no se necesita contratuercas tal como otros sistemas los exigex. El manguito de empalme permite soportar tanto cargas cíclicas como cargas dinámicas con cambio de signo. Esto es gracias al tope central (anillo metálico con juntas). Gracias al pretensado contra el tope central al apretar el roscado, se consigue una transmisión óptima de la energía de golpeo durante el proceso de perforación.

**3.4 Centrador**

Para garantizar el recubrimiento mínimo de cemento en todas direcciones



El centrador dispuesto antes de cada manguito de empalme (como mínimo cada 3 m, según la homologación) se encarga debido a sus dimensiones de que el recubrimiento de cemento sea uniforme, como mínimo de  $c = 20$  mm, y de que el miembro portante de acero esté centrado en el taladro de perforación. La boca de perforación de perforación aumenta el diámetro del taladro (ver pág. 14) y permite de esta forma alcanzar los recubrimientos requeridos en la homologación. La forma del centrador garantiza una extracción óptima de los detritus de perforación fuera del orificio. Además, se mejora la estabilidad de alineación durante la perforación. La colocación del centrador debe ser tal que la parte más estrecha apunte hacia el fondo de perforación.

**3.5 Variantes de disposición en cabeza**

Ajuste versátil para inclinaciones desde 0° hasta 45°



Según la aplicación de que se trate será necesario recurrir a diferentes disposiciones constructivas en cabeza. La cabeza del micropilote se halla por lo general embebida en hormigón armado (vigas, encepados, losas de cimentación) o proyectado (bulones), o bien se fija a una estructura metálica (tablestacado, vigas). En hormigón armado es frecuente recurrir a una placa superior sujeta mediante dos tuercas esféricas. Deben hacerse comprobaciones de punzonamiento, fallo por aplastamiento del hormigón o flexión en la placa. En el caso de hormigón proyectado se usan placas calotas con una tuerca esférica. Se consiguen compensar así inclinaciones de hasta 5° (Foto 1 y 2). Para compensaciones de inclinaciones de hasta 36° pueden usarse discos de compensación con las placas calotas (Foto 3), o bien discos acunados con las placas de cabeza estándar. En retrofijaciones de tablestacado se pueden usar las placas de bola con la bola correspondiente, de tal modo que se pueden compensar inclinaciones de hasta 45°. Dependiendo del ángulo de inclinación vertical, en principio también es posible una inclinación simultánea en horizontal (Foto 4).

Puede encontrar información auxiliar para el diseño de los casos "conexión con hormigón armado" o "anclaje de tablestacado" en el catálogo "Disposiciones estándar en cabeza de micropilotes y anclajes".

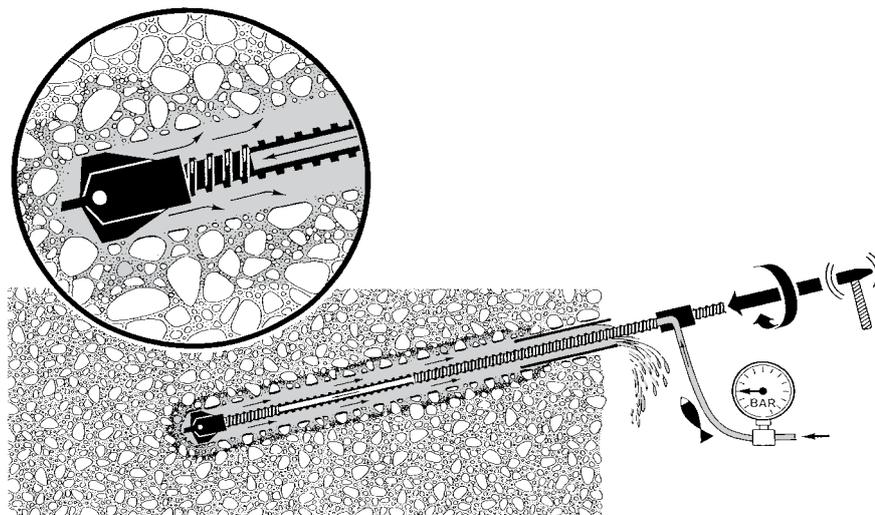
## 4. Técnica de ejecución

### 4.1 Anclaje en dos fases

#### Un mismo procedimiento constructivo para todos los casos de aplicación

Independientemente de la calidad del suelo y del caso de aplicación concreto, los micropilotes TITAN se ejecutan siempre de acuerdo al mismo procedimiento de construcción.

- procedimiento único para cualquier tipo de suelo
- procedimiento único para todos los casos de aplicación, p.ej. como micropilote, anclaje o bulón
- sin reinyecciones



#### Paso 1: Perforación directa

Perforación a rotopercusión con inyección inicial de limpieza

Debido a la perforación a rotopercusión con inyección de lechada de cemento se produce un desplazamiento de la masa de suelo adyacente y una mejora de sus propiedades, como en el caso de los pilotes de desplazamiento. Durante el proceso de perforación se filtra el agua de la suspensión cementicia y forma una especie de diafragma que estabiliza las paredes de perforación. Este diafragma puede denominarse inyección primaria, que mejora la adherencia a rasante entre el cuerpo de inyección y la masa de suelo. El cemento se encastra en la estructura sólida del suelo amoldándose. Al contrario que en los casos de martillo en fondo o perforación con camisa, las paredes de perforación no se descomprimen ni se disgregan.

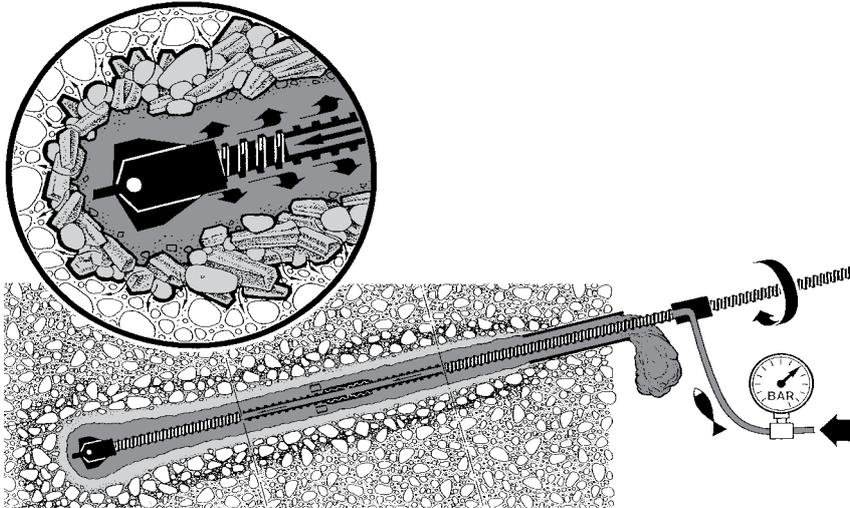
El procedimiento de la estabilización de las perforaciones con lechada portante es estado del arte y está descrito en la norma DIN 1538 para pantallas y en la DIN 1536 para pilotes perforados (en nuestro caso con lechada de cemento en lugar de bentonita).

#### La inyección inicial estabilizadora

Una lechada de cemento con una relación agua a cemento A/C = 0,4 - 0,7 (p.ej. 70 litros de agua sobre 4 sacos de cemento de 25 kg; A/C = 0,7) y una resistencia de  $f_{c,k} \geq 35 \text{ N/mm}^2$  sirve como inyección de limpieza y estabilización. Según el caso de aplicación de que se trate, se podrían usar lechadas menos densas, agua o incluso aire como fluidos de barrido.

#### Avance de la perforación y maniobra de limpieza

Cuanto menor sea el avance de la perforación en cada paso (aprox. 1 m/min) y mayor la frecuencia con que se limpie el taladro, mejor será la calidad del cuerpo de inyección y de la adherencia. Limpieza de la perforación significa: repetidas maniobras de extracción y reintroducción de la barra de perforación manteniendo la rotación y la inyección. Así se consigue limpiar de detritus el orificio y continuar con la perforación en mejores condiciones. Como medida de control puede disponerse un tamiz a la salida del flujo de retorno. Dicho flujo debe ser continuo. En caso de quedar interrumpido, o de que la lechada se desvíe por una oquedad, debe continuarse con la inyección aunque se interrumpa el avance de perforación, eventualmente con una lechada más densa, hasta que se restablezca el flujo de retorno en cabeza.



**Paso 2: Inyección dinámica**  
con lechada final estabilizadora

Inyección dinámica indica inyección simultánea a la rotación. Lo que se inyecta es una lechada de cemento con una ratio A/C = 0,4 - 0,5. Con esta inyección más densa se desplaza la lechada inicial hacia el perímetro del bulbo hasta que la lechada final rebosa por boca del taladro. Como en el caso de la vibración en el hormigón, con la inyección dinámica se consigue un cuerpo de inyección más denso. Para determinadas condiciones del terreno, si la perforación se ha desarrollado con una relación A/C = 0,4 - 0,5 puede, de acuerdo

con la homologación, obviarse el 2º paso.

**Presión de inyección**

Una presión creciente en las fases finales de inyección es un indicador de una buena ejecución del micropilote. El aumento en la presión de inyección a pesar de estar el taladro abierto en cabeza se explica porque los bloques de cemento que van hidratándose más rápidamente y que están siendo desplazados hacia el exterior por el flujo más reciente van obturando el espacio entre la barra autoperforante en rotación y

las paredes del taladro, de modo que se forman unas coronas naturales o "packer", siguiendo la ley de filtración de Darcy. Con un aumento de la presión de la inyección se forma un rozamiento superior por el fuste. Es por ello que la anotación del valor de la presión final de inyección forma parte del protocolo de control de ejecución. No es necesario reinyectar, dado que siempre se alcanza el valor de presión de 5 bar exigido por la norma DIN SPEC 18539, sección A 8.8.81

**Aumento del diámetro de perforación de modo óptimo e infiltración por flujo de inyección radial**

Todas las bocas tienen toberas laterales de inyección de Venturi, a través de las cuales se consigue una densa infiltración en el suelo circundante, gracias a la cual se consigue un mayor diámetro efectivo de perforación. Se ha comprobado en los micropilotes de ensayo excavados que el flujo radial de inyección

consigue estos grados de infiltración incluso con presiones reducidas, de modo similar a como ocurre en el procedimiento de "jet grouting" o en el de "compaction grouting" (perímetro irregular del cuerpo de inyección, diámetro del mismo hasta 2 veces mayor que el diámetro de la boca de perforación).



## 4. Técnica de ejecución

### 4.2 Resultado



#### Cuerpo/bulbo de inyección

Encastrado en el suelo en toda su profundidad

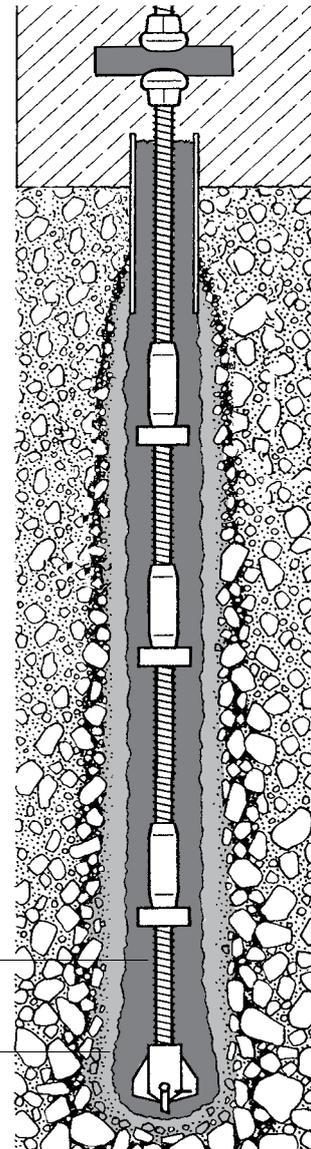
Durante la perforación y la inyección de limpieza o estabilización, el cemento se va amoldando y encastrándose en la estructura del suelo circundante. El diafragma así constituido no sólo protege las paredes de perforación frente a desprendimientos, sino que mejora la adherencia entre el bulbo y el suelo, y protege además al miembro portante de acero contra la corrosión.

Tras excavar los micropilotes TITAN, los bulbos de inyección ponen de manifiesto:

- el encastre con el terreno
- el aumento de diámetro en relación a la boca de perforación
- la regularidad del recubrimiento de cemento

Recubrimiento de cemento

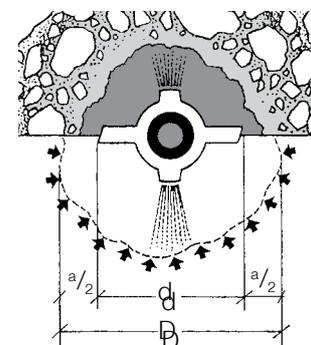
Diafragma



#### Aumento/ampliación del diámetro efectivo de perforación

Gracias al flujo de inyección radial durante la perforación se consigue un diámetro del cuerpo de inyección mayor al diámetro de la boca de perforación.

De acuerdo con la norma DIN SPEC 18539 el diámetro de un micropilote de inyección ejecutado con barrido externo debe considerarse como mínimo igual al diámetro de la cabeza de perforación o el dispositivo de introducción (en nuestro caso el diámetro de la cabeza de perforación) aumentado en 20 mm.



$$D = d + a$$

#### Ampliación de diámetro $a \geq 20$ mm

Valores empíricos de la Empresa Ischebeck (medidos en micropilotes excavados)

$a = 75$  mm (gravas)

$a = 50$  mm (arenas y gravas arenosas)

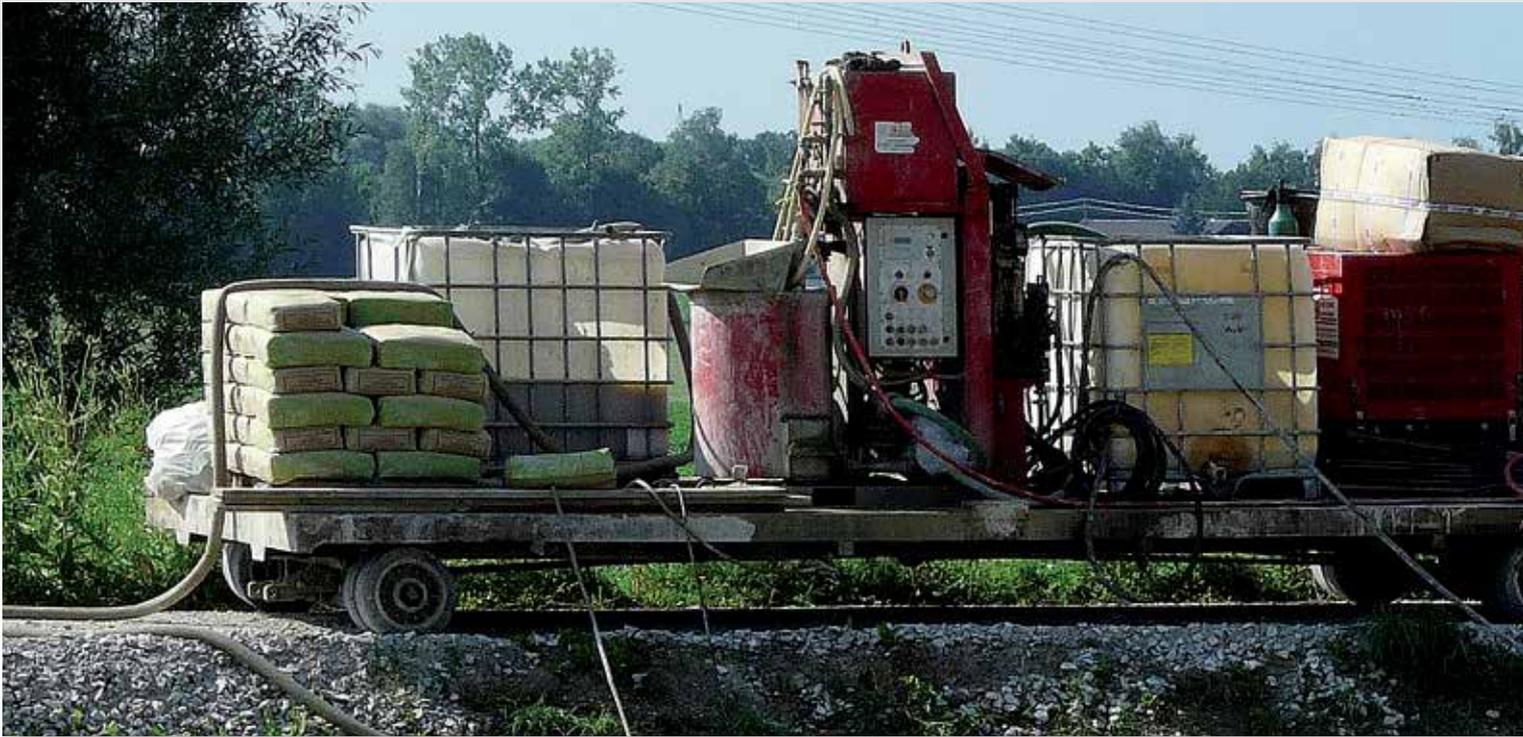


---

Encastre del miembro portante de acero, recubrimiento de cemento, diafragma y suelo. El bulbo fracturado para inspección muestra el miembro portante de acero con manguito de empalme –ambos protegidos de modo duradero contra la corrosión.

---

## 5. Maquinaria



Típica disposición en obra compuesta por estación de bombeo y mástil acoplado a la máquina



Los micropilotes TITAN con un diámetro nominal ( $D_{\text{acero}}$ ) hasta 40 mm pueden ejecutarse con martillos manuales neumáticos. Para diámetros nominales  $D_{\text{acero}} = 52$  mm puede usarse cualquier maquinaria hidráulica con rotopercusión y mástil.

Gracias a la rosca continua es posible cortar y acoplar las barras TITAN en cualquier punto de su eje. Como la maquinaria de perforación requerida es pequeña y ligera, la ejecución de los micropilotes TITAN es posible en obras con grandes limitaciones de espacio (p.ej. en sótanos, en naves industriales con maquinaria ya existente) o de difícil acceso (p.ej. debajo de puentes, en orillas o en taludes escarpados).

El espacio requerido para una mini-retro con mástil acoplado es menor que para una perforadora sobre orugas (plataforma de 6 m frente al punto de ejecución). En circunstancias especiales se pueden transportar equipos de perforación ligeros mediante helicóptero a obras de difícil acceso, p.ej. en zonas montañosas.

## 5. Maquinaria



### Martillo de perforación neumático manual

- apropiado para la ejecución de los tamaños más pequeños de barra, TITAN 30 hasta TITAN 40.



### Mástiles acoplables a maquinaria genérica con martillo hidráulico

apropiado para tamaños pequeños a medios de barra, TITAN 30 hasta TITAN 73.

- Fabricantes: Morath, Klemm, TEI Rockdrills, etc.



### Perforadoras

- Maquinaria específica para la perforación, apropiada para todos los tamaños de barra TITAN.
- Fabricantes: Klemm, Hütte-Casagrande, Morath, etc.

### Martillos de perforación adecuados

TITAN 30/... Atlas Copco COP 1036, 1038, 1238; SIG PLB 291 A; TAMROCK HL 438; Krupp HB 5, HB 11, HB 15, HB 20; Eurodrill HD 1001, HD 1002; Klemm KD 204, KD 511; Morath HB 23; TEI TE 160 HT, TE 260 HT

TITAN 40/... Atlas Copco COP 1036, 1038, 1238; SIG PLB 291 A; TAMROCK HL 438; Krupp HB 11, HB 15, HB 20; Eurodrill HD 1001, HD 1002; Klemm KD 204, KD 511, KD 1011; Morath HB 70; TEI TE 260 HT, TE 350

TITAN 52/... Krupp HB 25, HB 35; Eurodrill HD 2004; Morath HB 100; Klemm KD 511, KD 1011, KD 1215; TEI TE 560

TITAN 73/... Krupp HB 35, HB 45, HB 50; Klemm KD 1011, KD 1215; Morath HB 100; Eurodrill HD 2004, HD 4010; TEI TE 560

TITAN 103/... Krupp HB 50, HB 60; Eurodrill HD 4010, HD 5012;

TITAN 127/... Klemm KD 1215, KD 1624, KD 1828; TEI TE 1000

### Equipos de inyección

35 l/min Equipos de inyección con dosificación de agua, turbomezclador para mezclas coloidales, 1 tanque de mezclado + 1 depósito de reserva, bomba de doble émbolo, hasta 100 bar. Fabricantes: Scheltzke, Obermann, Häny, Morath

50 l/min

70 l/min

90 l/min

120 l/min

Avance: 0.3 - 1,0 m/min, 50 r.p.m., presión de barrido 10 - 15 bar.

Nota: frente a la perforación de taladros para voladura en roca se recomienda una reducción del avance y de la percusión hasta 1/3 de sus valores. Para la instalación de los micropilotes TITAN recomendamos la utilización de martillos a rotopercusión.



**Estaciones de bombeo usuales**



Para la mayoría de modelos de martillo, tenemos disponibles cabezales de inyección para conectar el miembro portante de acero y la estación de bombeo al martillo de perforación.

## 6. Asistencia para proyectar

### 6.1 Diseño como micropilote TITAN

El diseño del micropilote TITAN se realiza según EC7 (DIN EN 1997). Dependiendo de su aplicación y las condiciones en las obras podrían ser importantes

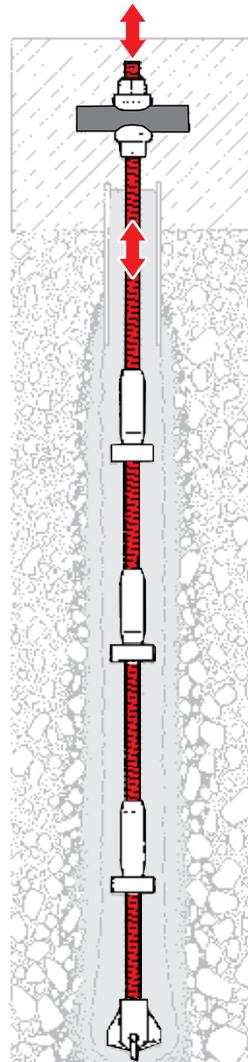
- > 1. Comprobación de la resistencia interna
- > 2. Comprobación de la resistencia externa
- > 3. Comprobación a pandeo (piezas a compresión)
- > 4. Comprobación en servicio



### 6.1.1 Comprobación de la resistencia interna

Para cumplir la comprobación, los valores de cálculo de las acciones  $E_d$  deben ser menores que los valores de cálculo de la resistencia  $R_d$  del miembro portante de acero.  
El coeficiente de seguridad parcial para el cálculo de  $R_d$  tiene el valor indicado en la norma EC7 y la homologación Z-34.14-209,  $\gamma_M = 1,15$  ( $R_d = R_k / \gamma_M$ ).

**Comprobación:  $E_d < R_d$**



Normas relevantes:  
- Homologación Z 31.14-209 (Resistencia)  
- EC7 (Acciones)

Denominación	Unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 103/43	TITAN 127/103
Diámetro nominal exterior $\varnothing$	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	103	127
Diámetro nominal interior $\varnothing$	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	43	103
Resistencia característica $R_{M,k}$ según la homologación alemana <sup>1)</sup>	kN	155 <sup>2)</sup>	225	372	465	620	695 <sup>2)</sup>	860	1218	1386	1550	2325	3015 <sup>2)</sup>	1800 <sup>2)</sup>
Carga en el límite elástico con una deformación remanente del 0,2 % $F_{0,2,k}$ (valor medio)	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	3398	2030

<sup>1)</sup> En caso de acciones permanentes de tracción y recubrimientos de cemento  $c < 40$  mm, los valores de resistencia deben reducirse de acuerdo a lo indicado en la homologación Z-34.14-209.

<sup>2)</sup> Para estos tamaños aún no hay homologación, así que para TITAN 30/16, 73/56 y 127/103 los valores se han interpolado a partir de la homologación existente para los demás tamaños.

## 6. Asistencia para proyectar

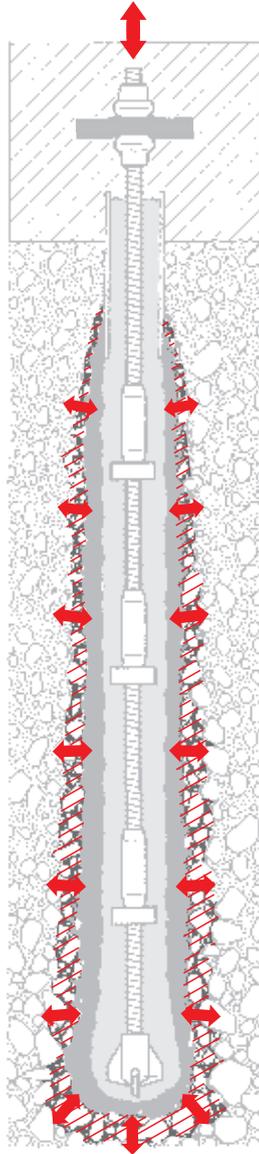
### 6.1 Diseño como micropilote TITAN

#### 6.1.2 Comprobación de la resistencia externa

(superficie contacto bulbo-suelo)

Normas relevantes

- EN 14199
- EC7



Los micropilotes transmiten la carga al suelo principalmente por fuste. La resistencia por punta por lo general se desprecia (excepto en roca). La resistencia del pilote en el suelo (resistencia externa) depende de la superficie del cuerpo de inyección  $A_{s,i}$  y del valor límite de rozamiento  $q_{s,i,k}$  del suelo circundante.

La longitud de transmisión  $l_b$  necesaria del micropilote para que las cargas se transmitan al suelo se obtiene a partir del diámetro del cuerpo de inyección y del valor límite de rozamiento  $q_{s,i,k}$  que se minorará con el coeficiente de seguridad parcial para la resistencia del pilote según la Tabla 2.3 de la norma DIN 1054:2010-12.

A menos que se hayan determinado mediante pruebas de carga sobre micropilotes de ensayo previos los correspondientes valores del rozamiento por fuste específicos para un proyecto, se adoptarán en general para el cálculo y de acuerdo con la norma DIN 1054:2010-12 los valores de dicho rozamiento bajo cargas de compresión y tracción recomendados en el documento EA-Pfähle (para pilotes tubulares de inyección. p.ej. tablas 5.31 y 5.32).

Para la obtención del diámetro necesario  $D$  del cuerpo de inyección debe especificarse antes el tipo de boca de perforación a utilizar (ver folleto "Datos técnicos").

Éste depende de:

- el tipo de suelo predominante
- el recubrimiento de cemento mínimo del miembro portante según norma/homologación

El diámetro  $D$  del cuerpo de inyección es mayor que el diámetro  $d$  de la boca, siendo la diferencia una ampliación  $a$ , dependiente del tipo de suelo y de la técnica de ejecución:

$$D = d + a$$

Ampliación del taladro  $a$ :

- según DIN SPEC 18539  $a_{\min} \geq 20$  mm (ejecución con barrido exterior)

- Pilote tubular de inyección según EA = 20 mm
- valores medios experimentales de la Empresa Ischebeck para el dimensionado previo:
  - arenas:  $a \approx 50$  mm
  - gravas:  $a \approx 75$  mm(mediciones en bulbos de inyección excavados)

### Comprobación: $E_d \leq R_d$ bajo carga de ensayo

Compresión

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1} \text{ [kN]}$$

Tracción

$$R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \xi_1 \cdot \eta_M} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \xi_1 \cdot \eta_M} \text{ [kN]}$$

siendo:

- Factor de dispersión  $\xi_1$   
(dependiendo del número n de las pruebas de carga previstas/ejecutadas)

n	1	2	3	4	5
$\xi_1$	1,35	1,25	1,15	1,05	1,00

- Factor de forma  $\eta_M$   
(en aplicaciones a tracción independiente de la inclinación del micropilote tras la modificación de la norma DIN 1054/A1:2012-08)  
 $\eta_M = 1.25$

### -Sin carga de ensayo (a base de valores empíricos de rozamiento del fuste).

Compresión

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_s} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_s} \text{ [kN]}$$

Tracción

$$R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \eta_M} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \eta_M} \text{ [kN]}$$

En las recomendaciones del Grupo de Trabajo "Pilotes" (EA-Pfähle) de la Sociedad Geotécnica Alemana se especifican rangos de valores empíricos para los rozamientos por fuste característicos de los micropilotes inyectados (sistema GEWI) y pilotes tubulares de inyección (sistema TITAN) en suelos no-cohesivos y cohesivos.

Los resultados han sido obtenidos de cargas de ensayo. El valor inferior es el valor fractil 10% y el valor superior es el valor fractil 50% del análisis estadístico.

### Factor de seguridad parcial $\gamma_R$ para resistencias

(Extracto de DIN 1054:2010-12, Tabla A2.3)

Resistencia	Símbolo	Hipótesis de cálculo		
		BS-P	BS-T	BS-A

#### Resistencias del micropilote a partir de ensayos de carga dinámicos y estáticos

Resistencia por punta	$\gamma_b$	1,10	1,10	1,10
Resistencia por fuste (compresión)	$\gamma_s$	1,10	1,10	1,10
Resistencia conjunta (compresión)	$\gamma_t$	1,10	1,10	1,10
Resistencia por fuste (tracción)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15

#### Resistencias del micropilote basados en la experiencia

Micropilote a compresión	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Micropilote a tracción (sólo en casos excepcionales)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

### Valores empíricos con pilotes tabulares de inyección EA-Pfähle Tabla 5.31 en suelos no cohesivos

Resistencia media por punta $q_c$ del sondeo en MN/m <sup>2</sup>	Valor de rotura $q_{s,k}$ del fuste en kN/m <sup>2</sup> *	
	10 %	50 %
7,5	170	210
15	255	320
≥ 25	305	365

### EA-Pfähle Tabla 5.32 en suelos cohesivos

Resistencia a corte sin drenaje $c_{u,k}$ en kN/m <sup>2</sup>	Valor de rotura $q_{s,k}$ del fuste en kN/m <sup>2</sup> *	
	10 %	50 %
60	70	80
150	115	125
≥ 250	140	150

\*Se pueden interpolar linealmente valores intermedios.

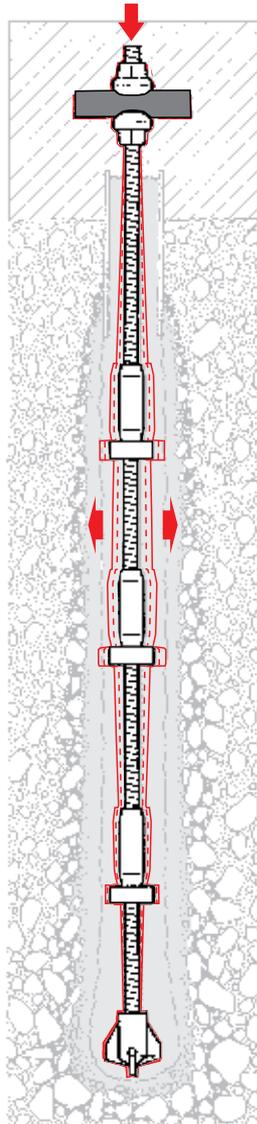
## 6. Asistencia para el diseño

### 6.1 Diseño Micropilote TITAN

#### 6.1.3 Verificación de la seguridad al pandeo (Micropilotes de compresión)

Normas relevantes

- EC7
- DIN EN 14199
- Pilotes EA
- EC3



En general se considera que el pandeo de micropilotes bajo cargas de compresión está restringido por el soporte del suelo circundante. No obstante, la norma DIN EN 1997-1 requiere la verificación al pandeo para pilotes esbeltos, los cuales se desarrollan parcialmente bajo agua o en suelos cohesivos muy blandos, con valores de cohesión no drenada  $c_{u,k} < 10 \text{ kN/m}^2$ . Las investigaciones realizadas p.ej. por VOGT/VOGT/KELLNER\* y OFNER/WIMMER\*\* evidenciaron fallas por pandeo bajo condiciones desfavorables, debido a un reducido apoyo lateral incluso en suelos con valores de  $c_{u,k} > 10 \text{ kN/m}^2$ . En el caso de micropilotes, la norma DIN 1054 hace referencia a las Recomendaciones sobre Pilotes (EA-Pfähle) de la Sociedad Alemana de Geotecnia (DGGT), en la que se establece que la verificación al pandeo se suprime ante la presencia de suelos granulares o bien suelos cohesivos, mínimamente de consistencia rígida. La cohesión no drenada de suelos cohesivos puede ser determinada mediante ensayos axiales de compresión, ensayos triaxiales UU (no consolidados, no drenados) así como ensayos de corte con veleta. Desafortunadamente este tipo de ensayos no forman parte de la investigación geotécnica estándar, por lo que la cohesión no drenada se obtiene generalmente de tablas de referencia, o bien a partir de correlaciones empíricas referidas a sondajes.

Mayores referencias sobre el pandeo de micropilotes se pueden obtener de las Recomendaciones sobre Pilotes (EA-Pfähle).

Correlación entre la consistencia, cohesión no drenada  $c_{u,k}$  y número de golpes de distintos tipos de sondaje de penetración.

Consistencia	Cohesión no drenada $c_{u,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de punta $q_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	Número de golpes			
			DPH $N_{10}$	DPM $N_{10}$	DPL $N_{10}$	SPT $N_{30}$
pastosa	< 20	< 2,0	0 - 2	0 - 3	0 - 3	< 2
blanda	20 - 60	2,0 - 5,0	2 - 5	3 - 8	3 - 10	2 - 6
rígida	60 - 200	5,0 - 8,0	5 - 9	8 - 14	10 - 17	6 - 15
semidura	> 200	8,0 - 15,0	9 - 17	14 - 18	17 - 37	15 - 30
dura	> 400	> 15,0	> 17	> 28	> 37	> 30

Tabla E06.10 del Texto de Cátedra "Clasificación del Suelo", del Centro de Geotecnia de la universidad Técnica de Munich (TUM)

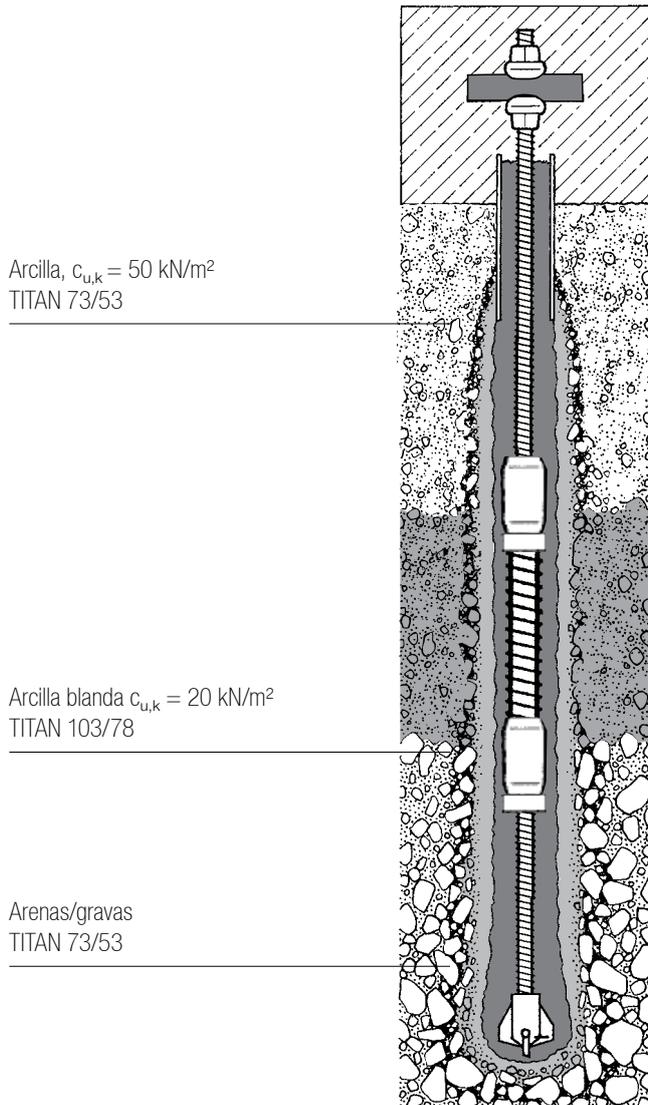
\*Knicken von schlanken Pfählen in weichen Böden, Bautechnik 82 (2005)

\*\*Knicknachweis von Mikropfählen in geschichteten Böden, Bautechnik 84 (2007)

A requerimiento, para su proyecto realizamos la verificación al pandeo según OFNER/WIMMER

Nota:

Para determinar si la verificación al pandeo es necesaria, se debe considerar la experiencia específica referida a casos concretos de fallas evidenciadas en suelos con  $c_{u,k} > 10 \text{ kN/m}^2$ . Las investigaciones presentadas anteriormente se basan en resultados de modelos. Los procedimientos de cálculo relacionados a los mismos no están aún considerados como reglas de aplicación, correspondientes al estado de la técnica.



### Micropilote - La solución para construcciones con riesgo de pandeo

#### Combinación de distintos tamaños

El sistema TITAN ofrece la posibilidad de ejecutar un micropilote combi. Esto significa, que en construcciones con riesgo de pandeo puede lograrse un sobredimensionado del miembro portante. El refuerzo del miembro portante en esta zona eleva la resistencia a flexión del micropilote sin necesidad de medidas constructivas adicionales que resultan costosas, como por ejemplo la instalación de una tubería de acero. El dimensionado del miembro portante se lleva a cabo considerando la carga nominal del micropilote a compresión y del valor de  $c_{u,k}$  de acuerdo con las conocidas comprobaciones de seguridad frente al pandeo de Ofner/Wimmer o Vogt así como según DIN 18800.

La figura representa un micropilote a compresión TITAN 73/53 (max.  $E_d = 783$  kN) de 18 m de longitud ejecutado en la zona de arcillas blandas, con un valor de  $c_{u,k}$  de 20 kN/m<sup>2</sup>, con un tramo de 6 m de TITAN 130/78. El dimensionado del TITAN 103/78 se lleva a cabo de acuerdo con las comprobaciones de seguridad frente al pandeo de Ofner/Wimmer.

Denomina- ción	Unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 103/43	TITAN 127/103
Rigidez a flexión	10 <sup>6</sup> kNmm <sup>2</sup>	3,7	4,6	15	17	42	125	143	178	195	564	794	838	1163
E · I*														

\*Estos valores han sido obtenidos a partir de ensayos. No es posible usarlos para calcular separadamente el módulo de elasticidad, la sección o el momento de inercia. Los valores de la homologación sirven para los cálculos de deformaciones (atracción o compresión). Para la comprobación de la seguridad, sobre el pandeo se tendría que utilizar la resistencia real al pandeo con  $E_d1$ .

## 6. Asistencia para proyectar

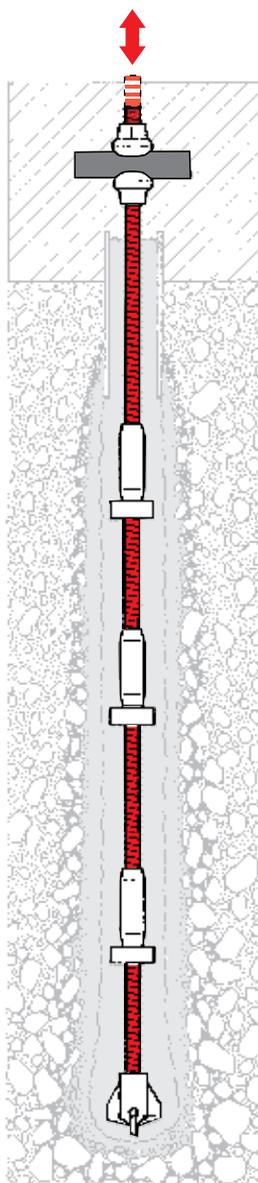
### 6.1 Diseño como micropilote

#### 6.1.4 Comprobación en servicio

Estimación de la deformación total

Normas relevantes

- EC2
- EC3
- EC7



El cálculo de las deformaciones/asientos es complejo y se lleva a cabo mediante programas (p.ej. DC-software) o bien mediante ensayos de carga. Normalmente no se dispone de estudios del suelo exhaustivos de partida. Según la norma DIN 4128 párrafo 9.1 es válido:

para pilotes individuales con longitudes de hasta 10m y sin confinamiento lateral, se puede esperar bajo cargas admisibles unos desplazamientos axiales hasta 10mm. Los diagramas carga-deformación (basados en numerosas pruebas de carga) facilitan una rápida estimación de los asientos en cabeza. Es posible estimar dichos asientos permanentes también mediante una hipótesis simplificada de cálculo.

- Para la obtención de las deformaciones permanentes se combinarán las rigideces a axil del miembro portante de acero y del cuerpo de cemento, ya que el micropilote de inyección es un material compuesto (mixto) de acero y cemento.
- Ver los datos técnicos para la rigidez a axil del miembro portante de acero
- Se puede calcular la rigidez a axil del cuerpo de inyección con un módulo de elasticidad según DIN EN 1992-1  
 $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$ .

Así se obtiene una rigidez simplificada total del micropilote

$$(EA)_{tot} = (EA)_{acero} + (EA)_{cemento}$$

y una deformación/asiento en cabeza

$$\epsilon_{i,tot} = \frac{E_k}{(EA)_{tot}}$$

Denominación	Unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 103/43	TITAN 127/103
Diámetro exterior $D_a^*$	mm	29	29	40,5	40,5	50,3	72,4	72,4	72,4	72,4	101	101	101	126,8
Sección efectiva $A_{eff}$	mm	340	415	730	900	1250	1360	1615	2239	2714	3140	5680	6023	3475
Rigidez a axil $E \cdot A^{**}$	$10^3 \text{ kN}$	63	83	135	167	231	251	299	414	502	580	1022	1202	640

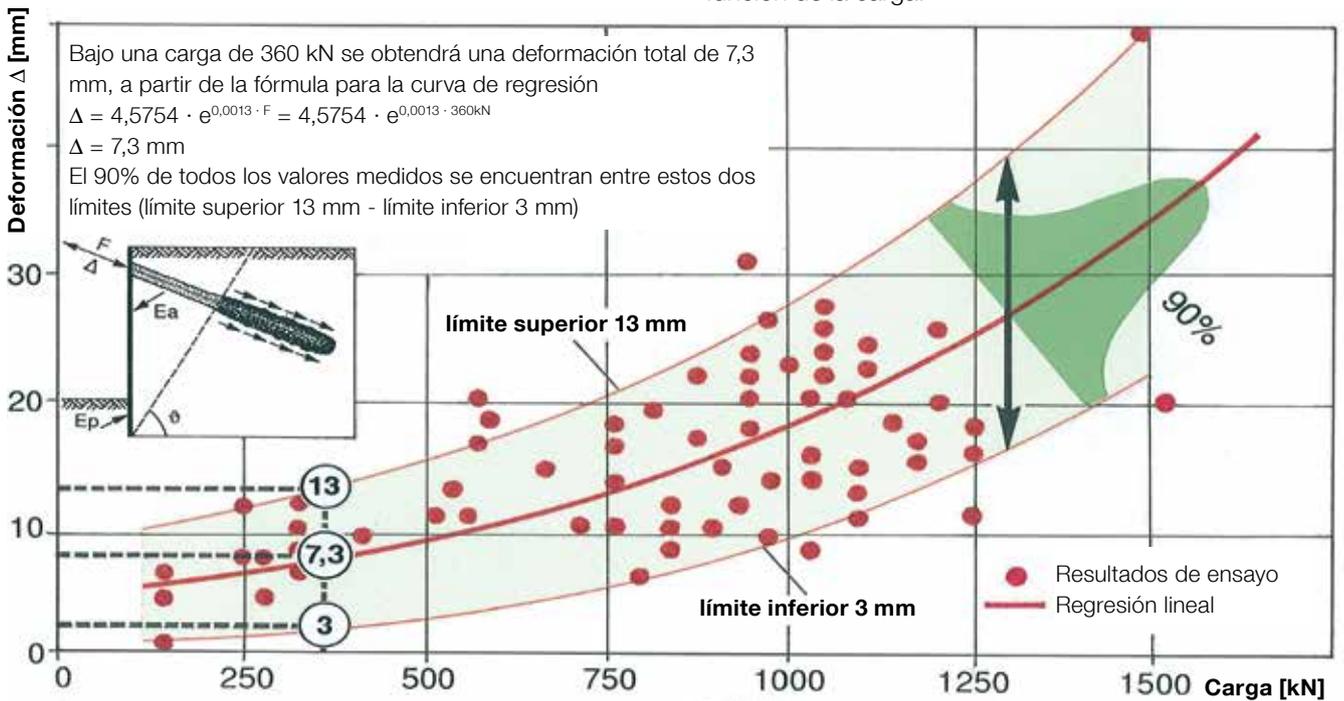
\*Ver anexo 2 de la Homologación

\*\*Estos valores han sido obtenidos a partir de ensayos. No es posible usarlos para calcular separadamente el módulo de elasticidad, la sección o el momento de inercia.

**Diagrama carga-deformación**

Evaluación estadística de 136 ensayos de adecuación y aceptación. Se midió el desplazamiento en cabeza (deformación total, medida en cabeza). Longitud de

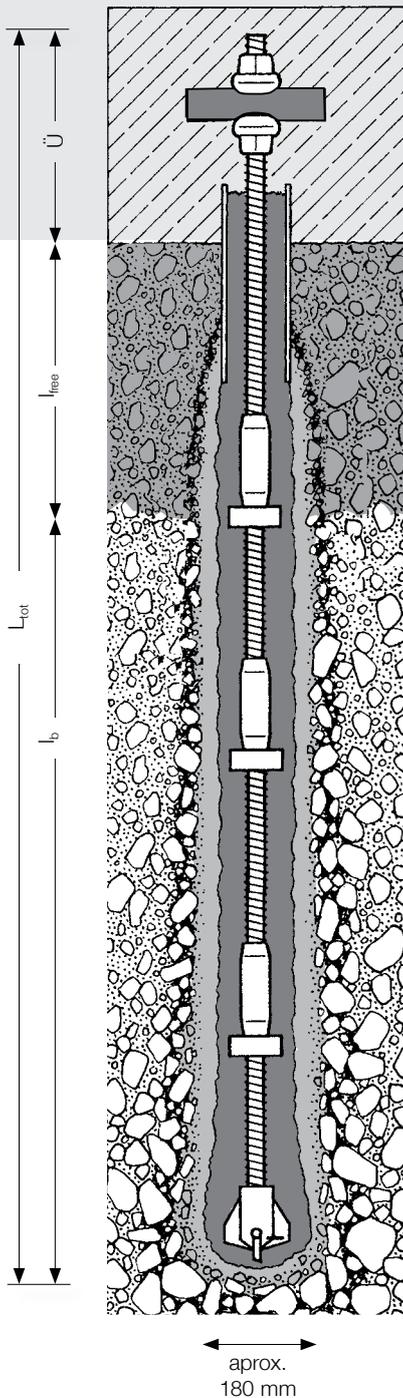
transmisión de carga en suelos arenosos y gravosos, en estratos competentes a diferentes profundidades. Se representa la deformación  $\Delta$  en función de la carga.



Proyecto fin de carrera de A. Scholl: "Desarrollo de un modelo para el cálculo de deformaciones de micropilotes de inyección (pasivos) TITAN según la norma EN 14199, a partir de ensayos de adecuación y aceptación", 2008, Universidad de Siegen, Prof. Dr.-Ing. R. Herrmann

## 6. Asistencia para proyectar

### 6.2 Ejemplos de diseño



#### 6.2.1 Ejemplo: micropilote de cimentación a compresión

Carga de diseño (compresión):  $E_d = 712 \text{ kN}$   
 Selección: Miembro portante TITAN 73/53

##### Comprobación de la resistencia interna:

$E_d \leq R_d$   
 $R_d = R_k / \gamma_M$   
 $R_d = 900 \text{ kN} / 1,15 = \underline{783 \text{ kN}}$  (con  $\gamma_M = 1,15$ )  
 -> cumple

##### Comprobación de la resistencia externa:

Determinación de la longitud de transmisión  $l_b$  necesaria con:

Resistencia por fuste a compresión:  $\gamma_s = 1,10$   
 (según DIN 1054:2010-12 Tabla A.2.3)

Especificaciones:  
 Se realizarán pruebas de carga  
 en 2 micropilotes:  $\xi_1 = 1,25$

Terreno: hasta 5 m: relleno  
 (no soporta carga)  $l_{free} = 5 \text{ m}$

a partir de 5 m: Gravas-Arena  
 (Resistencia por punta)  $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$

Boca de perforación: boca en cruz  $d = 175 \text{ mm}$

Aumento de diámetro: DIN SPEC 18539:  $a = 20 \text{ mm}$

Longitud saliente  $\ddot{U} = 0,50 \text{ m}$

Valor límite del rozamiento por fuste:  
 EA Pfähle (Tabla 5.31 pilote tubular de inyección)  $q_{s1,k} = 255 \text{ kN/m}^2$

Debe confirmarse mediante pruebas de carga:  
 Selección 2 (factor de forma  $\xi_1$ , ver página 23)

$$P_p = 712 \text{ kN} \cdot 1,10 \cdot 1,25 = \underline{979 \text{ kN}^*}$$

\*(Para las pruebas de carga deben elegirse secciones de acero mayores)

##### Longitud de transmisión $l_b$

$$l_b = \frac{E_d}{\pi \cdot (D + a) \cdot \frac{q_{s1,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1}} = \frac{712 \text{ kN}}{\pi \cdot (0,175 \text{ m} + 0,02 \text{ m}) \cdot \frac{255 \text{ kN/m}^2}{1,10 \cdot 1,25}} = \underline{6,27 \text{ m}}$$

##### Longitud total $L_{tot}$

$$L_{tot} = l_b + \ddot{U} + l_{free}$$

$$L_{tot} = 6,27 \text{ m} + 0,50 \text{ m} + 5,0 \text{ m} = \underline{11,77 \text{ m}}$$

Resultado:  $L_{tot} = 12,00 \text{ m}$

### 6.2.2 Ejemplo: Micropilote de cimentación

(Determinación del asiento en cabeza)

Longitud del micropilote:  $L_{tot} = 12,00 \text{ m}$   
 Valor característico de la carga:  $E_k = 500 \text{ kN}$

#### TITAN 73/53 (acero)

Diámetro nominal exterior:  $D_{acero} = 73 \text{ mm}$   
 Sección efectiva:  $A_{eff} = 1615 \text{ mm}^2$   
 Rigidez a axil:  $(EA)_{acero} = 299.000 \text{ kN}$

#### Cuerpo de inyección (cemento)

Diámetro del micropilote:  $D = 180 \text{ mm}$

Sección del bulbo  $A_{cemento} = \pi \cdot (D^2 - D_{acero}^2) / 4$

$$A_{cemento} = (\pi \cdot (180^2 \text{ mm} - 73^2 \text{ mm})) / 4 = 21.262 \text{ mm}^2$$

(El cemento en el interior del ducto de la barra de acero se desprecia)

Módulo de elasticidad  $E_{cemento} = 34.000 \text{ N/mm}^2 = 34 \text{ kN/mm}^2$

Rigidez a axil del bulbo  $(EA)_{cemento} = E_{cemento} \cdot A_{cemento}$

$$(EA)_{cemento} = 34 \text{ kN/mm}^2 \cdot 21262 \text{ mm}^2 = 722.908 \text{ kN}$$

Rigidez a axil total  $(EA)_{tot} = (EA)_{acero} + (EA)_{cemento}$

$$(EA)_{tot} = 722.908 \text{ kN} + 299000 \text{ kN} = 1.021.908 \text{ kN}$$

#### Obtención de la deformación/asiento en cabeza

$$\epsilon_{i,tot} = \frac{E_k}{(EA)_{tot}}$$

$$\epsilon_{i,tot} = \frac{500 \text{ kN}}{1.021.908 \text{ kN}} = 0,05\%$$

$$f = \epsilon_{i,tot} \cdot L_{tot}$$

$$f = 0,05\% \cdot 12,00 \text{ m} = 6 \text{ mm}$$



Pantalla antirruído junto a la vía ferroviaria Karlsruhe-Friburgo, Selva Negra.

Las pantallas antirruído se construyen muy cerca de las vías, cimentadas en pilotes individuales TITAN 40/16.

## 6. Asistencia para proyectar

### 6.2 Ejemplos de diseño

#### 6.2.3 Ejemplo de micropilote a tracción

Comprobación según EAU de acuerdo con el modelo de cálculo de Kranz, 1940

Carga de diseño (tracción)  $E_d = 400 \text{ kN}$   
 Selección: Miembro portante TITAN 40/16

#### Comprobación de la resistencia interna:

$E_d \leq R_d$   
 $R_d = R_k / \gamma_M$   
 $R_d = 490 \text{ kN} / 1,15 = \underline{426 \text{ kN}}$  (con  $\gamma_M = 1,15$ )  
 -> Cumple

#### Comprobación de la resistencia interna:

Determinación de la longitud de transmisión  $l_b$  necesaria con:

Resistencia por fuste a tracción:  $\gamma_s = 1,15$   
 (según DIN 1054:2010-12 Tabla A.2.3)

Factor de forma  $\eta_M = 1,25$

Especificaciones:  
 Se realizarán pruebas de carga en 3 micropilotes:  $\xi_1 = 1,15$

Terreno: suelo cohesivo  
 (resistencia al corte sin drenaje)  $c_{u,k} = 250 \text{ kN/m}^2$

Boca de perforación: Boca para arcilla  $d = 150 \text{ mm}$

Aumento de diámetro: DIN SPEC 18539:  $a = 20 \text{ mm}$

Valor límite del rozamiento por fuste:  $q_{s1,k} = 140 \text{ kN/m}^2$   
 (Hipótesis de acuerdo con EA Pfähle: Tabla 5.32 pilotes tubulares de inyección)

Debe confirmarse mediante pruebas de carga:  
 Selección: 3 (factor de forma  $\xi_1$ , ver página 23)

$$P_p = 400 \text{ kN} \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,15 = \underline{661 \text{ kN}^*}$$

\*(Para las pruebas de carga deben elegirse secciones de acero mayores)

#### Longitud de transmisión $l_b$

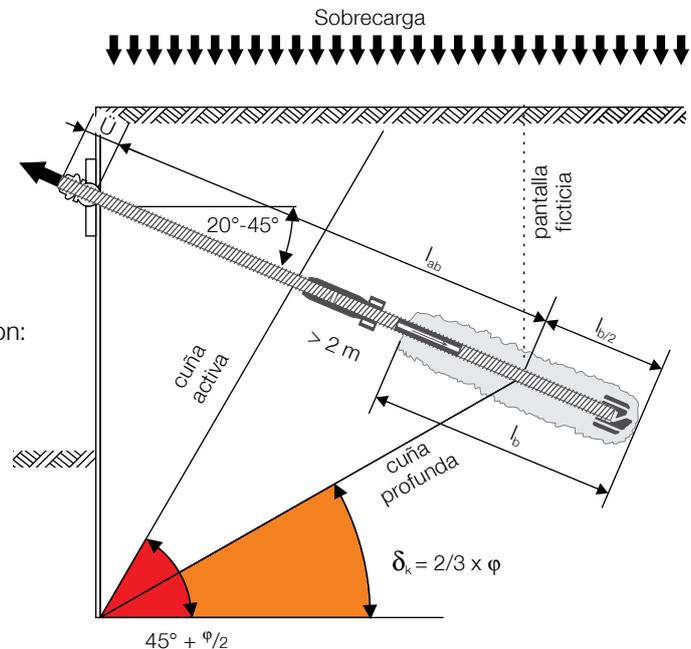
$$l_b = \frac{E_d}{\pi \cdot (d + a) \cdot \frac{q_{s1,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1 \cdot \eta_M}} = \frac{400 \text{ kN}}{\pi \cdot (0,15 \text{ m} + 0,02 \text{ m}) \cdot \frac{140 \text{ kN/m}^2}{1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,15}} = \underline{8,85 \text{ m}}$$

#### Longitud total $L_{tot}$

Distancia de la pantalla a la cuña profunda:  $l_{ab} = 8,10 \text{ m}$

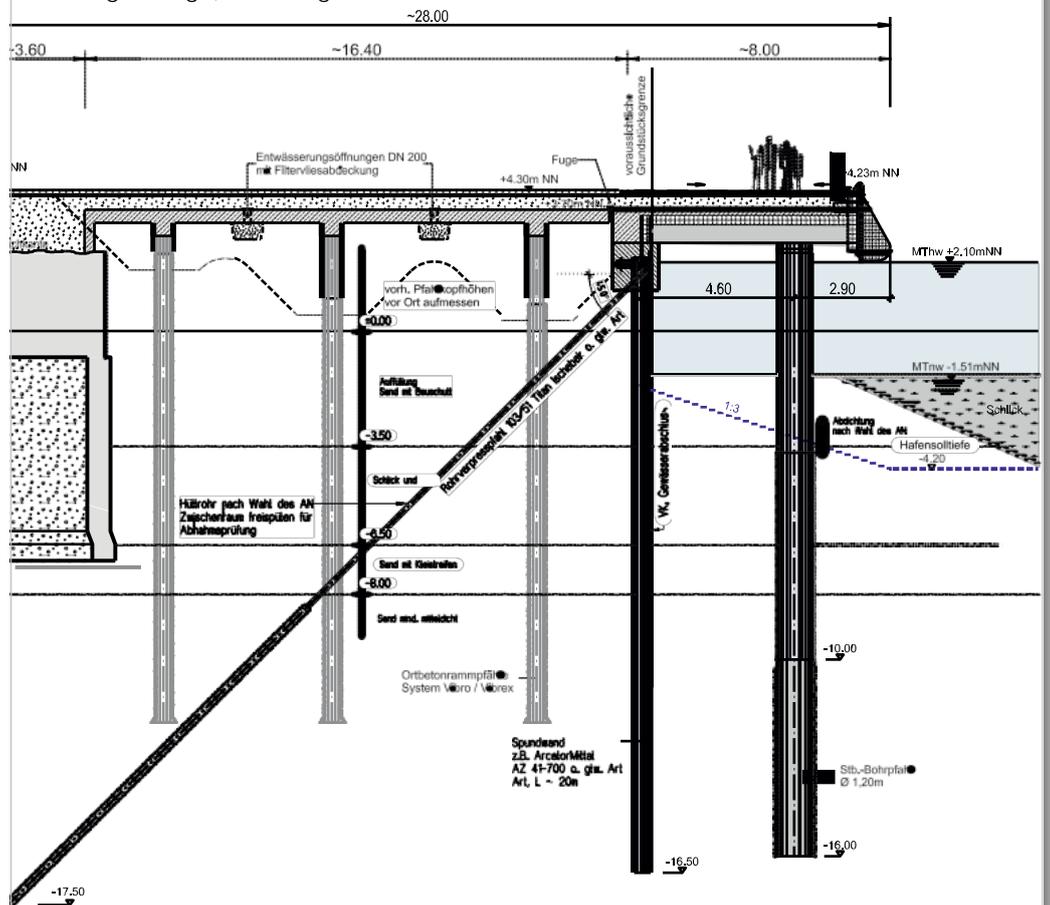
$$L_{tot} = \frac{l_b}{2} + l_{ab} + \ddot{U} = \frac{8,85}{2} + 8,10 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = \underline{12,83 \text{ m}}$$

Seleccionamos:  $L_{tot} = 13,00 \text{ m}$





Instalación de anclajes en el "Pier Elbor", puerto interior de Magdeburgo, Hamburgo



## 6. Asistencia para proyectar

### 6.3 Comprobación de la durabilidad

Normas relevantes:

- Homologación
- EN 14490- Bulones, Anexo B 3.4.5.1
- DIN 4128
- DIN 1045, edición 1978, apartado 17.6.2
- DIN 50976
- EN 1537 Anexo A

La protección duradera contra la corrosión en los micropilotes de inyección TITAN queda garantizada por:

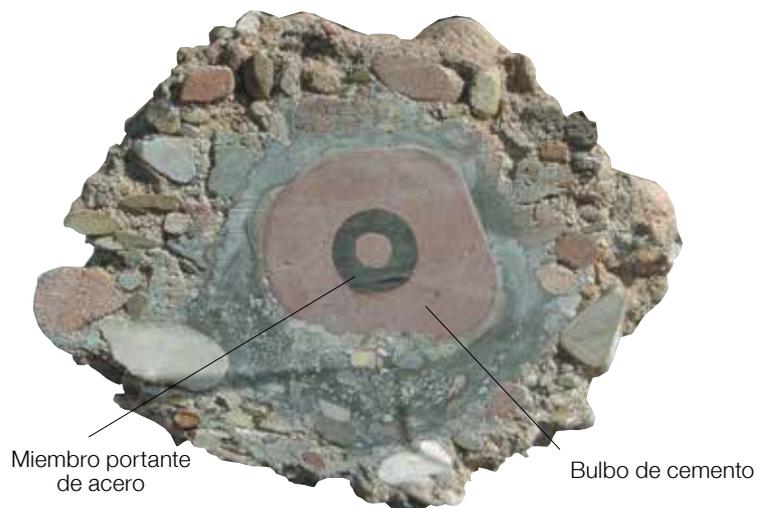
#### Recubrimiento de cemento

El recubrimiento de cemento proporciona una protección duradera contra la corrosión en los micropilotes de inyección TITAN. Resultados de investigaciones han mostrado que el bulbo de inyección proporciona protección contra la corrosión en aplicaciones permanentes siempre y cuando las fisuras debidas a la carga sean  $< 0,1$  mm (ver también EN 14490 - Bulones, Anexo B 3.4.5.1). La norma DIN 4128 de 1983 también se refiere a la limitación de abertura de fisura: "... debe llevarse a cabo la comprobación de abertura de fisura según la DIN 1045 de 1978, apartado 17.6.2, para un valor de abertura esperado "muy pequeño" (capítulo 9.2)". Esto condujo a los valores actuales de recubrimiento exigidos en la homologación, en parte ya mayores a los mínimos exigidos en otras normas de aplicación, como

- 20 mm en suelos (según DIN 4128 Tabla 1)
- 10 mm en roca (según DIN 4128 Tabla 1)
- 20 mm en pilotes de compresión (según EN 14199)
- 30 mm en pilotes a tracción (según EN 14199)

valores correspondientes a lo que suele denominarse protección simple contra la corrosión. Recubrimientos mayores de cemento aumentan considerablemente la protección contra la corrosión.

La limitación de la abertura de fisura a  $< 0,1$  mm fue también la base del Instituto Alemán de la Construcción (DIBt) para aprobar la homologación de los micropilotes de inyección TITAN para aplicaciones temporales y permanentes **sin** medidas adicionales de protección contra la corrosión. Dicho comportamiento se comprobó en numerosos ensayos de extracción en los que se midió la abertura de fisura.



En situaciones especiales o suelos muy agresivos pueden tomarse otras medidas de protección adicionales:

**Galvanizado en caliente**

La protección frente a la corrosión de los micropilotes de inyección se regula en la Homologación de acuerdo con la norma DIN EN 14199 Apartado 7.6 "Protección frente a la corrosión de piezas de acero" y los Suplementos de DIN SPEC 18539. Una galvanización adicional puede constituir una medida especial para la protección frente a la corrosión del elemento portante. La capa de cinc según DIN EN ISO 1461 puede soportar agentes severos de corrosión y proporciona una protección contra la corrosión duradera y económica. Indicaciones de probabilidad de corrosión de materiales metálicos en suelos (véase DIN EN 12501).

**Tratamiento Duplex**

Galvanizado según la norma DIN EN ISO 1461 con revestimiento de polvo adicional (duplex) de acuerdo con la norma DIN 55633 (Abril 2009). Se trata de un revestimiento en polvo incluido en la categoría frente a corrosión C5-M medio según la norma DIN ISO 12944 Parte 1 y una protección contra la corrosión de acuerdo con la norma DIN EN ISO 12944 parte 2 y parte 5. Nota: Cuando se usen barras con esta protección, deben manipularse y eventualmente cortarse con cuidado para no dañar las capas de tratamiento sobre la barra.

**Acero inoxidable**

Las barras de acero TITAN 30/11-INOX y TITAN 40/16-INOX están disponibles en acero inoxidable con la homologación Z-30.3-6 para la clase más alta de resistencia, IV/alta (cloruros, dióxido de azufre). Este acero inoxidable es resistente a la corrosión incluso sin recubrimiento de cemento. Es recomendable cuando no se pueda garantizar dicho recubrimiento en toda la longitud de la barra, p.ej. en el saneamiento de túneles viejos. Existe a disposición de quien lo solicite un informe técnico sobre este sistema del Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales de Berlín (BAM), número de acta 1.3/12279.



## 6. Asistencia para proyectar

### 6.4 Estimación del volumen de cemento teórico necesario

Para el cálculo aproximado del volumen necesario de cemento, el diámetro del orificio de perforación debe mayorarse sumando al diámetro de la boca utilizada la ampliación de diámetro correspondiente (dependiente del tipo de suelo, ver pág. 40). Se obtiene así una sección teórica del bulbo de inyección. Refiriéndolo todo a un metro de longitud de micropilote, se obtiene finalmente el volumen teórico necesario de cemento.

Las cantidades de cemento tienen como base el ejemplo de cálculo teórico respondientemente de las tablas para el volumen de una perforación. Las causas para diferencias más o menos importantes, pueden provenir de

- infiltración en suelos
- reflujo de la suspensión
- tipo y estabilización de la perforación durante su formación
- presión de lavado e inyección
- fisuración de suelos/rocas

Según el ZTV-W alemán para tablestacados, pilotes y anclajes, en la fase de licitación debe considerarse para el cálculo un volumen de perforación 1,7 veces mayor al teórico: "En la ejecución de anclajes de inyección y pilotes de desplazamiento, excesos de volumen de inyección de hasta 1,7 veces el valor teórico no serán abonados. Para excesos mayores, el abono se efectuará previo acuerdo con la Dirección de Obra."

#### Recomendación de Ischebeck para aplicaciones especiales

Para suelos cohesivos, p.ej. loes, suelos mixtos arcillosos, es recomendable usar cementos expansivos p.ej. CIMEX 15 con base de etringita. Con la presión de expansión, el manto circundante consolida más rápidamente. Para perforaciones en cabeza se recomiendan morteros tixotrópicos preparados, p.ej. WILMIX LAWINA 98, adición de Flow Cable, etc.

#### Ejemplo de cálculo del volumen del taladro de perforación:

TITAN 73/35  
 Boca de arcilla d = 200 mm  
 Suelo cohesivo (a = 20 mm expansión del diámetro de perforación)  
 Diámetro de perforación: D = 20 cm + 2,0 cm = 22 cm

Sección teórica del bulbo de inyección:  
 $A = \pi \cdot (D/2)^2 = \pi \cdot (11 \text{ cm})^2 = 380 \text{ cm}^2$

Volumen de perforación por m de longitud de bulbo:  
 $V = A \cdot 1 \text{ m} = 380 \text{ cm}^2 \cdot 100\text{m} = 38.000 \text{ cm}^3 = 38 \text{ litros}$

#### Ejemplo de cálculo de la cantidad de cemento seco

La siguiente tabla indica en teoría los kg/m lineales para una perforación de referencia. Según la homologación, hay que utilizar cementos según DIN EN 197 y DIN SPEC 18539.

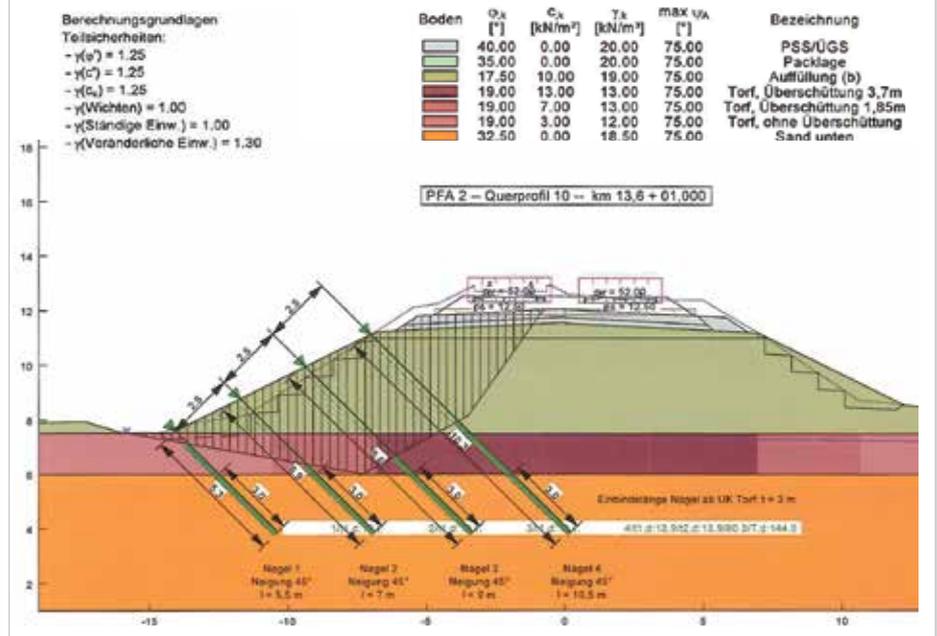
Cantidad de cemento necesaria	$Z = \frac{3 \cdot V \cdot \gamma_{\text{Sus}}}{1 + A/C}$	[kg]
Peso específico de la suspensión	$\gamma_{\text{Sus}} = g_{\text{Sus}} / V \cdot \frac{A/C + 1}{A/C + 1/3}$	[kg/l]
Peso de la suspensión	$g_{\text{Sus}} = A + C$	[kg]
Volumen de la perforación	$V = W + V_c$	[l]
Volumen del cemento	$V_z = Z / g_{\text{especific}}$	[l]
peso específico del cemento	$g_{\text{especific}} = 3,0$	[kg/l]

#### Volumen de perforación y cantidad de cemento en función de la relación A/C

Pilote Ø D	Volumen de per- foración [mm]	Relación A/C							
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
	[l/m]	Cantidad de cemento [kg] por m lineal de bulbo de inyección							
60	2,8	3,9	3,4	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	
90	6,4	8,7	7,6	6,8	6,2	5,6	5,2	4,8	
120	11,3	15,4	13,6	12,1	10,9	10,0	9,2	8,5	
150	17,7	24,1	21,2	18,9	17,1	15,6	14,3	13,3	
180	25,4	34,7	30,5	27,3	24,6	22,5	20,6	19,1	
200	31,4	42,8	37,7	33,7	30,4	27,7	25,5	23,6	
220	38,0	51,8	45,6	40,7	36,8	33,5	30,8	28,5	
250	49,1	66,9	58,9	52,6	47,5	43,3	39,8	36,8	
300	70,7	96,4	84,8	75,7	68,4	62,4	57,3	53,0	



Soil nailing en talud para ampliación de línea férrea en JadeWeserPort, Wilhelmshaven (Alemania)



## 7. Anexo

### 7.1 Ensayos básicos y comprobaciones

Desde su desarrollo, se ha sometido al sistema a numerosos ensayos básicos. Los valores obtenidos de los mismos se presentan como comprobación a continuación.

#### 7.1.1 Estabilidad direccional

Micropilote TITAN 103/78  
Ejecución con una inclinación de  $20^\circ$  respecto a la horizontal.  
Desviación de la alineación: 66 cm para una longitud de pilote de 27 m supone un 1,40 %.  
Según DIN SPEC 18539.2012-02 es admisible una tolerancia de ejecución de  $\pm 7,5$  cm con respecto al punto de inicio del taladro y una desviación de  $3^\circ$  en la inclinación (lo que en este caso correspondería a 1,41 m).



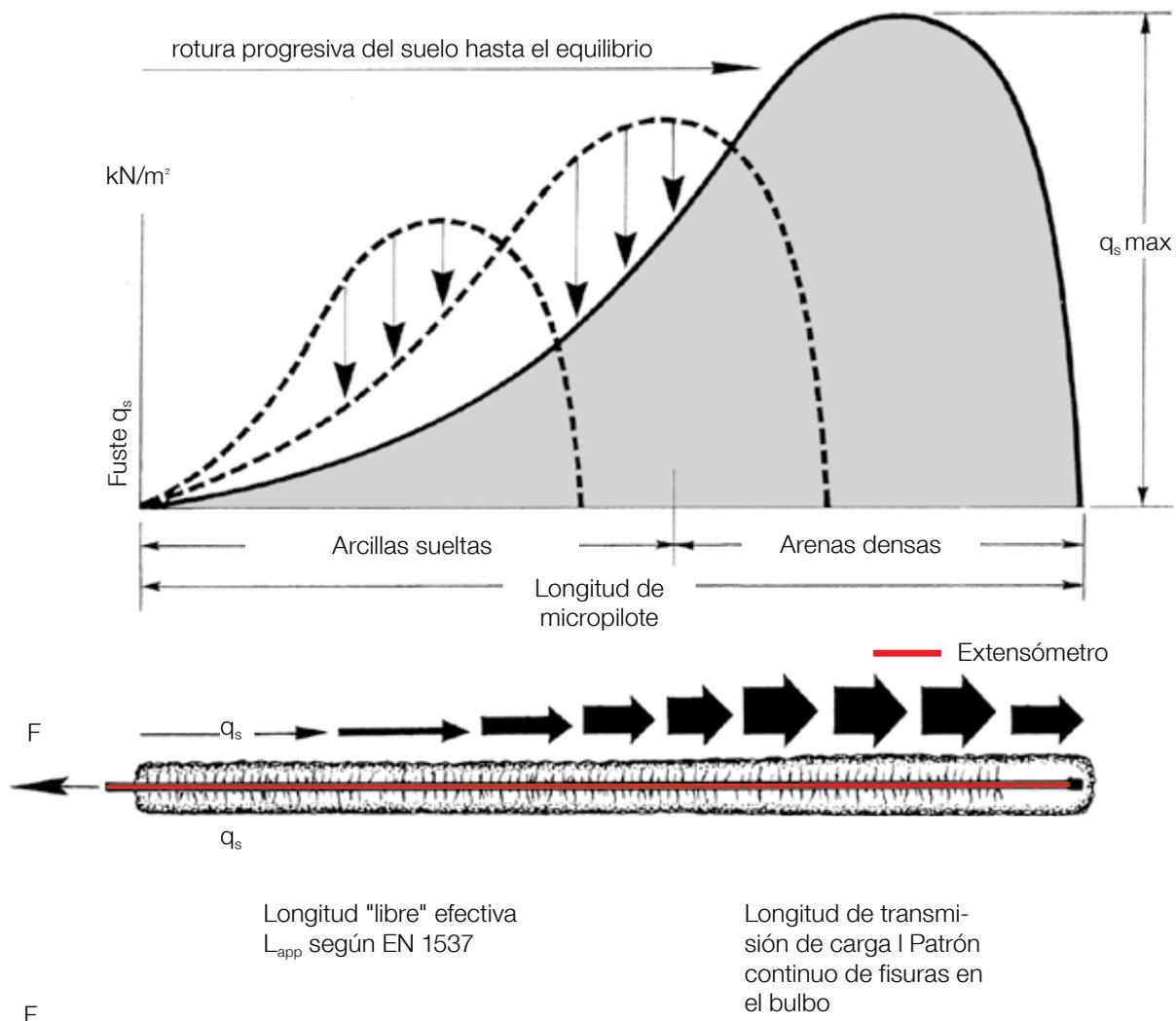
### 7.1.2 Transmisión de carga



La deformación del acero sobre la longitud de inyección se midió en varios ensayos. Para ello se fijó un extensómetro en el interior de una barra. Los resultados de los ensayos mostraron que los estratos de suelo poco competentes no participan en la transmisión de carga, de modo que se forma una longitud "libre" efectiva.

Ésta puede medirse y comprobarse de modo similar a como se hace con la longitud libre de los anclajes según DIN EN 1537.

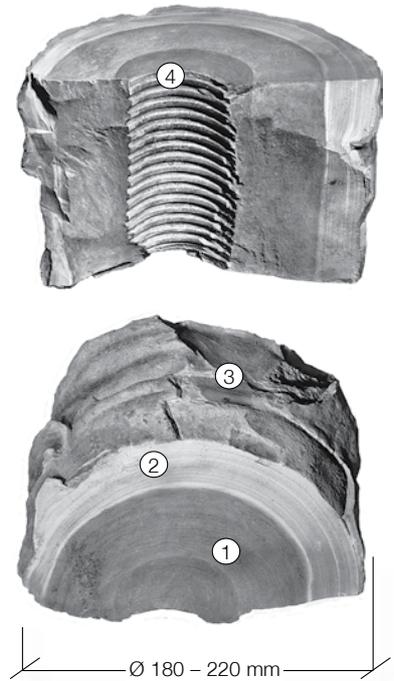
#### Transmisión de carga en un micropilote de inyección medida con extensómetro



## 7. Anexo

### 7.1 Ensayos básicos y comprobaciones

#### 7.1.3 Diámetro del cuerpo de inyección



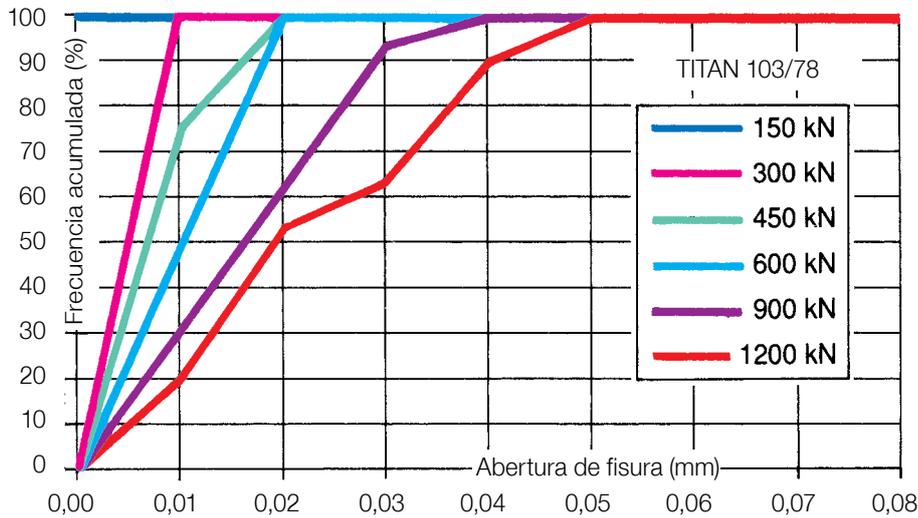
Como puede comprobarse en los bulbos de micropilotes extraídos: hay un buen encastre con el suelo circundante, el diámetro se ha ampliado respecto al diámetro de la boca, el recubrimiento es constante en toda la longitud.

Diámetro de bulbo en el ejemplo de obra Ericusspitze/Hamburgo: en la cabeza expuesta de micropilotes TITAN 103/78 puede apreciarse la ampliación del diámetro de perforación en un suelo arenoso con una boca en cruz de  $\varnothing$  175 mm.

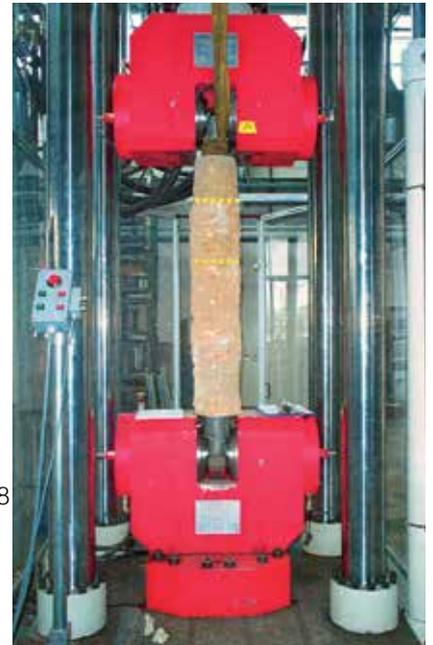
Bulbo de micropilote extraído TITAN 103/78 (arena muy fina y suelta, 40 m bajo el nivel del mar,  $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$ )

- ① Cemento Portland, resistencia a compresión  $f_{c,k} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
- ② Diafragma de cemento filtrado, estabilizador, los anillos claros y oscuros muestran diferentes relaciones A/C
- ③ Adherencia a rasante en la mezcla con el suelo
- ④ Orientación centrada de la barra de acero, recubrimiento continuo de la lechada de cemento

**7.1.4 Adherencia y anchura de fisura**



Ensayos de adherencia con medición de la abertura de fisura en anclajes y micropilotes TITAN extraídos, Universidad Técnica de Munich, Prof. Dr.-Ing. Zilch, Prof. Dr.-Ing. Schiebl

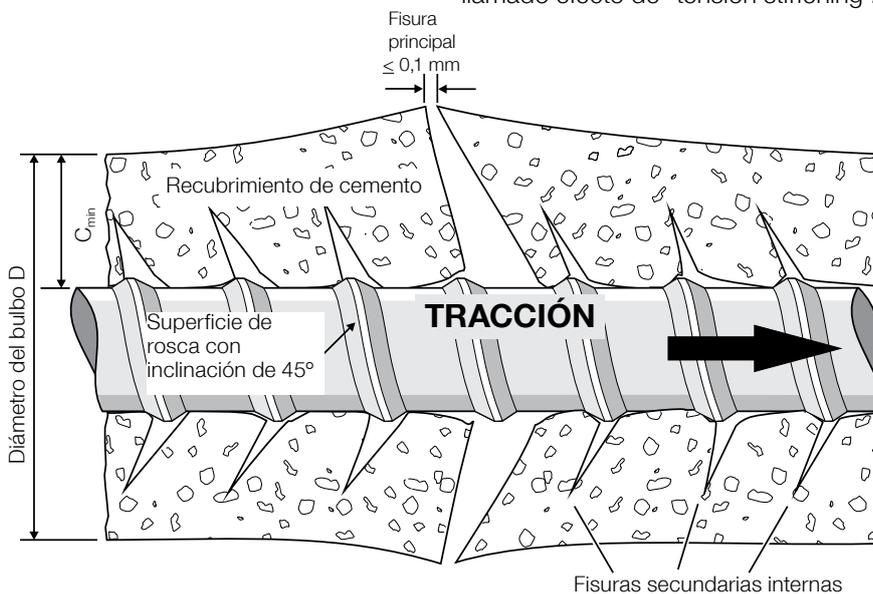


Para una protección duradera contra la corrosión se exige que las fisuras en el bulbo sean  $< 0,1$  mm (ver también comprobación por durabilidad). Esto se ha comprobado en numerosos ensayos de adherencia con medición de las aberturas de fisura en micropilotes TITAN extraídos y comparándolas con valores de cálculo.

La desigual elongación de la barra de acero y el cemento se compensa a través de microfisuras que se originan desde la rosca de la barra. Las microfisuras de desarrollo radial con una abertura  $< 0,1$  mm se consideran irrelevantes de cara a la corrosión y a la adherencia. El cuerpo de inyección fisurado provoca una cierta rigidización a tracción, el llamado efecto de "tension stiffening".



Bulbo abierto de TITAN 30/11 con una clara representación de la distribución de fisuras.



## 7. Anexo

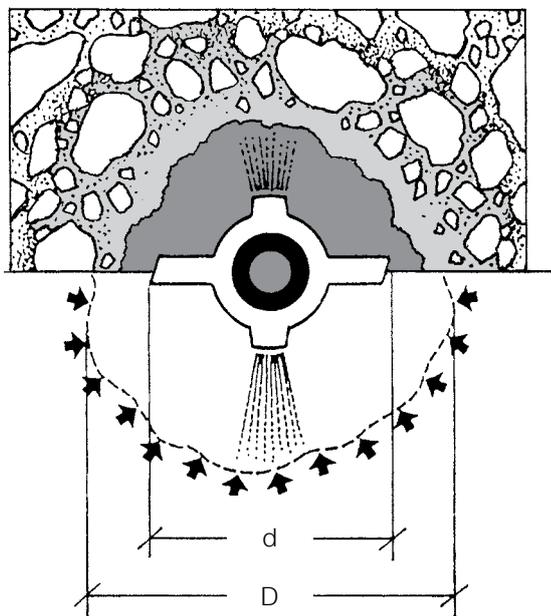
### 7.1 Ensayos básicos y comprobaciones

#### 7.1.5 Ampliación efectiva del diámetro de perforación

Debido al proceso de perforación con inyección radial se consigue un mayor diámetro del bulbo de inyección. En base a un gran número de series de ensayos así como extracciones de micropilotes TITAN es posible asumir los siguientes valores empíricos para la ampliación del diámetro de perforación (en suelos cohesivos):

$$D = d + a$$

- según DIN SPEC 18539  $a_{\min} \geq 20$  mm (ejecución con barrido exterior)
- pilotes tubulares de inyección según EA-Pilotes:  $a = 20$ mm
- valores medios experimentales de la Empresa Ischebeck para el dimensionado previo (mediciones en bulbos de inyección excavados):
  - arenas:  $a \sim 50$  mm
  - gravas:  $a \sim 75$  mm



#### Comprobación de la ampliación de diámetro para un bulbo de inyección en suelo cohesivo

Obra: Casaramona en Barcelona/España, aprox. 200 unidades de micropilote extraídas para ensayo

Perímetro medido	Radio del bulbo	Diámetro efectivo	Ampliación de diámetro	Recubrimiento de cemento
$u$	$r = \frac{u}{2 \cdot \pi}$	$d_{\text{eff}} = 2 \times r$	$b = d_{\text{eff}} - d_B$ $> 25$ mm	$c = \frac{2 \cdot r - d_v}{2}$
[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]

#### Micropilote TITAN 73/53, $d_v = 73$ mm, Boca en cruz, $d_B = 130$ mm Ø

Muestra 1	550,0	87,54	175,07	<b>45,07</b>	51,04
Muestra 2	550,0	87,54	175,07	<b>45,07</b>	51,04
Muestra 3	546,0	86,90	173,80	<b>43,80</b>	50,40
<b>Promedio</b>	<b>548,7</b>	<b>87,32</b>	<b>174,65</b>	<b>44,6</b>	<b>50,82</b>

#### Micropilote TITAN 40/16, $d_v = 40$ mm, Boca de arcilla, $d_B = 110$ mm Ø

Muestra 4	466,0	74,17	148,33	<b>38,3</b>	54,17
Muestra 5	471,0	74,96	149,92	<b>39,9</b>	54,96
Muestra 6	472,0	75,12	150,24	<b>40,2</b>	55,12
Muestra 7	464,0	73,85	147,70	<b>37,7</b>	53,85
<b>Promedio</b>	<b>468,3</b>	<b>74,52</b>	<b>149,05</b>	<b>38,85</b>	<b>54,52</b>

Viga de coronación perimetral para la autovía Pacific Coast, Panamericana, "Devil's Slide"



Anclajes adicionales de un tablestacado, HPA, Puerto de Hamburgo, Alemania.

Punto de perforación bajo el agua



Cimentación de un arco de puente sobre anclajes TITAN 40/16 Nueva autovía en Zwardon, Polonia.

El resto del talud se aseguró por medio de soil nailing.



## 7. Anexo

### 7.2 Normas

#### Normas relevantes

Comprobación	Norma(s)
Resistencia interna	Homologación oficial de idoneidad técnica Z 34.14-209
Micropilotes de inyección	DIN EN 14199 DIN SPEC 18539
Bulones/soil nailing	DIN EN 14490
Comprobaciones geotécnicas	EC7 constituida por: - DIN EN 1997-1:2009-09 - DIN EN 1997-1 / NA:2010-12 - DIN 1054-2010:12 - DIN 4084 "EA-Pfähle"
Requisitos de armado (material S 460 NH)	DIN 14199 EN 10210 DIN 488 EC 2
Protección contra la corrosión (recubrimiento de cemento)	Homologación oficial de idoneidad técnica Z-34.14-209 DIN EN 14199 DIN EN 14490
Alcance de los ensayos (cuantía)	EC7 constituida por: - DIN EN 1997-1:2009-09 - DIN EN 1997-1 / NA:2010-12 - DIN 1054:2010-12 - DIN EN 14199 / EC7 - DIN EN 14490 -(DIN EN ISO 22477-1) futuramente

## 7. Anexo

### 7.3 Datos técnicos



#### Datos técnicos

Designación	Unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 103/43	TITAN 127/103
Diámetro nominal $D_{\text{acero}}$ exterior	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	103	127
Diámetro nominal $D_{\text{acero}}$ interior	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	43	103
Sección efectiva $A_{\text{eff}}$	mm <sup>2</sup>	340	415	730	900	1250	1360	1615	2239	2714	3140	5680	6024	3475
Carga de rotura $F_u$	kN	245	320	540	660	925	1035	1160	1575	1865	2270	3660	4155	2320 <sup>4)</sup>
Resistencia característica $R_k$ según la homologación alemana <sup>1)</sup>	kN	155 <sup>2)</sup>	225 (250) <sup>3)</sup>	372	465	620	695 <sup>2)</sup>	860	1218	1386	1550	2325	3015 <sup>2)</sup>	1800 <sup>2)</sup>
Carga en el 0,2% del límite elástico $F_{0,2,k}$ (valor medio)	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	3398	2030
Rigidez a axil $E \cdot A^{3)}$	10 <sup>3</sup> kN	63	83	135	167	231	251	299	414	502	580	1022	1202	640
Rigidez a flexión $E \cdot I^{3)}$	10 <sup>6</sup> kNmm <sup>2</sup>	3,7	4,6	15	17	42	125	143	178	195	564	794	838	1163
Peso	kg/m	2,7	3,29	5,8	7,17	9,87	10,75	13,75	17,8	21,0	25,3	44,6	47,3	28,9
Longitud	m	3	2/3/4	3/4	2/3/4	3	6.25	3	3	3	3	3	3	3
Rosca a derechas/a izquierdas	-	izq.	izq	izq	izq	izq der.	der.	der.	der.	der.	der.	der.	der.	der.

<sup>1)</sup> Para cargas permanentes a tracción y recubrimientos de cemento  $c < 40$  mm, las resistencias deben reducirse de acuerdo a lo indicado en la homologación Z-34.14-209.

<sup>2)</sup> Para estos tamaños aún no existe homologación. Para las barras TITAN 30/16, 73/56, 103/43 y 127/103 se ha partido de los valores de la homologación existente interpolando linealmente.

<sup>3)</sup> El TITAN 30/11 permite utilizar sobre el una resistencia característica de 250 kN durante el siguiente periodo de tiempo ( $\leq 2$  años).

<sup>4)</sup> Sólo vale para la barra sin manguito de empalme. En el caso de barras con empalme, la carga de rotura es de 2048 kN.

<sup>5)</sup> Estos valores han sido obtenidos a partir de ensayos. No es posible usarlos para calcular separadamente el módulo de elasticidad, la sección o el momento de inercia.



Estabilización frente a desprendimientos en la línea ferroviaria Nürnberg-Regensburg.

Se emplearon aproximadamente 8000 ml de TITAN 30/11 galvanizado en caliente.

### Sistemas de Encofrado



### Sistemas de Entibación



### Geotecnia



Sistema de Gestión de la Calidad certificado DIN EN ISO 9001 / 2008 ; Número de Registro DE-96-010



**Casa Matriz: FRIEDR. ISCHEBECK GMBH**

Gerentes: Dipl. Wi.-Ing. Björn Ischebeck, Dr. jur. Lars Ischebeck

P.O. BOX 1341 | DE-58256 Ennepetal | Tel. +49 (2333) 8305-0 | Fax +49 (2333) 8305-55

E-Mail: [export@ischebeck.com](mailto:export@ischebeck.com) | <http://www.ischebeck.com>