



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
MECÁNICA DEL SUELO
E INGENIERÍA GEOTÉCNICA



ASOCIACIÓN DE EMPRESAS
DE LA TECNOLOGÍA
DEL SUELO Y SUBSUELO

JORNADAS TÉCNICAS SEMSIG-AETESS

5ª SESIÓN ANCLAJES

Con la colaboración del



MINISTERIO
DE FOMENTO

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

JORNADAS TÉCNICAS SEMSIG-AETESS

5ª Sesión ANCLAJES

Con la colaboración del

**CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX)**

Madrid, 24 de Febrero de 2005

1 PRESENTACIÓN

Con la presente Jornada sobre Anclajes se continúa con una serie de sesiones técnicas que, con la colaboración del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), organizan conjuntamente la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (SEMSIG) y la Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS).

La idea de la celebración de estas Jornadas Técnicas sobre Cimentaciones y Mejora del Terreno surgió en las reuniones del Comité Mixto creado hace algo más de cuatro años entre SEMSIG y AETESS.

El objetivo es crear un foro de discusión donde los profesionales relacionados con la ingeniería del terreno puedan debatir, a la luz de la normativa actual, los aspectos de diseño, ejecución y control de calidad de los distintos tipos de cimentación y estructuras de contención de tierras que se utilizan habitualmente en las obras civiles y en la edificación.

Para conseguir este objetivo, las Jornadas se han estructurado en dos Mesas Redondas: la primera, dedicada a los aspectos de diseño, y la segunda, a los de ejecución y control de las obras. Cada una de ellas va precedida de presentaciones a cargo de expertos de reconocido prestigio en este campo, seguida de un amplio debate sobre las técnicas consideradas y su normativa, resultados que se recogen íntegramente en esta Memoria de la Jornada y que contribuyen al objetivo fundamental de colaborar con el establecimiento de unos niveles mejores de seguridad, calidad y respeto al medioambiente en la construcción.

Madrid, 24 de febrero de 2005

José Luis Rojo Gómez
PRESIDENTE DE AETESS

José Luis Rojo Gómez
PRESIDENTE DE AETESS

2 INTRODUCCIÓN

El presente libro constituye la Memoria de la Jornada Técnica sobre Anclajes, organizada por el Comité Mixto SEMSIG-AETESS, que tuvo lugar en los recintos del CEDEX el 24 de febrero de 2005 en Madrid.

El tema elegido para esta 5- Sesión, dentro de la serie de Jornadas Técnicas que desde el año 2001 vienen realizando conjuntamente ambas Sociedades, despierta un gran interés debido a su actualidad, como demuestra el éxito de audiencia cosechado en la jornada, con más de 300 asistentes.

La primera parte de esta Memoria recoge la dedicada al Diseño, en la que se contó con las intervenciones de los expertos: D. Claudio Olalla Marañón, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX; D. Carlos Oteo Mazo, Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos y Catedrático de Ingeniería del Terreno de la Universidad da Coruña, y D. Álvaro Parrilla Alcaide, Ingeniero de Caminos Canales y Puertos del Estado, Jefe del Servicio de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras.

El debate, celebrado con posterioridad, estuvo presidido por D. Vicente Cuéllar Mirasol, Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX y compuesto por los ponentes ya mencionados.

La segunda parte trató de los temas relacionados con la ejecución y el control de las obras, desarrollándose en torno a las intervenciones de los siguientes ponentes: D. Rafael López Rodríguez (KRONSA), D. Gustavo Armijo Palacio (GEOCISA), D. Leoncio Prieto Tercero (RODIO) y D. Juan Manuel Fernández Vincent (KELLERTERRA).

La mesa redonda posterior estuvo presidida por D. Rafael Casado Ortega (SITE) y compuesta por los ponentes anteriormente citados.

Se han recogido igualmente las intervenciones de los asistentes que colaboraron con sus preguntas y sugerencias a enriquecer el debate de esta 5a Jornada Técnica SEMSIG-AETESS sobre ANCLAJES.

3 CONTENIDO

PRIMERA SESIÓN: DISEÑO

3.1 *Anclajes en roca*

D. CLAUDIO OLALLA MARAÑÓN (CEDEX)

3.2 *Anclajes en suelos*

D. CARLOS OTEO MAZO (UNIVERSIDADE DA CORUÑA)

3.3 *Normativa y recomendaciones sobre anclajes al terreno. Aplicación a proyectos y obras de la Dirección General de Carreteras*

D. ÁLVARO PARRILLA ALCAIDE (DGC)

Mesa Redonda sobre Diseño

3.4 *Ejecución de anclajes bajo el nivel freático*

D. RAFAEL LÓPEZ RODRÍGUEZ (KRONSA)

3.5 *Anclajes: Patologías y ensayos*

D. LEONCIO PRIETO TERCERO (RODIO)

3.6 *Anclajes de bulbo múltiple*

D JUAN MANUEL FERNÁNDEZ VINCENT (KELLERTERRA)

3.7 *Anclajes en terrenos contaminados y obras marítimas*

D. GUSTAVO ARMIJO PALACIO (GEOCISA)

Mesa Redonda sobre Ejecución y Control

Anclajes en suelos

Carlos OTEO MAZO

Dr. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
CATEDRÁTICO DE INGENIERÍA DEL TERRENO. UNIVERSIDADE DA CORUÑA

1. Introducción

Hace menos de cinco años, por iniciativa de la Dirección General de Carreteras y el auspicio de AETESS, el ingeniero de Caminos don José Luis Fernández Salso y el autor de estas páginas redactaron una *Guía para el Diseño y la Ejecución de Anclajes al Terreno en Obras de Carreteras*, a la que diversos técnicos de AETESS aportaron sus expertos comentarios, consejos y sugerencias.

Hoy se celebran unas Jornadas en que se presenta, oficialmente, dicha Guía y en la que se hacen diversas intervenciones sobre el diseño y ejecución de anclajes.

En esta intervención, hemos pretendido, más que presentar el contenido de la Guía (que será fruto de otra exposición, por parte de don Álvaro Parrilla, del Ministerio de Fomento), el incluir una serie de comentarios generales en lo que se refiere al diseño de anclajes en suelos (es decir, en materiales que no formen parte de macizos rocosos), con algún complemento referido a la ejecución que influya en el diseño.

En el artículo 657 del nuevo P.G. 3 (O.C. 326/00) se hace expresa referencia al tema de los anclajes, habiéndose incluido en dicho artículo algunos temas que ya aparecen en la norma europea EN 1537:1999, aunque referido principalmente a ejecución.

2. Generalidades

En primer lugar debemos indicar que en estas líneas nos referimos, principalmente, a anclajes de barras o cables inyectados al terreno (en este caso, «suelos» o «rocas muy alteradas») con lechada de cemento, tanto provisionales como permanentes.

Los provisionales o temporales son aquellos en que la vida útil no es superior a dos años (o incluso menos, si el ambiente o el terreno es especialmente agresivo). Es el caso de excavaciones debajo de pantallas, por ejemplo, en que los anclajes sólo tienen una función provisional, hasta que la pantalla se apoya en forjados. Sin embargo, los permanentes son aquellos en los que el periodo de vida útil será superior a los dos años, como los que se usan en muros anclados o pantallas continuas y/o de pilotes con anclajes para estabilizar deslizamientos –lo que implica una vida larga– que no sean alterados por el ambiente que los rodea y en los que se pueda revisar y comprobar, periódicamente, la carga de los trabajos.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de muro anclado por fases (lo que suele denominarse como «muro Stump») realizado en Suiza en cinco fases, y en la figura 2, una típica pantalla, con anclajes, para la construcción de una estación-pozo de ataque de la tuneladora en el Metro de Madrid. Se trata de anclajes con bulbos resistentes en «suelos» y de tipo provisional, ya que, posteriormente a la excavación, la pantalla queda sujeta con forjados del edificio (Fig. 1) o con una losa en cabeza y un forjado a media altura (Fig. 2).

En las figuras 3 a 6 se muestran ejemplos de anclajes permanentes: a) Para estabilizar un terraplén apoyado a media ladera (Fig. 3); b) Para estabilizar con varios niveles de muros anclados, el colusión que recubría un talud sobre un sustrato rocoso (lutitas y areniscas) alterado (Fig. 4); c) Para sujetar la ladera de diezma (A-92, Granada) con pantalla discontinua de pilotes de 5 y 1,20 m (realizados

con máquinas de pilotes y pantallas), anclada a un sustrato pizarroso alterado, junto con medidas de drenaje (Figs. 5 y 6).

En un anclaje pueden distinguirse cuatro partes principales (Fig. 7):

- El anclaje o tirante propiamente dicho (barra o cables).
- La cuña que se apoya en la pared a anclar y a la que se acuña el anclaje (a través de una placa de reparto). Esta zona suele denominarse «cabeza» del anclaje.
- La zona de anclaje o «bulbo», que es en la que el tirante queda adherido al terreno mediante la aportación de una lechada de cemento a presión (es decir, mediante inyección única o repetida).
- La «zona libre», que es la parte del tirante entre el bulbo y la cabeza. A veces queda inyectada, para protección, pero sin adherir al terreno por presión.

En la figura 8 puede verse un aspecto de un anclaje provisional con más detalle, en que se aprecia la presencia de obturadores en la zona de bulbo para poder inyectar (de una vez o por tramos, una vez o varias).

Pero en suelos suele ser muy necesario repetir la inyección para conseguir bulbos anclados de elevada resistencia. Por eso se suelen distinguir tres tipos generales de anclajes:

- De inyección única global (IU), en que los obturadores están en los dos extremos de la zona de bulbo, que suelen utilizarse en suelos arcillosos duros y suelos granulares (Fig. 8).
- De inyección repetitiva (IR), en que hay una primera inyección de sellado en la zona de bulbo. La inyección puede repetirse (siempre que se lave cada vez que se acaba una fase de inyección), lo que se hace simultáneamente en todas las válvulas del bulbo, que se abren (en teoría, todas a la vez) por la presión apuntada gracias a los obturadores colocados en los extremos del bulbo. Este tipo es más adecuado en aluviales granulares gruesos e incluso finos y rocas blandas.
- De inyección repetitiva y selectiva (IRS), en que se instalan válvulas o manguitos a lo largo del bulbo (como en la IR, pero en que los manguitos pueden inyectarse varias veces con elevado posterior a cada fase), pero en que la aportación a cada manguito puede separarse (en volumen y presión), gracias a introducir obturadores móviles a cada zona de manguitos (Figs. 9, 10 y 11).

Este tipo de anclaje es más adecuado en suelos con predominio de finos, de consistencia media-baja y cuando se quiere conseguir gran capacidad de anclaje.

La calidad de los aceros utilizados en estos anclajes suele ser la siguiente:

TIPO DE TIRANTE	LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	LÍMITE DE ROTURA (MPa)
Barra tipo DW o similar	850	1.050
Barra tipo Gewi o similar	500	550
Calles	1.710	1.910

Normalmente, la tensión de trabajo de los aceros es del orden del 60 % del límite elástico en anclajes permanentes, y del 75 %, en los provisionales.

Las lechadas de cemento utilizadas para protección anticorrosivo de la zona libre tendrán dosificación agua-cemento no superior a 0,4, mientras que las empleadas en la formación del bulbo tendrán dicha densificación comprendida entre 0,4 y 0,6, generalmente.

En la Guía citada se describen con detalle los aceros necesarios para proteger a los tirantes permanentes y provisionales frente a la corrosión.

En la figura 12 se representan esquemáticamente y de forma ideal los tres modos principales de corrosión: de tipo localizado, por presencia de iones hidrógeno y por presencia de oxígeno.

3. Diseño de anclajes en suelos

Se parte del conocimiento de la carga nominal (sin mayoral) con que ha de trabajar el tirante, lo que se supone que se ha obtenido a través de cálculos de pantallas, estabilidad de taludes, etc.

Ha de tenerse en cuenta que la estructura anclada sea estable globalmente, tal como se muestra en algunos ejemplos en la figura 13. En esos casos el coeficiente de seguridad no será inferior a 1,30-1,50 en las situaciones permanentes; a 1,20-1,30, en las transitorias o de corto plazo, y a 1,05-1,10, en las accidentales. Entre las situaciones accidentales a considerar está el fallo del 20 % de los anclajes instalados.

El diseño individual de los tirantes debe comprender el análisis de:

- La rotura del tirante de acero a tracción.
- La rotura de la cabeza del anclaje.
- El desplazamiento del sistema tirante-bulbo.

Para ello se sigue el procedimiento de análisis siguiente:

- Mayoración de cargas actuante.
- Comprobación de tensión admisible del acero del tirante.
- Comprobación del deslizamiento del tirante dentro del bulbo.
- Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo.

La carga nominal mayorada, P_{ND} , será:

$$P_{ND} = F_1 \cdot P_N$$

siendo P_N la carga nominal del anclaje, que es la mayor entre:

- a) La carga obtenida, sin mayoral, en el cálculo de los estados límites de servicio.
- b) La carga estricta al realizar el cálculo de estabilidad global con los coeficientes de seguridad antes indicados.

El coeficiente F_1 es igual a 1,50 en anclajes permanentes, y de 1,20, en los provisionales.

La comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se hace estudiando que se cumplan simultáneamente dos condiciones:

ANCLAJE	CONDICIÓN 1ª	CONDICIÓN 2ª
Provisional	$P_{ND} / A_T \leq f_{PK} / 1,25$	$P_{ND} / A_T \leq f_{YK} / 1,10$
Permanente	$P_{ND} / A_T \leq f_{PK} / 1,30$	$P_{ND} / A_T \leq f_{YK} / 1,15$

en que A_T es la sección del tirante, f_{PK} es el límite de rotura del acero del tirante y f_{YK} el límite elástico del acero del tirante.

Respecto de la comprobación de la seguridad frente al deslizamiento del tirante en la lechada del bulbo, se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que la rodea en el bulbo, por el coeficiente 1,2.

Se verificará:

$$P_{ND} / (L_b \cdot P_T) \leq t_{lim} / 1,2$$

ccn:

$$t_{lim} = 6,9 (f_{CK} / 22,5)^{2/3} \quad (t_{lim}, f_{CK} \text{ en MPa})$$

siendo:

- P_T Perímetro nominal del tirante $(2 \div p A_T)$.
- L_b Longitud del bulbo.
- t_{lim} Adherencia límite entre el tirante y la lechada (en MPa).
- f_{CK} Resistencia característica de la lechada (en MPa).

Si la longitud del bulbo supera los 14 m, se minorará por un coeficiente de 0,70, para tener en cuenta la posible rotura progresiva del mismo, ya que la distribución de tensiones de cortantes a lo largo del bulbo es, aproximadamente, como la representada en la figura 14.

En lo que se refiere al arrancamiento del bulbo para comprobar la seguridad frente al arrancamiento del bulbo, se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo para obtener la adherencia admisible, a_{adm} .

Se comprobará:

$$P_{ND} / (pD_N L_b) < a_{adm}$$

siendo D_N el diámetro nominal del bulbo.

La adherencia admisible del bulbo se puede fijar teniendo en cuenta:

a) Los valores obtenidos a partir de ensayos de campo.

b) A partir de la siguiente expresión:

$$a_{adm} = \frac{c'}{F_c} + s' \cdot \frac{tg j'}{F_j}$$

siendo:

- c' Cohesión efectiva del contacto bulbo-terreno.
- j' Rozamiento interno efectivo del contacto bulbo-terreno.
- s' Presión efectiva en el centro del bulbo más una tercera parte de la presión de inyección.
- $F_c = 1,60$.
- $F_j = 1,35$.

c) A partir de correlaciones empíricas, en cuyo caso:

$$a_{adm} = a_{lim} / F_3$$

Los valores de a_{lim} empíricos pueden tomarse de las figuras 3.2 a 3.5 de la Guía o, aproximadamente, de la tabla adjunta. F_3 vale 1,45 para anclajes provisionales y 1,65 para permanentes.

Las figuras 3.2 a 3.5 de la Guía citada están obtenidas, a partir de ábacos que, en su día, definió Michel Bustamante y que contemplan la consistencia del terreno y el tipo de anclaje (inyección IU, IR, etc.). En la Tabla 1 quedan reproducidos los intervalos de a_{lim} recomendables.

TIPO DE TERRENO	TIPO DE INYECCIÓN	ADHERENCIA LÍMITE a_{lim} (PMa)
Arenas y gravas flojas Arcillas y limos blandos	IU	0,05-0,20
	IR	0,12-0,25
	IRS	0,20-0,35
Arenas y gravas densas	IU	0,20-0,40
	IR	0,30-0,50
	IRS	0,35-0,60
Arenas y limos de consistencia media a densa	IU	0,10-0,25
	IR	0,20-0,30
	IRS	0,30-0,40
Margas, mapas yesíferas, etc.	IU	0,20-0,50
	IR	0,35-0,60
	IRS	0,40-0,75
Roca alterada (Grados IV a V)	IU	0,25-0,70
	IR	0,30-0,80
	IRS	0,40-1,00

4. Algunos detalles complementarios

Antes se ha comentado (Fig. 14) que la distribución de cargas o esfuerzos tangenciales a lo largo del bulbo no es constante. En la figura 15 se reproducen los resultados de un ensayo real sobre un bulbo de 8 m de longitud con 220T teóricas de tracción. Como se aprecia en dicha figura, la carga se absorbe en la primera mitad de la longitud del bulbo.

Cuando aumenta la carga sobre el anclaje, se empieza a movilizar la resistencia en la mitad última del anclaje. Eso sería la causa de que no debe considerarse, a nivel de diseño, la longitud total del bulbo, sino del orden del 70 % de la longitud total del mismo, sobre todo cuando excede longitudes del orden de 12-14 m.

A la hora del diseño deben tenerse en cuenta, además de todo lo explicado referente a coeficientes de seguridad, aspectos como:

- El efecto de grupo por proximidad de anclajes: En la figura 16 se han reproducido ensayos reales realizados con parejas de anclajes próximos. Cuando están muy próximos, los estados tensionales se superponen y la carga de arrancamiento es menor que la del anclaje aislado. El coeficiente de eficacia de esos anclajes, y, puede ser (tal como muestra la citada figura) del orden de 0,7-0,8 para separaciones en que la distancia entre anclajes es del orden de 0,5-0,6 el radio de influencia del bulbo, lo que puede equivaler a 0,7-0,8 m, por lo que resulta recomendable separar los bulbos entre 1,5-2,0 m, al menos, a fin de que ese coeficiente sea del orden de 1. Ello no sólo pasa entre pilotes de una fila, sino que puede pasar en relación con los de otras filas o con anclajes provenientes de paredes que sean perpendiculares entre sí. Además, se tendrá en cuenta la separación en planta y alzado (Fig. 17).
- El efecto de que falle un anclaje: En las figuras 18 y 19 se han reproducido una serie de ensayos realizados en Austria, con motivo de la construcción del metro de Viena y con objeto de evaluar el efecto del fallo de un anclaje sobre los próximos. Ello depende de: a) las cargas iniciales en los tirantes. b) su proximidad. c) el número de filas, etc. Parece que la incidencia normal, cuando hay tres filas, es que los anclajes próximos aumenten su carga un máximo del orden de 20-25 %, lo cual no suele ser dañino (respecto al arrancamiento del bulbo); respecto al propio acero, si los tirantes no están a su máxima carga, el efecto es pequeño, pero puede ser peligroso con tesados iniciales máximos. En caso de una sola fila de tirantes el incremento puede llegar al 42 %.
- El tesado inicial no suele ser el máximo previsto en el cálculo de la estructura anclada. Como éste suele ser conservador (cohesiones minoradas), es preferible dar una tensión de anclaje del orden del 60-70 % de la máxima; si la estructura lo necesita, ya se moverá y movilizará la carga necesaria; si no, no se introducen esfuerzos de flexión excesivos –e innecesarios– en dicha estructura. En la figura 20 se representa una posible recomendación sobre la tensión inicial de tesado y la función de la longitud de anclaje. Las máximas longitudes de esa figura suelen corresponder a pantallas (continuas o no) ancladas para estabilizar taludes, en que interesa que el conjunto se acomode con cierta deformación.
- El efecto de la construcción de los anclajes sobre estructuras próximas: La perforación remueve y humecta los terrenos próximos a la superficie, en los que pueden estar cimentados edificios contiguos, con lo que tiende a inducir asentamientos. Además, el tesado origina movimientos horizontales importantes que pueden no ser resistidos por los edificios (Fig. 21).
- No sólo hay que tener la pantalla anclar estable durante nuestra obra, sino a largo plazo, cuando se elimine la tensión con los anclajes, lo cual debe tenerse en cuenta para que la estructura a construir en la excavación apunte el edificio. En este sentido debemos recordar que es mala costumbre intercalar porspán (muy deformable) entre forjados y la pantalla anclada. Al sobrar el anclaje, la pantalla se deforma algún centímetro, antes de quedar apuntalada en los forjados del muro edificio. Esto sucedió, por ejemplo, en la interfaz entre el edificio del C.E.T.A del Cedex (en que se imparte originalmente esta conferencia) y el Laboratorio de Geotecnia del Cedex, en el que, por esta mala práctica, se produjeron dos grietas verticales cuya apertura total era de unos 2 cm.

Todo ello y otros puntos más (referidos a la ejecución y que no podemos incluir aquí) han de tenerse en cuenta al diseñar anclajes.

Por último, señalaremos los tres tipos de ensayos distinguidos por la *Guía de la Dirección General de Carreteras*:

- Los de aceptación o recepción, que tienen por objeto confirmar cada anclaje (capacidad frente a la tracción o carga de prueba), principalmente.
- Los de investigación, que se deben de realizar cuando hay muchos anclajes, cuando son de riesgo, de mucha carga, etc. Pretenden establecer la resistencia del bulbo, la carga de deslizamiento del tirante, etc.
- Y los de aceleración, idoneidad o control, que deben realizarse una vez interpretados los de investigación, sobre anclajes definitivos, para comprobar la capacidad del tirante, la curva de deformación del anclaje, las pérdidas de tensión y la longitud libre aparente.

En las figuras 22.a y 22.b se reproducen ensayos reales realizados en la Estación Colonia-Jardín del Metro de Madrid, en que, como servía de pozo de ataque, se realizaron anclajes en arenas tosquizas, a fin de acortar plazos y disponer mayor espacio libre dentro de la estación. La figura 22.a reproduce un ensayo de investigación (arrancamiento de un bulbo de 8 m de longitud), y la 22.b, un ensayo de adecuación.

Al interpretar estos ensayos hay que tener en cuenta las deformaciones recuperables y residuales (Fig. 23).

5. Decálogo del anclaje

A la hora de realizar el diseño definitivo de un anclaje hay que tener en cuenta diversas condiciones:

- I) Los condicionantes geométricos de la obra: a) Número de niveles de anclajes a realizar. b) Forma en planta del muro o pantalla a anclar. c) Tipo de pantalla (pilotes, continua, etc). d) Inclinación de los tirantes y que las cuñas coincidan con ella, etc.
- II) El terreno existente alrededor de la estructura a anclar, y especialmente en la zona de bulbo, a fin de fijar -por los medios ya indicados- la adherencia tirante-bulbo y bulbo-terreno.
- III) La distancia entre bulbos, que debe establecerse en función del tipo de terreno, de inyectabilidad, de la carga a la que se quiere que trabaje el anclaje, etc. (Figs. 16 y 17).
- IV) El método de cálculo utilizado para deducir la carga en el tirante y no olvidar que ese valor, normalmente, no está mayorado, sino que es el que suele corresponder a un equilibrio límite, a partir de un cierto proceso de cálculo y de unos valores de parámetros geotécnicos. Este conjunto (cálculo-parámetros) puede ser bastante fidedigno o atrevido, según las decisiones previamente adoptadas. El considerar cohesiones aparentes elevadas lleva a tirantes de baja carga y con posible riesgo, aunque sea más económico. No es lo mismo equivocarse algo en los momentos flectores (ya que, normalmente, la estructura posee una reserva de resistencia a flexión que no se tiene en cuenta, como, por ejemplo, la resistencia a tracción del hormigón y la colaboración de las armaduras de comprensión) que en el valor de la tracción del tirante (en que los coeficientes de seguridad son más estrictos). La presencia de agua no controlada puede bajar bruscamente la cohesión y elevar la tracción en el tirante.
- V) La tensión inicial que se aplica en el anclaje, la cual puede permitir una cierta deformación del conjunto, pero también puede evitar excesivos –e innecesarios– sobre la estructura a anclar.
- VI) La presencia de edificios próximos. Pueden dañarse esos edificios con las deformaciones y tensiones tangenciales que se generan en el terreno, aunque se realice el anclaje por debajo del primer nivel de sótanos (Fig. 21).
- VII) El obstáculo que los anclajes pueden suponer para obras futuras en los solares próximos, sobre todo si se dejan en tensión. En obras de metro en terreno público hemos tenido serios problemas con bulbos y tirantes situados en la trayectoria de tuneladoras. Y en solares de ciudades hemos encontrado anclajes tesados al vaciar el solar para hacer dos o tres sótanos.
- VIII) Es conveniente realizar los ensayos de comprobación y adecuación y, cuando la situación es un poco excepcional (geometría, nivel de cargar, etc.), los de investigación, con arranque de bulbos, a fin de comprobar, realmente, el valor de la adherencia máxima tirante-bulbo. En la figura 22 se

ha presentado un ensayo de investigación que llevamos a cabo en la Estación Colonia-Jardín del Metro de Madrid, cuando se decidió introducir anclajes de 180 T. La estación hacía de pozo de ataque de tuneladora y era necesario disponer de espacio en el interior de la estación y realizar rápidamente los anclajes, motivo por el que se fue a una sola fila de anclajes de 180 T, en vez de a dos de anclajes con tracciones más usuales. En estos momentos, por razones análogas, vamos a realizar arrancamientos de bulbos en estaciones-pozo de ataque de Metronorte y de la línea 11, en la nueva ampliación del Metro 2003-2007. Lo que sí es más corriente es realizar las pruebas de adecuación, comprobando, como mínimo, la seguridad del tirante y el buen comportamiento del anclaje para la carga de trabajo (Fig. 23). En las figuras 24 y 25 se reproduce un esquema de una futura estación de la línea 7 del Metro de Madrid, con anclajes de la parte superior y la prueba de aceptación realizada recientemente en un anclaje, en el que se ha medido la carga con los gastos de tracción y con célula de carga. Comprobándose la escasa relajación del anclaje al cabo de varios días.

- IX) La trascendencia que puede tener el fallo de un anclaje: en ese sentido, no es lo mismo que exista una sola fila que varias. Ya antes hemos comentado los ensayos austriacos de soltar anclajes y comprobar el incremento de carga que puede llegar a los próximos para equilibrar el conjunto (Figs. 18 y 19). Ello suele tener una trascendencia no excesiva en cuanto a la seguridad frente a la rotura del bulbo (ya que suele aumentar la carga sólo un 20 a un 25 %, mientras que el coeficiente de seguridad al arrancamiento es del orden de 1,80 a 2,0); pero en el caso de una sola fila de anclajes el riesgo es mayor (hasta el 42 %). Por ejemplo, en algunos pozos de ataque (obra provisional) de Metrosur hemos diseñado pantallas de pilotes ancladas en la cabeza, en la viga de atado superior, a fin de acortar el plazo de ejecución (aunque la posición del anclaje no sea la óptima, a efectos de esfuerzos en la pantalla). Esta situación conlleva algo más de riesgo, respecto al fallo de anclajes, por lo que los coeficientes de seguridad deben ser algo superiores a los normales.
- X) Debe procurarse vigilar el comportamiento de los anclajes, instrumentos, células de carga en tirantes, etc.), sobre todo en el caso de los anclajes permanentes. Y debe comprobarse, periódicamente, la carga en los anclajes, para lo que hay que dejar suficiente longitud de tirante por encima de la placa de anclaje («rabos») para poder colocar el gato hidráulico y tirar de ellos, así como de disponer sistemas que permitan el acceso a esos anclajes. Esta comprobación y la comparación con las previsiones de proyecto son las que permitirán conocer suficientemente si el diseño ha sido adecuado.

Todas estas recomendaciones se han resumido en los «Mandamientos» esquematizados en la figura 26.

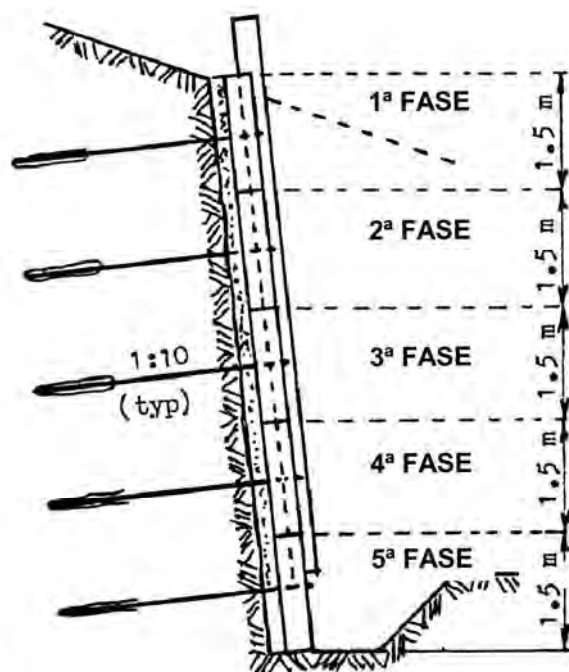


Figura 1. MURO ANCLADO CONSTRUIDO POR FASES (Wingreis, Suiza)

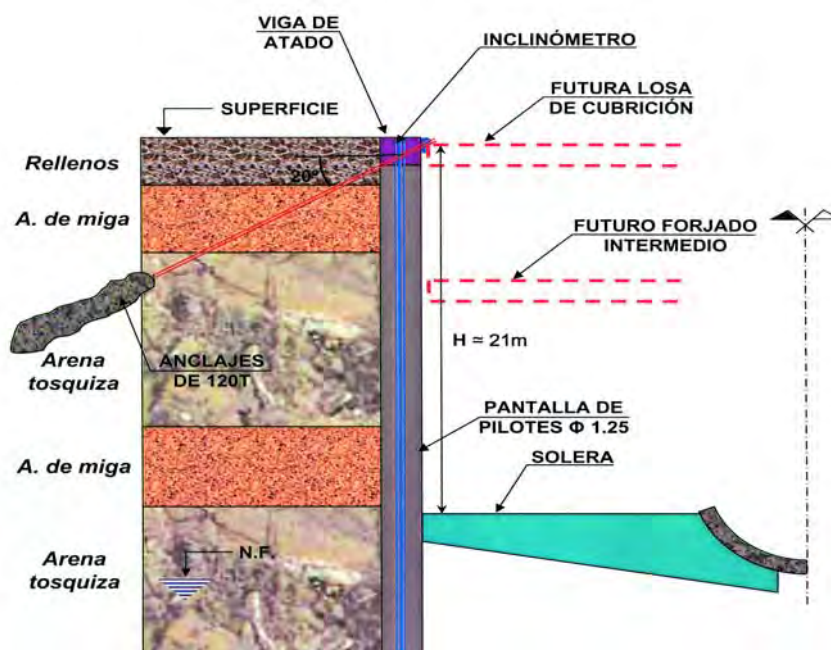


Figura 2. ANCLAJE EN ESTACIÓN DE ATAQUE (Línea 3 del Metro de Madrid, en construcción)

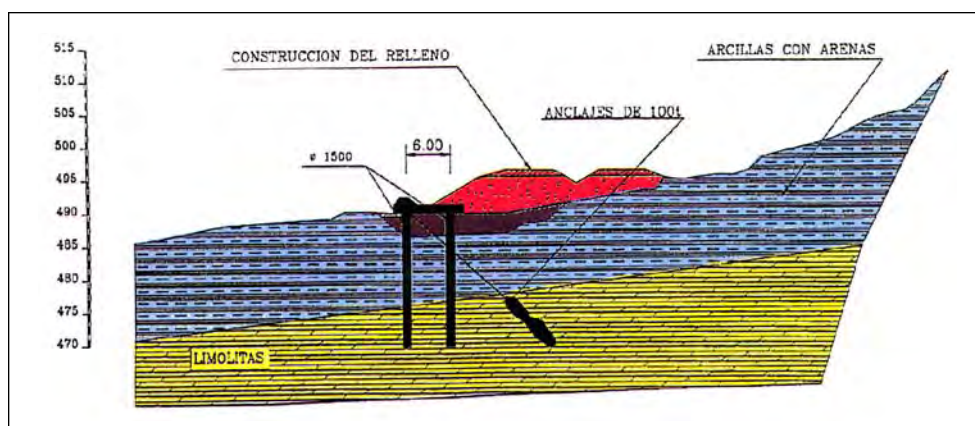


Figura 3. ESTABILIZACIÓN DE UN TERRAPLÉN SOBRE ARCILLAS Y ARENAS INESTABLES

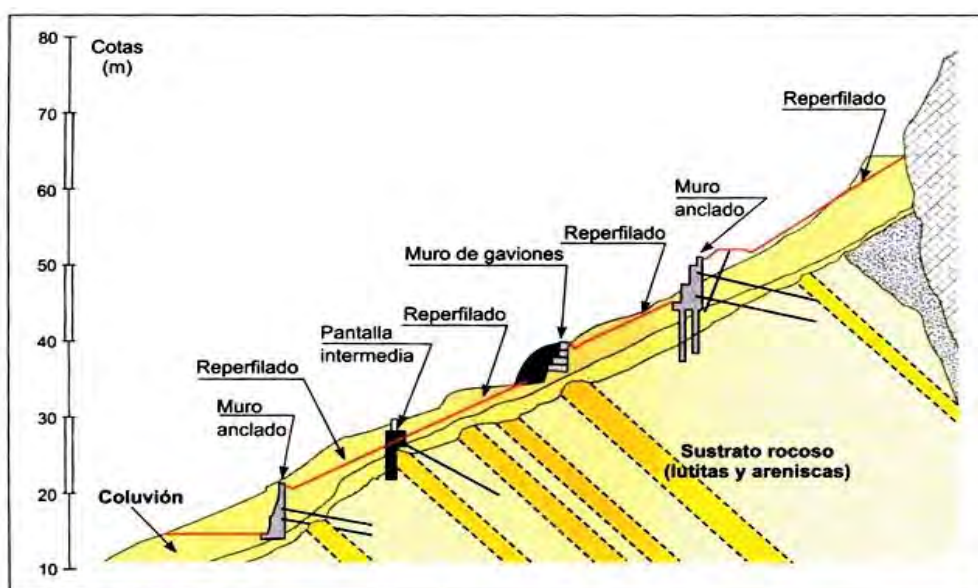


Figura 4. ESTABILIZACIÓN DE UNA LADERA MEDIANTE DIVERSOS MUROS Y PANTALLAS ANCLADOS (Rodríguez Ortiz, 1997)

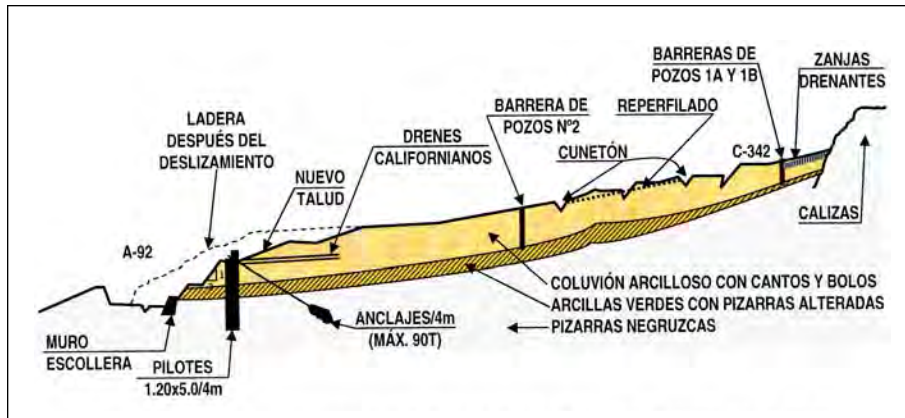


Figura 5. DESLIZAMIENTO DE DIEZMA (Granada). ESTABILIZACIÓN CON DRENAJE Y PANTALLA DE PILOTES ANCLADOS (Oteo, 2003)

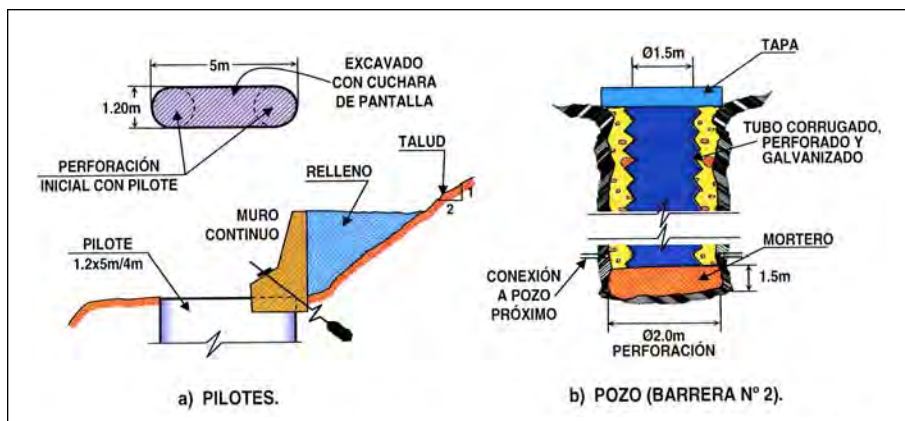


Figura 6. DETALLE DE LA PANTALLA DE PILOTES ANCLADOS DE LA FIGURA 5 (Oteo, 2003)

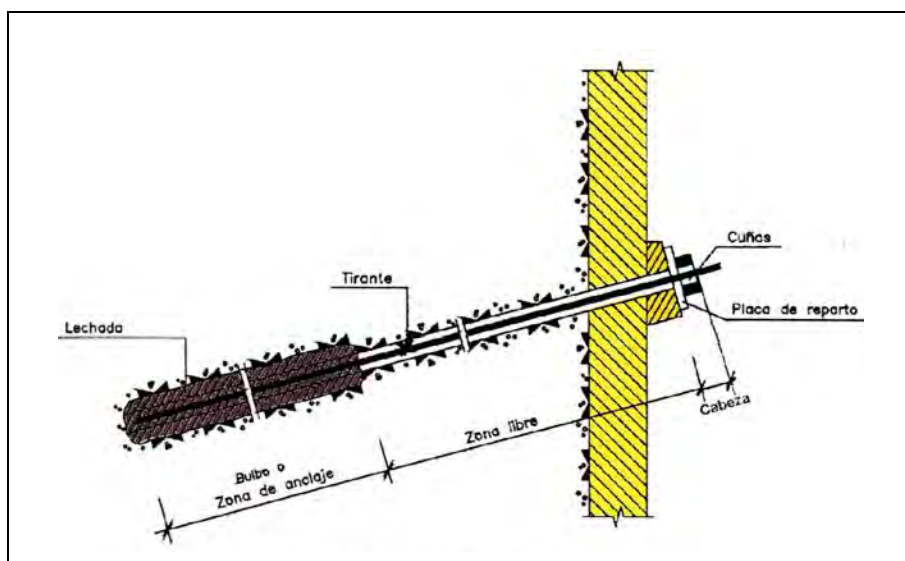


Figura 7. CROQUIS DE UN ANCLAJE

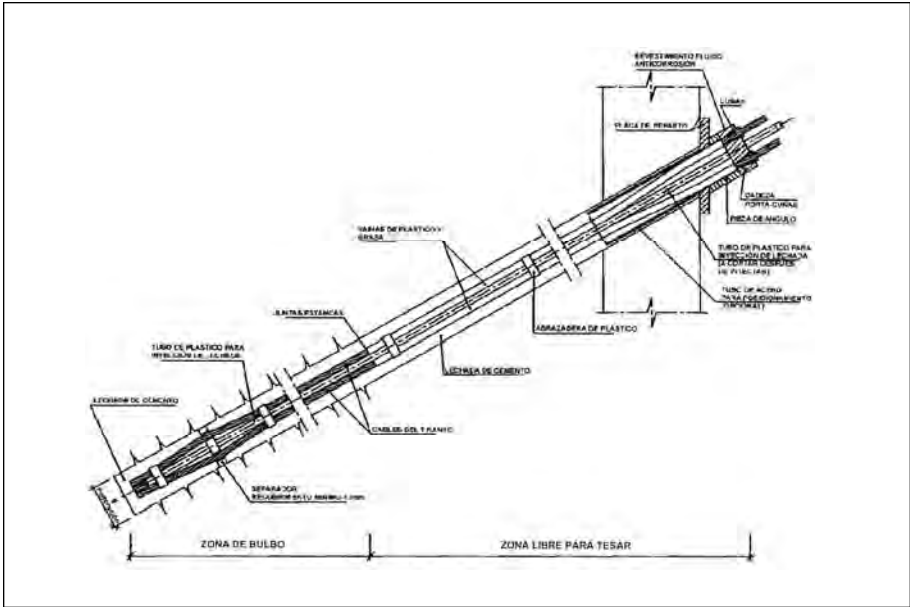


Figura 8. ESQUEMA DE ANCLAJE PROVISIONAL

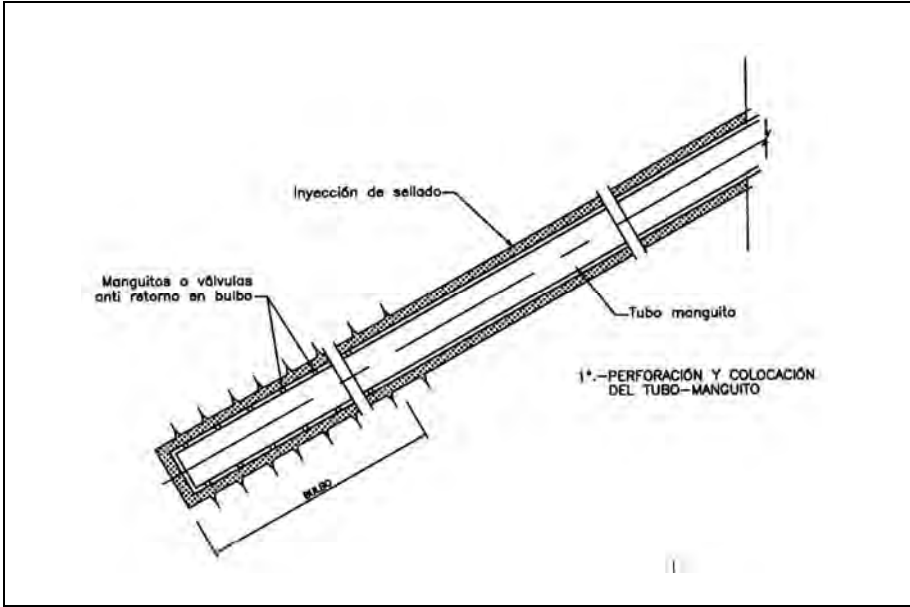


Figura 9. INYECCIÓN IRS, PRIMERA FASE

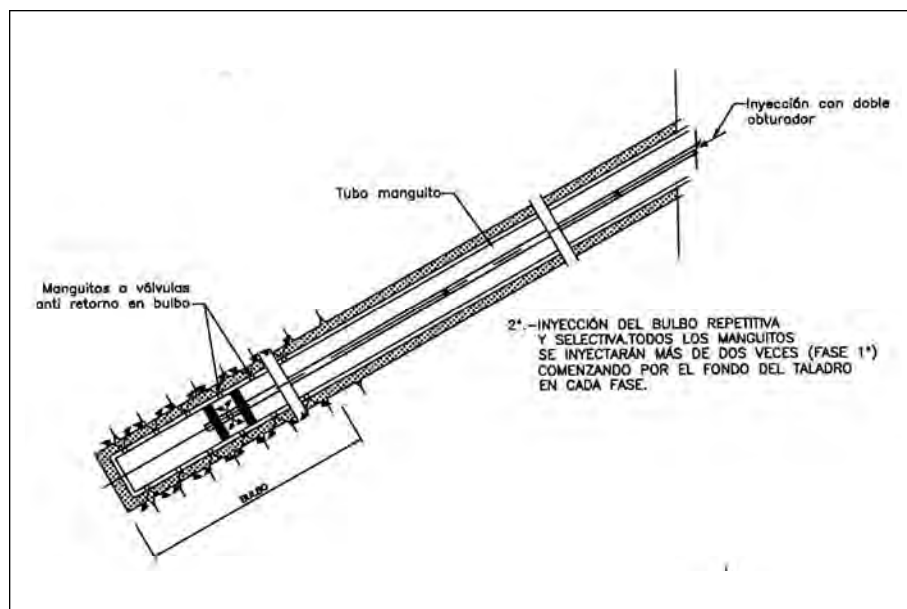


Figura 10. INYECCIÓN IRS, SEGUNDA FASE

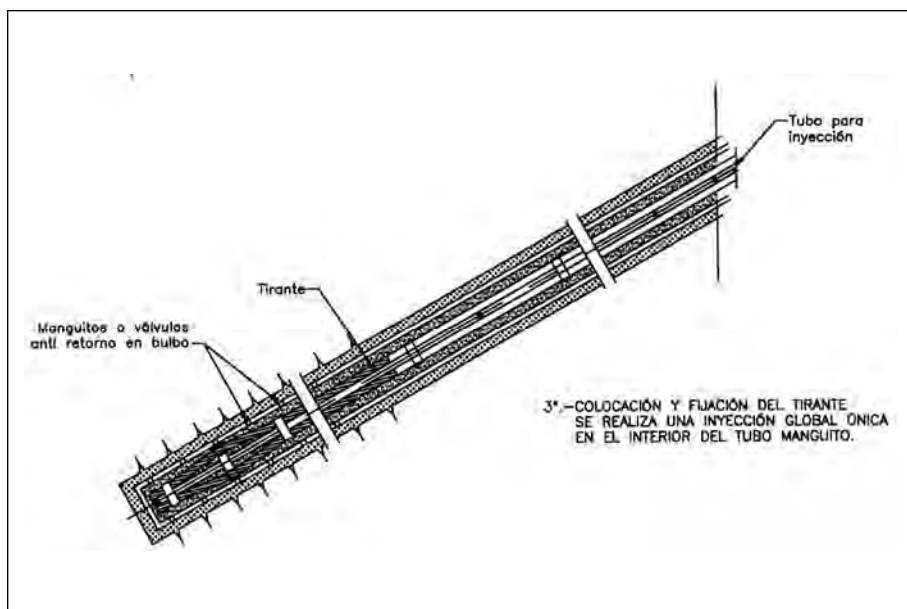


Figura 11. INYECCIÓN IRS, TERCERA FASE

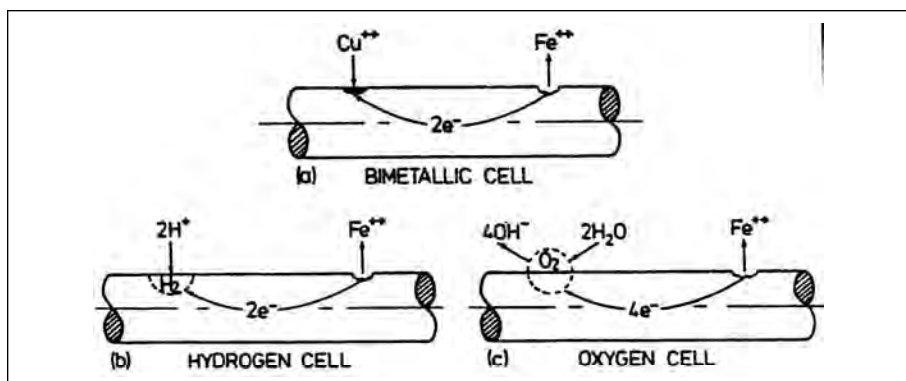


Figura 12. REPRESENTACIÓN IDEAL DE LOS TRES MODOS PRINCIPALES DE CORROSIÓN (según Longbottom and Mallet, 1973):
a) Localizada - b) Por hidrógeno - c) Por oxígeno

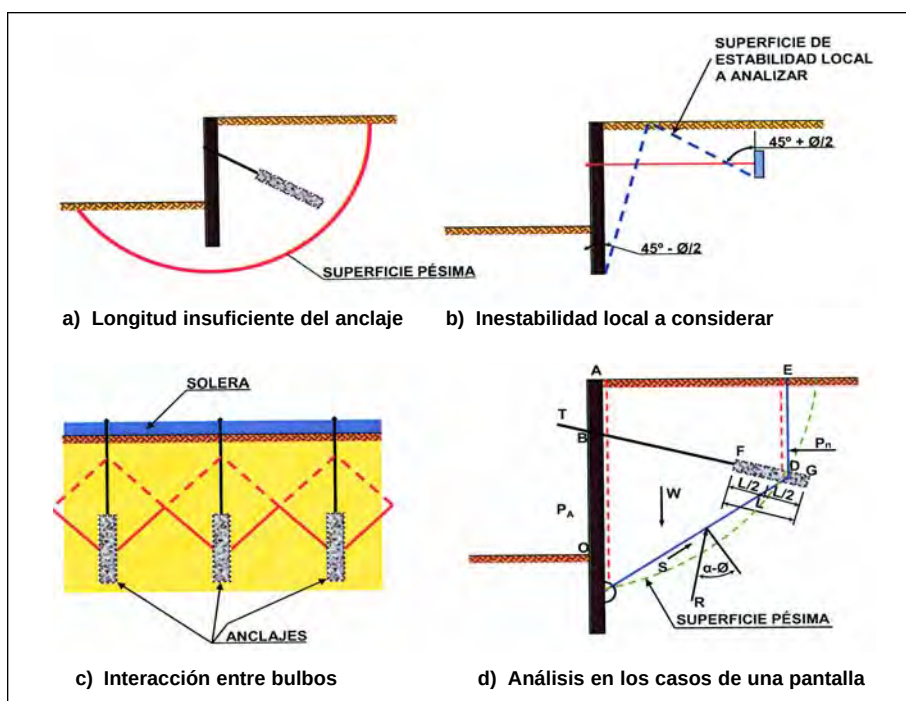


Figura 13. ALGUNOS EJEMPLOS DE SITUACIONES EN LAS QUE SE DEBE COMPROBAR LA ESTABILIDAD GLOBAL

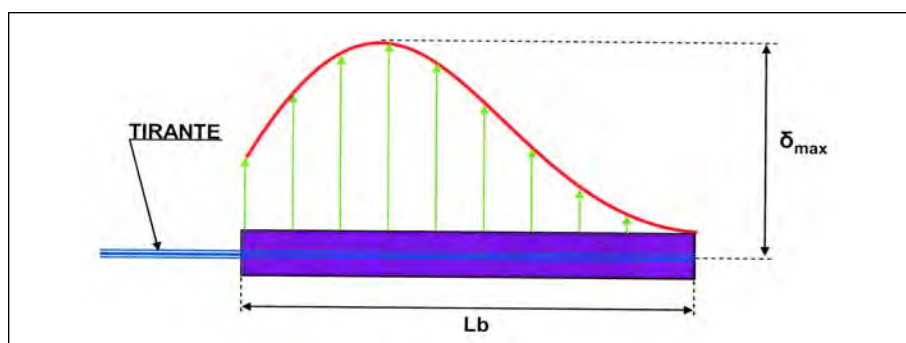


Figura 14. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES TANGENCIALES A LO LARGO DEL BULBO DE UN ANCLAJE

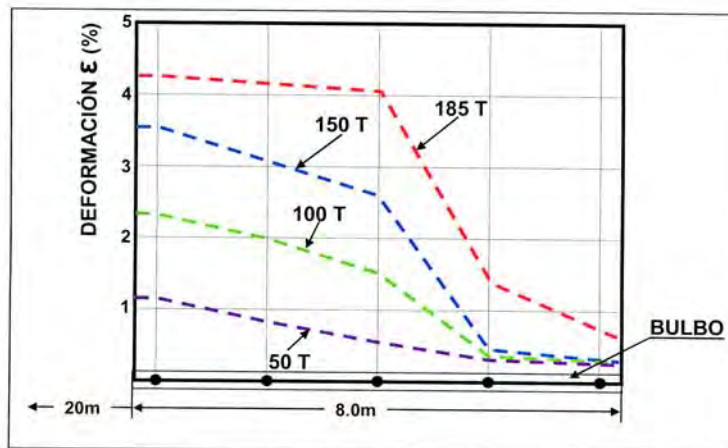


Figura 15. DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA-DEFORMACIÓN EN UN BULBO DE ANCLAJE DE 220T (Muller, 1966)

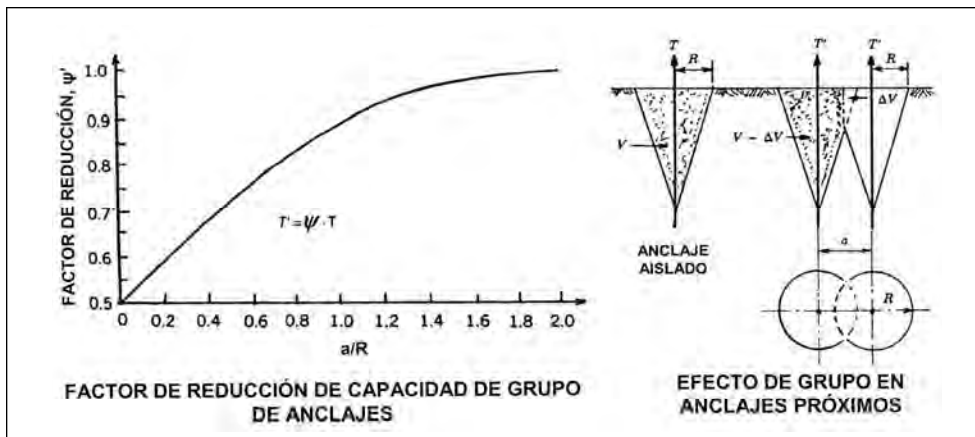


Figura 16. EFECTO DE GRUPO EN ANCLAJES

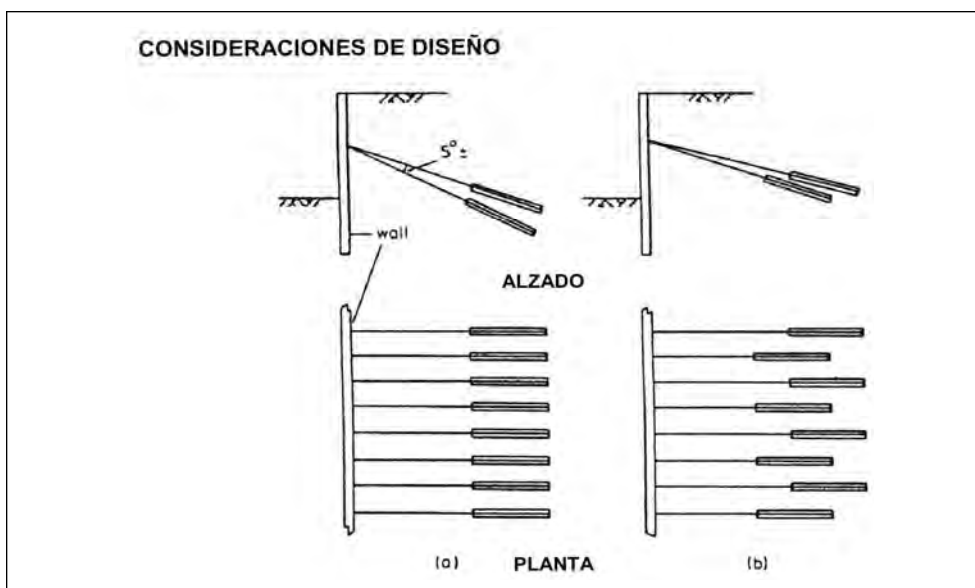


Figura 17. DISPOSICIÓN DE ANCLAJES CON SEPARACIONES PEQUEÑAS VARIANDO: a) Inclinación - b) Longitud

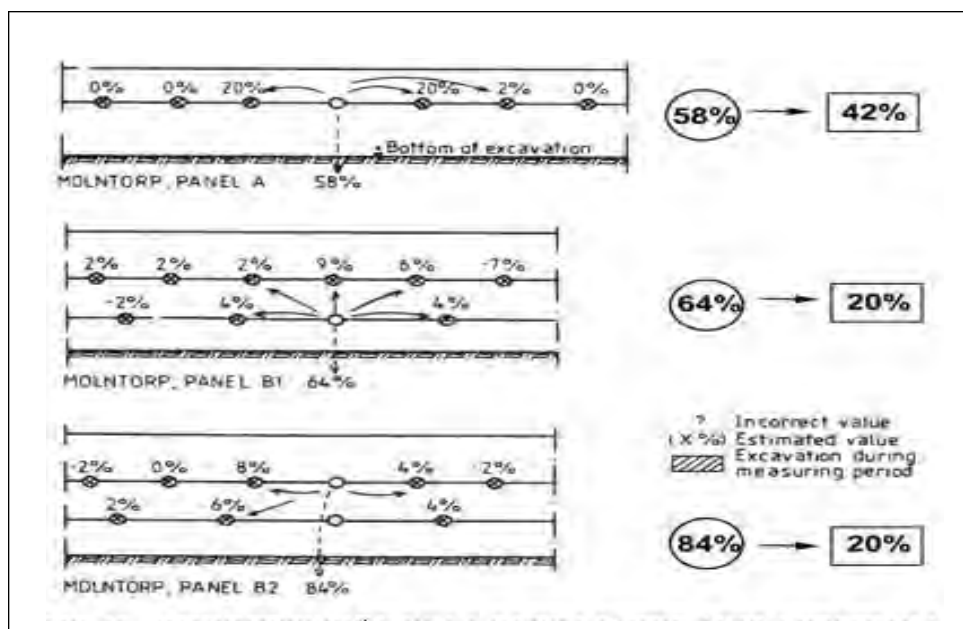


Figura 18. REDISTRIBUCIÓN DE LA CARGA ENTRE ANCLAJES TRAS LA ROTURA DE UNO DE ELLOS (Stille, 1976)

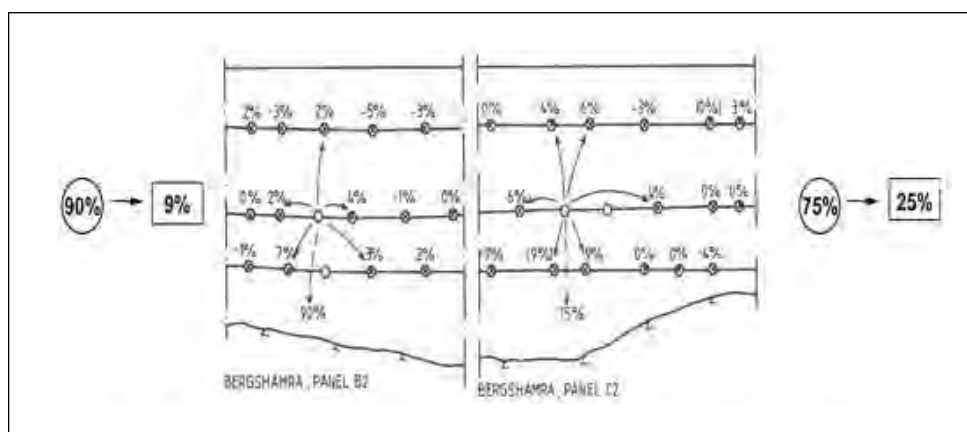


Figura 19. REDISTRIBUCIÓN DE LA CARGA ENTRE ANCLAJES TRAS LA ROTURA DE UNO DE ELLOS (Stille, 1976)

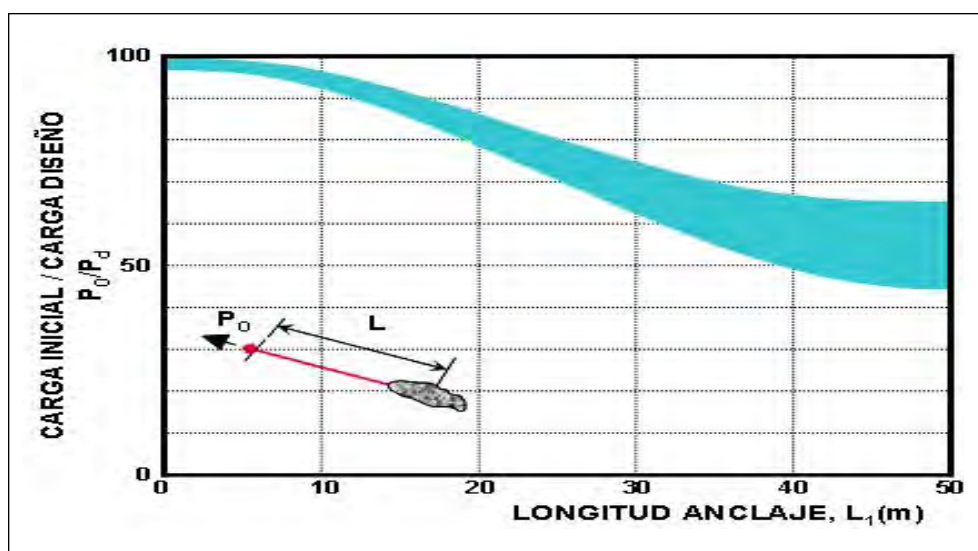


Figura 20. POSIBLE RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD MEDIA DEL ANCLAJE Y LA CARGA DE TESADO

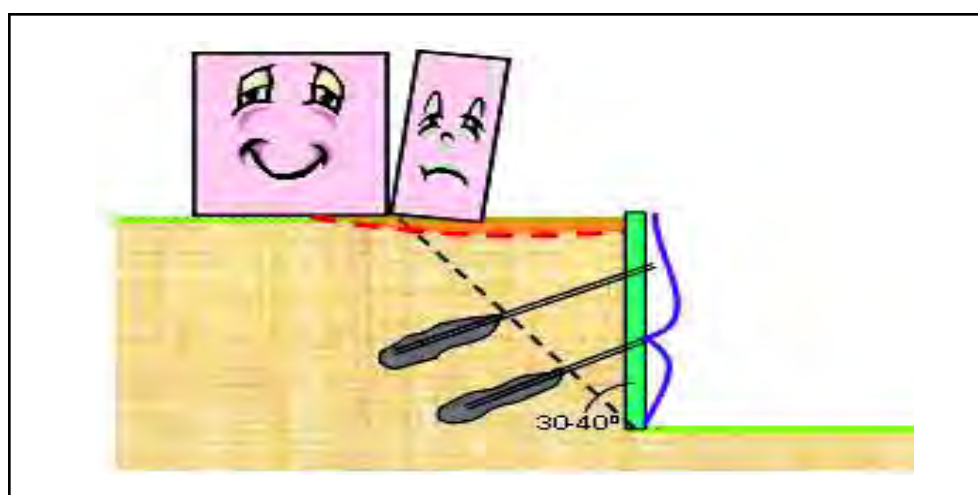


Figura 21. POSIBLE EFECTO DE ANCLAJES CORTOS

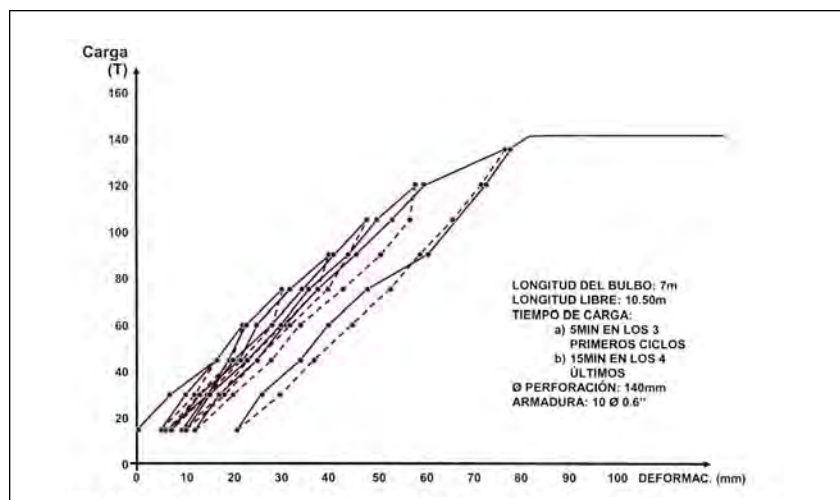


Figura 22a. ENSAYO DE ARRANCAMIENTO DE BULBO EN LA ARENA TOSQUIZA DE LA ESTACIÓN DE COLONIA-JARDÍN DEL METRO DE MADRID. RELACIÓN CARGA-DEFORMACIÓN

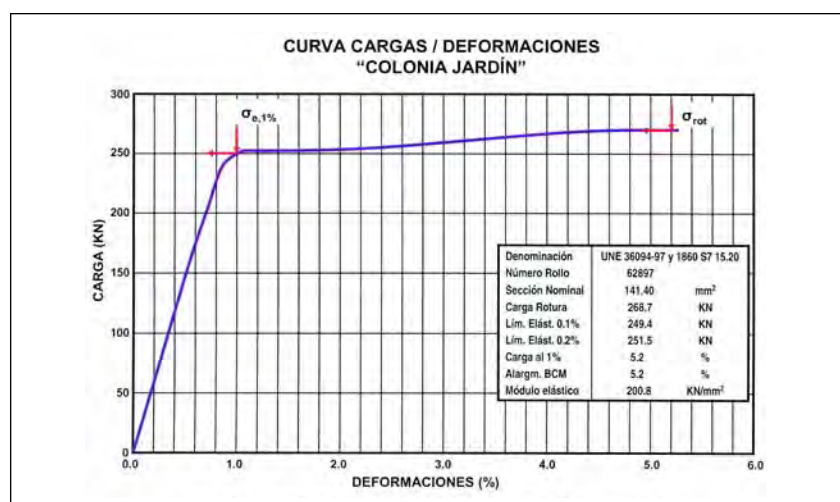


Figura 22b. ENSAYO DE ADECUACIÓN EN COLONIA-JARDÍN

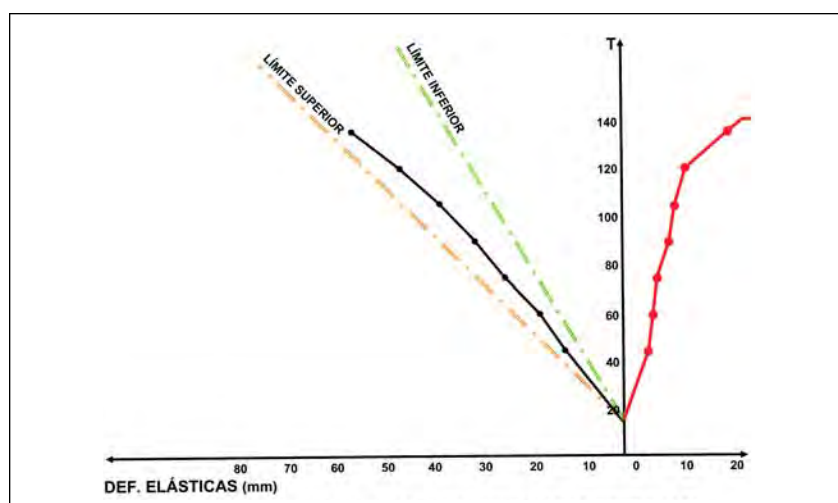


Figura 23. ENSAYO DE DEFORMACIONES RECUPERABLES Y RESIDUALES



Figura 24. ANCLAJE EN ESTACIÓN Y POZO DE ATAQUE
(Línea 3 del Metro de Madrid, en construcción)

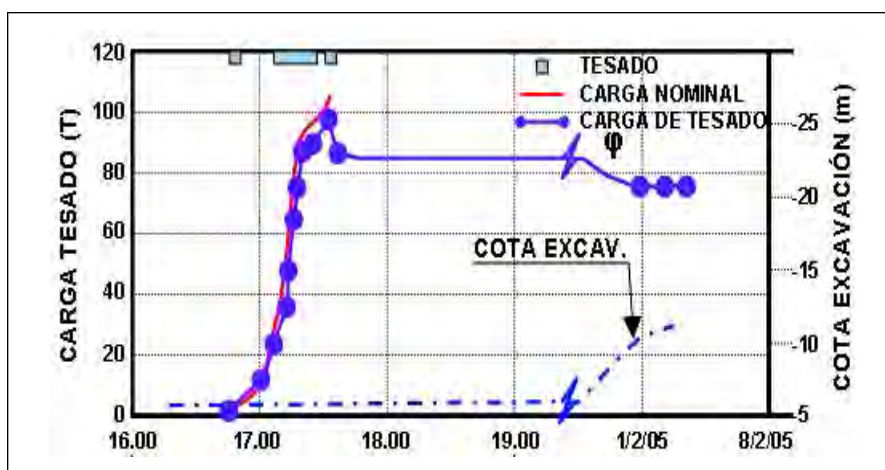


Figura 25. CARGA DE TESADO EN UN ANCLAJE DE LA ESTACIÓN
DE LA FIGURA 24.



Figura 26. DECÁLOGO DEL DISEÑO DE UN ANCLAJE

Normativa y recomendaciones sobre anclajes al terreno. Aplicación a proyectos y obras de la Dirección General de Carreteras

Álvaro PARRILLA ALCAIDE

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DEL ESTADO
SERVICIO DE GEOTECNIA.DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS
MINISTERIO DE FOMENTO

Introducción

Este texto pretende pasar revista tanto a la normativa como a las principales recomendaciones específicas sobre anclajes al terreno, a considerar en los proyectos y obras de la Dirección General de Carreteras (en lo sucesivo, DGC) del Ministerio de Fomento, a principios de 2005, analizando de forma somera su contenido.

Los textos en cuestión son:

- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3, artículo 675: *Anclajes*.
- Norma UNE EN 1537 *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes*.
- Publicación de la DGC: *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*.

Los tres documentos referidos han aparecido en un lapso temporal relativamente breve y reciente:

- a) La norma UNE EN 1537 fue aprobada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) en 1998 y publicada por AENOR en 1999, aunque sus borradores venían siendo estudiados desde varios años antes.
- b) El artículo 675 del PG-3 fue aprobado en 2000 (en su versión preliminar dentro de la Orden Circular 326/00) y 2002 (Orden FOM 1382/2002).
- c) La primera edición de la *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera* vio la luz en 2001 y la segunda, revisada y puesta al día, lo hizo en 2003.

1. PG-3. EL ARTÍCULO 675: ANCLAJES

En el PG-3 esta unidad de obra cuenta con un artículo específico, el 675, que se incluye dentro de la parte de estructuras, capítulo de cimentaciones; en su versión vigente fue aprobado¹ por la Orden FOM 1382/2002, de 16 de mayo.

El texto de la referida orden ministerial ha seguido una rigurosa tramitación administrativa, tanto a nivel nacional como de los restantes Estados miembros de la Unión Europea, que garantiza su conocimiento y la participación de los interesados en el mismo.

¹ Orden FOM 1382/2002, de 16 de mayo, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones («B.O.E.» de 11 de junio de 2002; corrección de erratas en «B.O.E.» de 26 de noviembre de 2002).

En el momento de redacción de este documento, los textos referidos pueden obtenerse, además de en las correspondientes publicaciones de la DGC, en las siguientes direcciones internet:

<http://www.boe.es/boe/dias/2002-06-11/pdfs/A20938-20991.pdf>

<http://www.boe.es/boe/dias/2002-11-26/pdfs/A41607-41607.pdf>

Su cometido es el de fijar unos requisitos mínimos para esta unidad en las obras de la DGC, por lo que, en general, se centra en cuestiones básicas, pretendiendo establecer umbrales y tolerancias que deben proporcionar un estándar de calidad exigible en cualquier circunstancia. Este pliego no contempla cuestiones relativas al cálculo de las unidades de obra de que en cada caso se trate.

Por otra parte, no debe olvidarse el carácter contractual del PG-3, lo que le hace abundar en conceptos poco habituales en otras normas o publicaciones en general, tales como el modo de efectuar su medición y abono.

El contenido del artículo 675 se describe, brevemente, a continuación:

1.1. Definición

El PG-3 define «**anclaje**» como *dispositivo capaz de transmitir una carga de tracción, aplicable sobre el mismo, a una zona de terreno capaz de soportar dicho esfuerzo*; indica que sus partes fundamentales son cabeza, longitud libre y bulbo, y establece sendas clasificaciones en función de su vida útil (fijando la frontera entre temporales y permanentes en los dos años) y de su forma de trabajar (activos y pasivos).



PG-3 EN FORMATO CD ROM
(Publicación DGC 2004)

1.2. Materiales y productos

Establece como premisa básica la compatibilidad entre los materiales y productos que forman el anclaje, tales como armadura, productos de inyección, manguitos, separadores, etc. Acto seguido define los requerimientos mínimos de sus componentes:

- **ARMADURAS:** Pueden ser cordones para hormigón pretensado o barras corrugadas para hormigón estructural, remitiendo, para el empleo de otras tipologías al proyecto o al director de las obras..
- **CABEZA:** Debe permitir la puesta en carga de la armadura, estableciendo el artículo unas tolerancias mecánicas y geométricas.
- **MANGUITOS:** Los empalmes entre armaduras no deben suponer merma alguna en las características de los anclajes.
- **BULBO:** Fija características básicas de la armadura, e indica cuándo la lechada debe ser confirmada con ensayos previos.
- **SEPARADORES:** Se establece un recubrimiento mínimo para las vainas, que no deben interferir en la inyección de la lechada.
- **LECHADA Y ADITIVOS:** Se fijan requisitos mínimos por referencia a la EHE, indicando unas relaciones a/c, tanto para bulbos como para inyecciones de sellado.
- **RESINAS:** Su empleo debe recibir el visto bueno del director de las obras, recomendándose efectuar ensayos previos.
- **PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN:** Todos los elementos puestos en tensión deben protegerse. Distingue entre anclajes temporales y permanentes, para los que establece una serie de alternativas en los elementos inaccesibles (dos barreras anticorrosión, una sola y ensayo del sistema, u otros aprobados por el director de las obras).
- **COMPONENTES Y MATERIALES CONTRA LA CORROSIÓN:** Se refieren los requisitos mínimos a satisfacer por vainas y conductos plásticos, manguitos termorretráctiles, dispositivos de estanqueidad, lechadas, resinas y otros productos análogos, así como tubos y caperuzas metálicas.

1.3. Ejecución

Se distingue la perforación del resto de operaciones: fabricación, transporte, almacenaje y puesta en obra.

- **PERFORACIÓN:** El taladro deberá ejecutarse fundamentalmente con las características especificadas en el proyecto, si bien deberán detectarse in situ las posibles variaciones en las características del terreno respecto de lo previsto en éste. Deberán redactarse partes de trabajo en que se refieran los datos básicos de la perforación.
- **FABRICACIÓN, TRANSPORTE, ALMACENAJE Y PUESTA EN OBRA:** Los tres primeros aspectos se refieren de forma conjunta, incidiendo con mayor de talle en el cuarto, para el que se abordan separadamente las fases de inyección y tesado.



PG-3. CONSTRUCCIÓN DE EXPLANACIONES, DRENAJES Y CIMENTACIONES
(Orden FOM 1382/2002. Publicación DGC 2002)

1.4. Ensayos, vigilancia y control

Se consideran diferentes tipos de ensayos: de investigación, adecuación (o idoneidad) y aceptación, siendo los métodos de carga los recogidos en las normas NLT 257 y NLT 258, asimismo se fija la sensibilidad y precisión de los equipos de medida.

- **ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN:** Previos a la ejecución de los anclajes, recomendados especialmente para terrenos poco conocidos o tensiones de anclaje altas.
- **ENSAYOS DE ADECUACIÓN O IDONEIDAD:** En condiciones análogas a los anclajes de las obras, sirven para confirmar la capacidad del anclaje para soportar la tensión de prueba.
- **ENSAYOS DE ACEPTACIÓN:** Al efectuar el tesado de los anclajes, sirven para comprobar la capacidad del anclaje para soportar la tensión de prueba y sus características de fluencia en el estado límite de servicio.

1.5. Medición y abono

Debido al carácter contractual del PG-3, indica criterios básicos para la determinación de la forma de medir y de los conceptos que resultan de abono.

2. La Norma UNE EN 1537: Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes

Elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 288 *Ejecución de trabajos especiales* y aprobada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) en febrero de 1998, presenta once capítulos y seis anexos informativos, que pasan a resumirse a continuación.

2.1. Objeto y campo de aplicación

La norma resulta de aplicación a la instalación, a los ensayos de control de los anclajes al terreno, tanto permanentes como provisionales.

2.2. Normas para consulta

Se incluyen una serie de normas de consulta, destacando la referencia, como marco normativo básico, a los Eurocódigos.

2.3. Definiciones y símbolos

Los términos empleados en la norma se utilizan con el mismo significado que en los Eurocódigos, si bien se incluyen algunas definiciones específicas, entre las que quiere destacarse la de «anclaje al terreno» como *dispositivo capaz de transmitir las fuerzas de tracción, que le son aplicadas, a un lecho de terreno resistente*. Además incluye un listado con la notación empleada en la norma.

2.4. Necesidades específicas

Indica la importancia de tener un adecuado conocimiento de las características del terreno, las estructuras y el proyecto de construcción, con carácter previo a la ejecución de los anclajes. Recomienda efectuar ensayos y verificar los parámetros de cálculo antes del inicio de los trabajos e incluye una tabla en la que se relacionan actividades propias del proceso de diseño y de la ejecución.

2.5. Reconocimiento geotécnico

Incide en la importancia de efectuar un buen reconocimiento geotécnico, recomendando que éste sea capaz de garantizar que:

- Se haya alcanzado una formación geológica conocida.
- Un estrato más profundo no afecte al proyecto.
- Las condiciones de las aguas subterráneas estén bien definidas.



NORMA UNE EN 1537

Deben además conocerse una serie de parámetros, diferentes según se trate de suelos o rocas, a partir de los cuales sea posible definir las dificultades relativas a la estabilidad, presencia de agua u obstáculos, procedimiento constructivo de la perforación y pérdidas de lechada en su caso.

2.6. Materiales y productos

De manera intencionada, el apartado 675.2 del PG-3 presenta una estructura análoga al capítulo 6 de la norma UNE EN 1537, por lo que se remite al lector al epígrafe 1.2 de este texto.

2.7. Consideraciones relativas al diseño

Pasa revista a los principales puntos a tener en cuenta durante el proyecto, para lo que remite al anexo D, que con carácter informativo incluye algunas cuestiones básicas al respecto.

Indica que las estructuras ancladas pueden ser obras de: contención; estabilización de terraplenes, taludes y cavidades subterráneas; enterradas y sometidas a presiones intersticiales, o que transfieren al terreno tracciones generadas por acciones exteriores.

Finalmente incluye una serie de indicaciones básicas a reflejar en planos y a tener en cuenta en el diseño, tales como la secuencia de puesta en carga de los anclajes o las posibles consecuencias de la rotura de un tirante.

2.8. Ejecución

De manera intencionada, el apartado 675.3 del PG-3 presenta una estructura análoga al capítulo 8 de la norma UNE EN 1537, por lo que se remite al lector al epígrafe 1.3 de este texto.

2.9 Ensayos, vigilancia y control

De manera intencionada, el apartado 675.4 del PG-3 presenta una estructura análoga al capítulo 9 de la norma UNE EN 1537, por lo que se remite al lector al epígrafe 1.4 de este texto.

La norma incluye como anexo E (informativo) una serie de procedimientos de carga que, en esencia, se corresponden con las normas NLT 257 y NLT 258, las cuales se describen en el apartado 4 de este texto.

2.10. Actas y partes

Indica que se debe preparar un plan de ejecución de los anclajes y un parte por cada anclaje, que refleje lo realmente efectuado en obra. Esta documentación, junto con las actas de todos los ensayos realizados, debe conservarse. Propone unos formularios tipo en el anexo F (informativo).



PG-3. GUÍA PARA EL DISEÑO Y LA EJECUCIÓN DE ANCLAJES AL TERRENO EN OBRAS DE CARRETERA (Public. DGC 2001 y 2003)

2.11. Requisitos particulares

El último de los capítulos de la norma europea, remite a la normativa de cada Estado en lo referente a riesgos ambientales, seguridad y salud.

2.12. Anexos

Se incluyen un total de seis anexos de carácter informativo, que se listan a continuación:

- A) **Ensayo eléctrico** de protección contra la corrosión.
- B) Examen previo de la protección contra la corrosión.
- C) Criterios de aceptación de **productos viscosos** de protección anticorrosión y ejemplos de normas de ensayo relativos a las propiedades de estos materiales.
- D) **Cálculo** de los anclajes.
- E) Ejemplo de métodos de **ensayos de tirantes**.
- F) Ejemplos de partes y acta.

De todos ellos se da cuenta en la publicación de la DGC: *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*, que pasa a describirse a continuación.

3. Publicación de la Dirección General de Carreteras: *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*

Esta publicación² fue redactada por la Dirección Técnica de la DGC con la colaboración de AETESS. Recoge cuestiones relativas al diseño y cálculo de los anclajes, así como a la ejecución y control de los mismos.

Consta de siete capítulos y tres apéndices, y no resulta de obligado cumplimiento, aunque si de uso recomendado, en los proyectos y obras de la DGC.

Su redacción es posterior a la aprobación de la norma UNE EN 1537, y del artículo 675 del PG-3, por lo que ambos textos se tienen en cuenta en la Guía.

Se han publicado dos ediciones, la primera en enero de 2001 y la segunda en junio de 2003, que fue revisada y puesta al día e incluye un CD-ROM con la versión del libro en formato pdf.

² Ficha técnica de la segunda edición: *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento. ISBN:84-498-0667-4; NIPO:161-03-047-9.

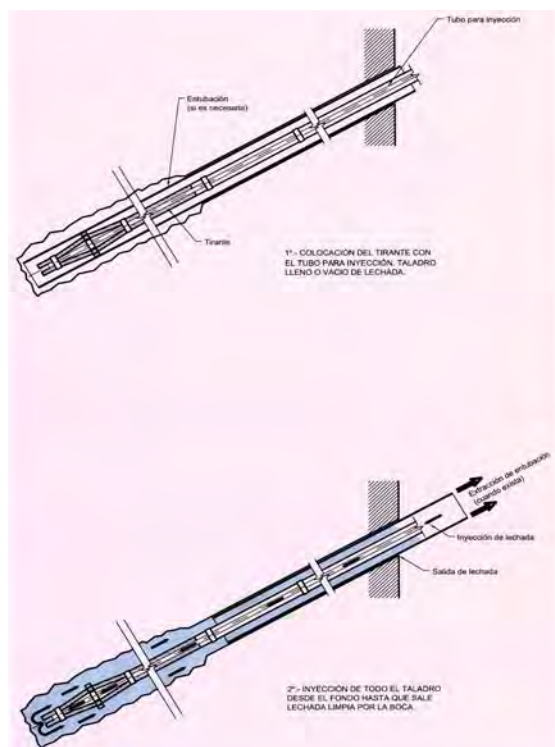


Figura 2.3. PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (Anclajes IU. Tipos 1,3, 5 y 7)

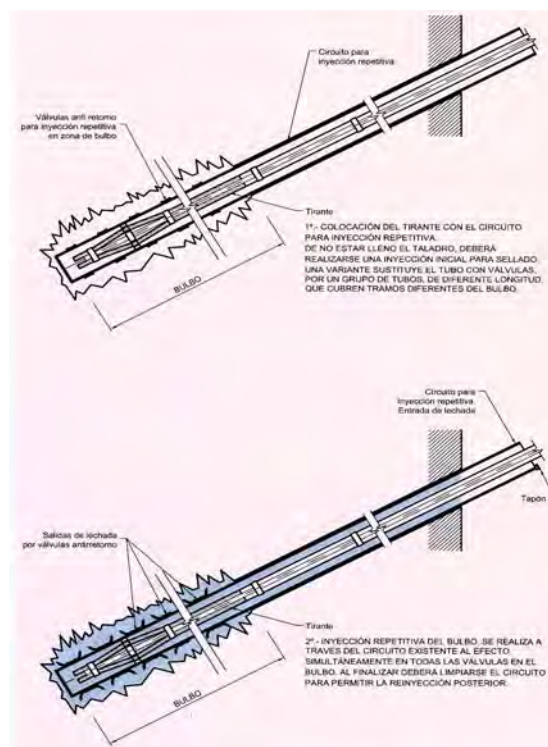


Figura 2.4. PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN REPETITIVA (Anclajes IR. Tipos 2a,4a, 6a y 8a)

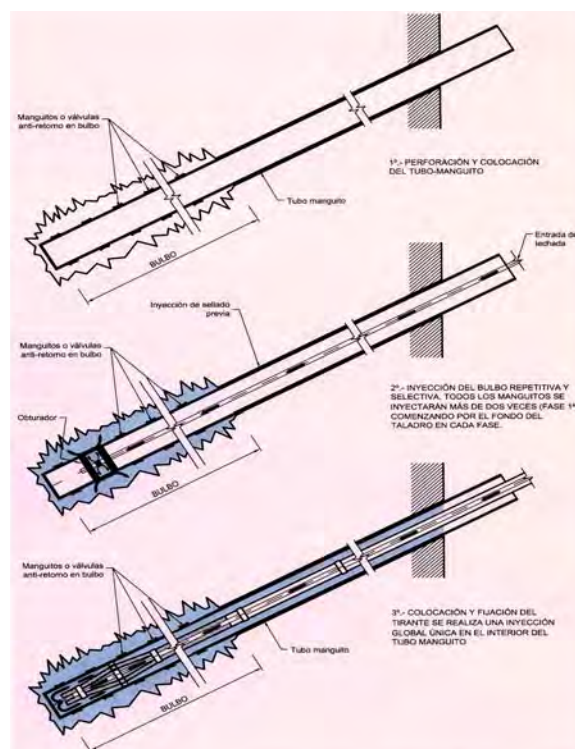


Figura 2.4. PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN REPETITIVA Y SELECTIVA (Anclajes IRS. Tipos 2b,4b, 6b y 8b)

PROCEDIMIENTOS DE INYECCIÓN DEL BULBO: IU, IR, IRS
(Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. DGC)

A continuación se resume brevemente su contenido:

3.1. Introducción

La Guía se refiere al diseño y a las condiciones mínimas exigibles durante la ejecución de anclajes al terreno... tanto provisionales como permanentes. Se incluye además, en este primer apartado de la obra, un listado de definiciones que se utilizan más adelante en la misma.

3.2. Tipos de anclaje considerados en la Guía. Materiales y productos

Comienza estableciendo clasificaciones tipológicas, para después abundar en las características de los materiales.

Clasificaciones:

Establece las siguientes:

- **PROVISIONALES Y PERMANENTES:** Se fija el límite temporal entre ambos en los dos años.
- **ACTIVOS Y PASIVOS:** Según el valor de la carga inicial de tesado, como fracción de la máxima prevista en el proyecto.
- **RETESABLES O NO:** En función de la posibilidad de variar la carga durante su vida útil.
- **DE CABLES O BARRA:** Según cuales sean los elementos constituyentes del tirante.
- En función del **TIPO DE INYECCIÓN DEL BULBO:** IU (única global), IR (repetitiva), IRS (repetitiva y selectiva).

Materiales constituyentes de los anclajes:

Señala las principales características de los aceros y lechadas de cemento, así como algunas otras relativas a la cabeza, centradores, empalmes, etc.

Sistemas y materiales de protección contra la corrosión:

Los elementos de acero sometidos a tracción deberán estar protegidos contra la corrosión durante su vida útil; así, la Guía refiere sistemas de protección diferentes según se trate de anclajes provisionales o permanentes. Lo tocante a los materiales se concreta en la descripción de las características básicas de elementos como vainas, manguitos, juntas y caperuzas, o de materiales propiamente dichos como lechadas y productos viscosos (para estos últimos se incluye una tabla con los requisitos esenciales a verificar).

3.3. Diseño de los anclajes

Este capítulo pretende que el lector pueda efectuar el dimensionamiento del anclaje a partir de unos esfuerzos exteriores conocidos. Constituye uno de los aspectos más importantes de la publicación por cuanto que contiene criterios de cálculo que, por su mayor especificidad, no se incluyen en la norma UNE EN 1537.

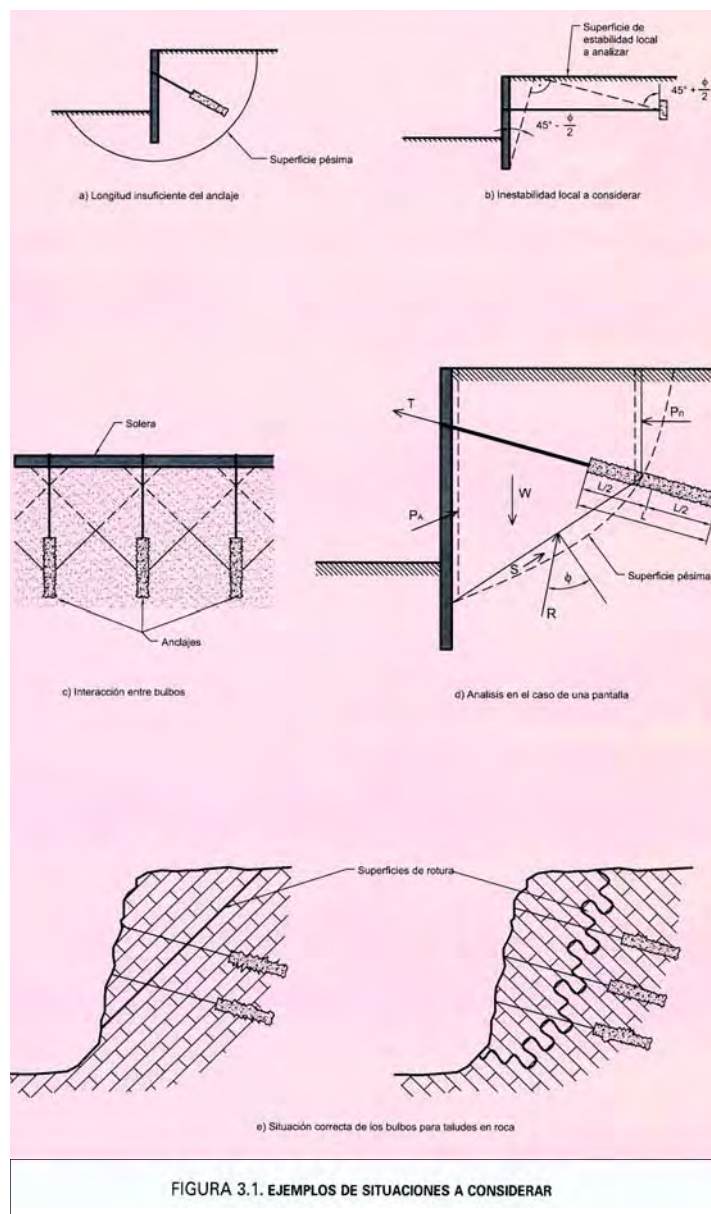
La segunda edición de la Guía (junio de 2003) se encuentra adaptada a los criterios establecidos en otra publicación de la DGC de ámbito más general, como es la *Guía de cimentaciones*, aparecida en marzo de 2003, a la que se refieren directamente una serie de aspectos, tales como situaciones de proyecto, modos de fallo de las estructuras, coeficientes de seguridad, etc.

Los criterios de estabilidad a considerar en los cálculos, distinguen claramente entre el equilibrio global, que debe abordarse conforme a lo especificado en la citada *Guía de cimentaciones* y la estabilidad local de cada anclaje, que involucra el comportamiento de sus elementos constituyentes de forma aislada, y que es a la que se refiere con mayor profusión en la *Guía de anclajes*.

Se indican algunas recomendaciones relativas a la posible rotura de la cabeza del anclaje, o incluso de la estructura a anclar, que resultan más propias del diseño que del cálculo propiamente dicho.

Posteriormente se evalúa la estabilidad del anclaje mediante la siguiente secuencia:

- Mayoración de las cargas actuantes.
- Comprobación de la tensión del acero del tirante (rotura del tirante a tracción).
- Comprobación del deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo.
- Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo (deslizamiento bulbo-terreno).



EJEMPLOS DE SITUACIONES DE CÁLCULO A CONSIDERAR
 (Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. DGC. Fig.3.1)

La última de estas comprobaciones puede abordarse mediante ensayos de investigación, de forma analítica a través del modelo de Mohr-Coulomb (con parámetros resistentes del terreno minorados), o mediante ábacos, en función de los tipos de terreno y anclaje.

3.4. Ejecución de los anclajes

Comprende las siguientes fases:

- Fabricación, transporte y almacenamiento de los tirantes.
- Perforación de los taladros.
- Instalación de los tirantes.
- Inyección del anclaje.
- Tesado del anclaje.

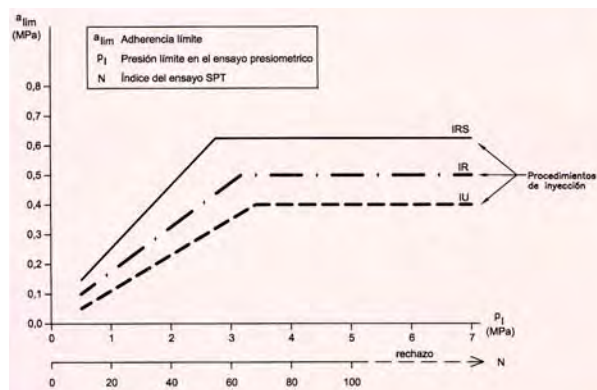


FIGURA 3.2. ADHERENCIA LÍMITE EN ARENAS Y GRAVAS

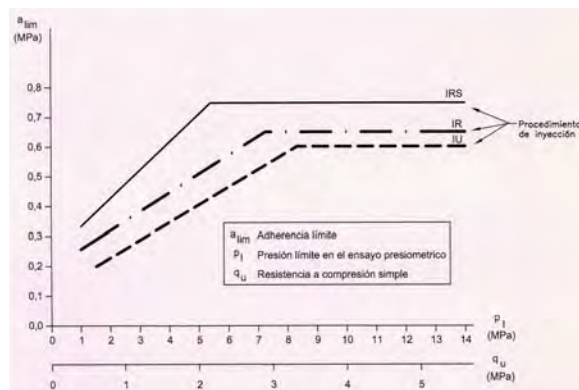


FIGURA 3.4. ADHERENCIA LÍMITE EN MARGAS, MARGAS YESÍFERAS Y MARGAS CALCÁREAS

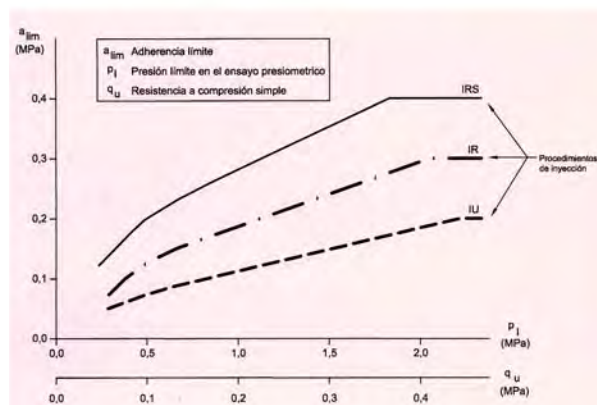


FIGURA 3.3. ADHERENCIA LÍMITE EN ARCILLAS Y LIMOS

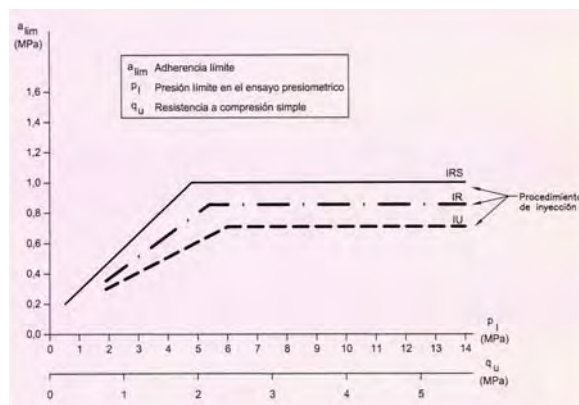


FIGURA 3.5. ADHERENCIA LÍMITE EN ROCA ALTERADA (GRADO IV O SUPERIOR, SEGÚN ISRM)

ADHERENCIA LÍMITE EN SUELOS Y ROCAS ALTERADAS

(Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. DGC. Figs. 3.2 a 3.5)

Para su redacción se partió del artículo 675 del PG-3 que, como se ha manifestado, refiere requisitos constructivos básicos.

Por su naturaleza como texto puramente divulgativo, la Guía entra en mayores detalles y añade cuestiones adicionales que enriquecen lo especificado en el pliego, tales como tablas de diámetros mínimos de perforación para anclajes de cables o barras, esquemas de los procesos de inyección, recomendaciones para la redacción de los protocolos y partes de trabajo, etc.

3.5. Pruebas y ensayos

Al igual que sucedía en el apartado anterior, el marco referencial básico es el artículo 675 del PG-3, que fija tres tipos de ensayo (véase epígrafe 1.4 de este texto). La Guía añade algunas otras cuestiones deducibles a partir de los ensayos tipo existentes, describe los métodos de carga contemplados para la realización de los mismos, etc.

3.6. Medición y abono

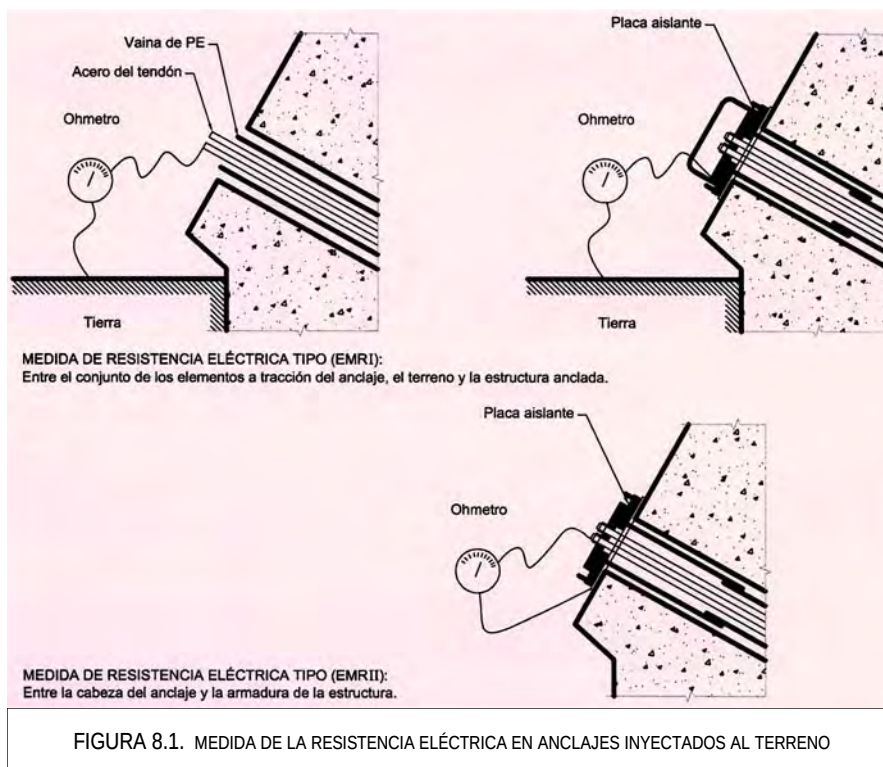
A título meramente orientativo, la Guía incluye un posible cuadro de precios tipo, acorde con lo establecido en el apartado 675.5 del PG-3.

3.7. Apéndices

Como séptimo capítulo se adjunta una sucinta relación bibliográfica de textos que, o bien sirvieron como base para la realización de la Guía, o se consideran de referencia en la materia.

El octavo y último capítulo comprende tres apéndices:

- A) Procedimientos de **medida del aislamiento eléctrico**: Se establecen dos sistemas para medir el aislamiento:
- EMR I: Entre el conjunto de los elementos a tracción del anclaje, el terreno y la estructura anclada.
 - EMR II: Entre la cabeza del anclaje y la armadura de la estructura.
- B) **Grado de alteración de las rocas** según la ISRM.
- C) Texto íntegro de las **normas** NLT 257 y NLT 258. *Ensayos de puesta en carga de anclajes.*



MEDIDA DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA EN ANCLAJES

(Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. DGC. Fig.8.1)

4. Otros documentos

Si bien se han presentado los principales textos básicos, específicos sobre anclajes, a considerar en los proyectos y obras de la DGC a principios de 2005, quiere llamarse la atención sobre la existencia de algunos otros, de índole tanto normativo, como divulgativo.

En el campo divulgativo, y sin perjuicio de entender que otras referencias pueden ser igualmente válidas, se recomiendan al lector los textos citados en la bibliografía que figura en la Guía.

En el campo normativo, y dejando aparte el artículo 675 del PG-3 y UNE EN 1537 ya descritos, puede distinguirse entre normas vigentes y otras que se encuentran en fase de elaboración.

Normas vigentes

Como necesario apoyo para posibilitar la aplicación práctica del artículo 675 del PG-3, y de acuerdo con lo referido en el anexo E de UNE EN 1537, se contemplan dos procedimientos de carga en las normas NLT 257 y NLT 258, cuyo texto íntegro se incluye asimismo en la Guía de la DGC.

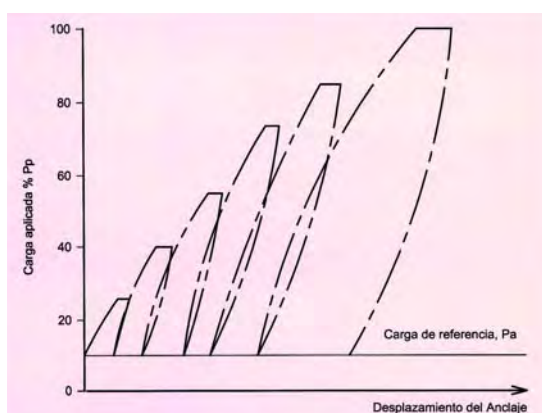
Estas normas, válidas para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje, se distinguen entre sí principalmente por el método de puesta en carga del mismo, que puede ser:

- NLT 257, mediante **ciclos sucesivos** de intensidad creciente y descarga hasta un valor de referencia constante, entre cada uno de ellos.
- NLT 258, mediante **fases incrementales**, sin descarga entre cada una de ellas.

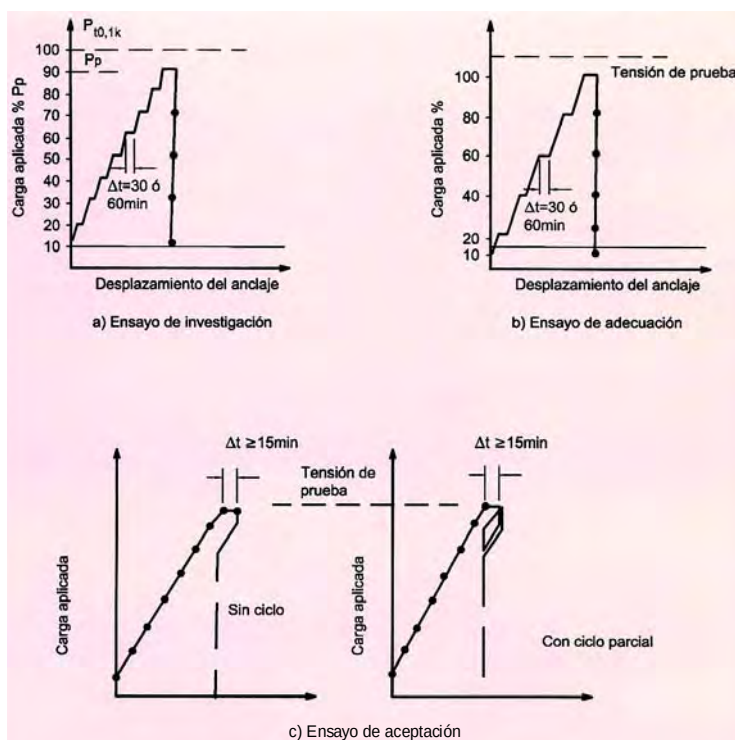
Proyectos de norma actualmente en elaboración

Desde septiembre de 2001, el Comité Europeo CEN TC 341 está elaborando la norma *EN ISO 22477-5 Reconocimientos y ensayos geotécnicos - Ensayos sobre estructuras geotécnicas. Parte 5: Ensayos sobre anclajes*, que se encuentra en fase de tercer borrador, estando prevista su conclusión para mediados del año 2006.

La norma en cuestión desarrolla los métodos de ensayo descritos someramente en el anexo E de UNE EN 1537, en los que a su vez se basan las normas NLT recién referidas.



MÉTODO DE LOS CICLOS, NLT 257



MÉTODO DE LAS FASES INCREMENTALES, NLT 258

(Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. DGC)

MESA REDONDA SOBRE

Diseño

MODERADOR:

D. Vicente CUÉLLAR MIRASOL

LABORATORIO DE GEOTECNIA DEL CEDEX

MIEMBROS DE LA MESA:

D. Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

D. Álvaro PARRILLA ALCAIDE

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO

Vicente CUÉLLAR MIRASOL (Moderador)

CEDEX

Vamos a pasar a la fase de discusión y debate. Yo pediría a los ponentes que me acompañaran en la mesa. Agradecería a todos los intervinientes que se identificaran con el fin de conste en la grabación.

José Luis DE JUSTO ALPAÑÉS

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Una pregunta dirigida a D. Carlos Oteo y a D. Álvaro Parrilla sobre el tema de la corrosión del acero. Hay una solución, que es colocar acero inoxidable, pero es carísima. Hay un tipo de anclaje: el «Titán», que utiliza la herramienta de perforación como el propio anclaje. En este caso, yo creo que no se puede añadir ningún aditivo tipo resina epoxi u otro material de recubrimiento, puesto que al final se queda allí. La experiencia que tenéis vosotros: ¿Con una buena ejecución de la lechada se puede uno fiar de que no haya corrosión? Estoy hablando de anclajes permanentes.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

No somos los más expertos en esos temas, y luego va a haber una mesa de ejecución a la que se puede trasladar la pregunta; pero, según mi experiencia personal, en lo que se confía más es en la lechada en los anclajes permanentes; a un diámetro grande de perforación, a un sistema de lechada bastante rico en cemento. Que se haya aprobado antes que el espesor; es decir, que el recubrimiento sea suficiente. La otra cosa es que los aceros preparados sean lo mejor posible. La perforación debe ser más grande, todos los cables o barras deben llevar buenos separadores, cosa que muchas veces se es roñoso en la perforación, con lo cual los recubrimientos pueden quedar mal, y hay que confiar mucho más en tratamientos de tipo térmico o en aditivos.

Amadeo VILAR BUMBECK

DYWIDAG SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Yo quisiera plantear una cuestión que es la más polémica y que afecta a toda la ejecución y al diseño. Después de catorce años que llevamos en esto, pienso que estamos en la geotecnia muy en pañales respecto a otras ramas de la ingeniería como pueden ser estructuras. Hemos visto diseños de bulbos de anclajes cuyas longitudes pueden ser de 1 metro hasta 40-50 metros. En cuanto a ejecución, hemos visto caer puentes por 16 anclajes provisionales, recientemente. He visto

muros ejecutados con una placa en el intradós y otra en el trasdós; no hay bulbo, no hay longitud libre, no hay nada. Está comprimido el muro en sí. Yo creo que, en el fondo, no se le da la importancia necesaria, y además, creo que un avance importante que es la línea de anclajes al terreno no tiene un carácter obligatorio; es una recomendación, y el PG3 es básico. Cuando se entra en detalle, porque al final los anclajes fallan por los detalles, por una protección, por la unión de la cabeza con la zona libre, por la entrada de agua en determinados momentos... si no hacemos que todas estas cosas sean de más de obligado cumplimiento... Por otro lado, los anclajes que utilizamos en geotecnia son iguales a los empleados en pretensado de puentes. El cable es el mismo, las cabezas son prácticamente las mismas; sin embargo, el control que se lleva en geotecnia no es tan exhaustivo como el que se lleva en otros campos. No sé si es porque es muy fácil echar la culpa al terreno, porque nadie se mete dentro, o por qué; pero sí me gustaría que se incidiera en eso y se diera más importancia, porque también en estos catorce años no he visto anclajes que cumplan las normativas obligatorias en todos sus aspectos o en todos sus puntos. No sé si se puede hacer algo al respecto.

Vicente CUÉLLAR MIRASOL (Moderador)

CEDEX

Evidentemente, yo creo que lleva razón en el sentido de realizar un control más exhaustivo de los diferentes trabajos que comprende ejecutar un anclaje correctamente. Tenemos guías, tenemos normativa como, por ejemplo, el PG3. Tal vez el control de obra día a día, conforme se están ejecutando los partes de ejecución, donde realmente se plasme lo que se está ejecutando y cómo se está ejecutando, es donde tenemos que incidir realmente para mejorar no sólo el diseño, sino la ejecución de los anclajes.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Si me permites otro comentario... Añado, al filo de esto de que la geotecnia está en pañales, que afortunadamente todos nos hemos dado cuenta. Ésa es la razón de que hoy estemos aquí reunidos y se redacten documentos como ensayos de laboratorio, instrumentación, guías, medidas, etc.; precisamente porque pensamos que queda mucho por saber. En otras ramas de la ingeniería a lo mejor piensan que lo saben todo, y a lo mejor el nivel de control no es tan bueno. Yo no me creo eso de que el control en las obras geotécnicas sea insuficiente y que en estructuras es mejor... En estos momentos en Madrid se están realizando unas obras muy importantes, dependientes de varias administraciones, en las que el control es el suficiente para garantizar el alto nivel de calidad exigido por las mismas. Y no veo que sea mejor en el campo de las carreteras ni en el campo de las estructuras. Todo tiene su riesgo. A mí los anclajes no me gustan, no me gustan nada. Pero tengo que vivir con ellos, son un arma poderosa. No me gustan nada porque no me gusta dejar nada a tracción, porque yo soy de deformación a compresión; es más, el acortamiento es positivo para nosotros, y en estructuras es al revés. A mí me han educado en deformación y en asentamientos, porque tienen muchas incógnitas. Y todas estas cosas que les acabo de comentar son reales..., ¡pero también los uso! Porque no nos queda más remedio. Si yo puedo evitar los anclajes, los evito. Pero hay veces que no encuentro otro arma... Es un arma muy poderosa y muy buena, pero hay que usarla con mucho cuidado..., como todo, cuando nos jugamos coeficientes de seguridad muy bajos. Hay que hacerlo muy bien, confiando en las perforaciones, controlándolo todo. No me gusta que digas: «Es que hay obras en que no se controla...» Yo creo que no es así. También hay obras que se hacen en plan barato con cuatro anclajes; también se hacen en plan barato cuatro pilotes, y llega el puente y se perfora el apoyo porque no tenía armadura la viga prefabricada. Yo creo que errores cometemos en todas las ramas de la ingeniería.

Álvaro PARRILLA ALCAIDE

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

Yo quería añadir que, desde el punto de vista de la normativa en el PG3, no se pueden establecer sanciones penales a los que no lo cumplan. Lo que se pretende es decir qué es lo que hay que

hacer. Otra cosa es cómo se lleve a cabo el control en obra. Desde el punto de la normativa no se puede decidir ni en el PG3 ni en la Guía; no podemos decidir. Nuestra potestad de poder influir o de poder decidir no es muy grande. Desde el punto de vista de hacer normativa, únicamente se puede decir qué es lo que hay que hacer, y si usted se lo quiere saltar, es su problema; pero entiendo que desde el punto de vista de la normativa se puede hacer muy poco más.

Leoncio PRIETO TERCERO

RODIO

Simplemente dos comentarios a lo que se acaba de decir. Es muy frecuente que en el tema de anclajes se compare la estructura anclaje con la misma estructura que se coloca en los cables del hormigón pretensado. Hay una diferencia fundamental: el anclaje va en el terreno. La mayoría de los fallos del anclaje no se producen en el cable, se producen en la instalación que se hace de ese cable. Por otro lado, tiene razón en lo que dice de la geotecnia; pero son precisamente los anclajes la estructura geotécnica que más se ensaya y más se prueba. En la mayoría de las obras se prueban todos.

Ramón LLUIS

INGENIERO CONSULTOR

Yo llevo muchos años haciendo anclajes, y los grandes problemas que siempre he visto en el diseño, o al menos el problema más común, es el cálculo de las longitudes totales; al menos, sobre todo, cuando hay varias filas. Esto veo que se ha pasado muy de puntillas. Creo que es muy importante porque en el esquema de superar la superficie de rotura es una condición necesaria, pero no suficiente, y por supuesto que estamos de acuerdo en los anclajes para que no se produzca la rotura por estabilidad global. Hay que diseñar los anclajes para que no se produzcan superficies de rotura planas; lo que estás haciendo es reproducir la rotura unos metros más atrás. Entonces el problema del bulbo, como muy bien ha dicho este señor, al tensar –lo estamos comprobando de alguna manera– podemos quedar con un coeficiente de seguridad más alto o más bajo; pero el de las superficies de la interacción terreno, pantalla, o muro y anclajes, esto no se prueba hasta que la excavación está a cota mínima y casi siempre está mal calculado, o muchísimas veces. El diagrama de Kranz creo que es un buen instrumento; pero sería recomendable que las filas inferiores fueran recorriendo los bulbos superiores de manera que las superficies de rotura no se pudieran crear. Si podéis añadir algo más sobre esto...

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Yo creo que no he pasado de puntillas...Se ha tocado en dos puntos de diez, me parece que no es pasar de puntillas. Lo que no he podido es desarrollarlo.

Precisamente he intentado, aunque no he conseguido, recordar que con eso no basta. Es decir, he dicho dos cosas: al principio hay que comprobar la estabilidad global en la norma, la *Guía de Carreteras*, la *Guía de Cimentaciones*, ¡que casi nadie lo hace! ¡Lo he dicho como una crítica! Lo que pasa es que en muchos casos tendremos una capa dura que se queda ahí; en cuanto haces el cálculo, no hay ningún problema. Tampoco es lo mismo calcular una pantalla de 7-8 metros de excavación con un anclaje que una excavación de 12 sótanos. Ahora en Coruña hay un escándalo con una excavación de 11 sótanos, con no sé cuántos anclajes, absolutamente pegada a las casas. Yo no he intervenido, pero está toda la prensa, ¡y me han llamado para que haga una declaración! Y yo, por supuesto, no lo voy a hacer, porque no tengo nada que ver, ni puedo opinar siquiera; sólo he visto una foto en un periódico. Evidentemente, no es el mismo nivel de cálculo. Ahí el problema es que debe comprobarse la estabilidad global. Pero ese 20 % me quita coeficiente de seguridad, y luego, si se rompe un anclaje, también me quita coeficiente de seguridad, y nos podemos quedar sin nada, sólo por problemas de diseño, de dibujo geométrico. Pero tienes razón, habría que comprobar un poco todo. Lo que pasa es que, con la experiencia que se suele tener en obras parecidas unas a otras, la gente no lo hace una vez que se han calculado dos o tres. Ahora, en cuanto empiezan las dimensiones un poquito más grandes, tiene que comprobarse esta estabilidad y ese

efecto de bulbos y dibujar los bulbos...

Ramón LLUIS

INGENIERO CONSULTOR

Hay otro aspecto que parece poco importante, pero que para mí lo es mucho, que es la inclinación del anclaje: las inclinaciones pequeñas. Es erróneo, porque, aparte de que constructivamente es más complicado el tema de la inyección, para el cálculo del equilibrio del conjunto del que hablamos antes es fundamental que las inclinaciones sean más importantes, hasta 25° ó 30°, 25° mejor. Entonces se equilibra mucho mejor todo el conjunto, y con longitudes más cortas alcanzas el mismo coeficiente de seguridad. Lo digo porque he visto anclajes dibujados a 15°, y a mí me parece que luego, en el cálculo de longitudes, lo pagas.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Lo que pasa es que muchas veces los ejecutores quieren un poco de inclinación; pero una inclinación fuerte complica. Entre 15 y 20°, unos 20° es una cosa muy correcta. Ya hace treinta y tantos años –algunos de los que están aquí se acordarán de eso– en Matagorda los hacíamos a 45° en las pantallas de dique seco. Había sólo una fila de anclajes, y hasta los probábamos. Bueno, hubo una prueba suprema: cuando se dragó el dique seco, la grava se apoyaba en los anclajes y tiraba de ellos. No era una prueba deseada, y hasta aguantaron, lo cual prohibimos en cuanto nos enteramos. Incluso hubo demasiada carga y tuvimos que reproducir numéricamente el efecto del tirón de aquellas dragas. Pero ya en aquella época –estamos hablando del año 1972 aproximadamente– no sólo se hacían bien, con buen diámetro, sino que hacíamos pruebas. Ha habido épocas gloriosas. De esto hace más de treinta años. Contaba Jiménez Salas las dificultades que tenían, pero que lograban tomar muestras buenas y muy grandes; y luego han pasado los años y ha habido un aumento de obras, y ha habido muchas prisas y mucha competencia, y los precios se han tirado por los suelos por muchos motivos: rivalidad entre compañías, etc. Todo esto son vaivenes, los anclajes son vaivenes. Hay muchas empresas, se corre mucho, los proyectos a veces ni se ven, o los pinta un señor en un estudio y no habla con la gente que hace estas cosas..., que es muy importante hablar con ellos. Otras cosas podemos controlarlas más nosotros, los que somos más de diseño. En anclajes es muy importante la opinión del que los hace.

Pregunta (Sin identificar)

En la universidad de Barcelona han editado unas recomendaciones en el año 1996 sobre anclajes que ni siquiera habéis citado. ¿Las conocéis?

Álvaro PARRILLA ALCAIDE

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

Entiendo que está en la bibliografía.

Antonio RODES PAYA

FORECIN

Mi pregunta va dirigida a D. Carlos Oteo. Yo he tenido la problemática a la hora de diseñar anclajes, sobre todo cuando diseñas la longitud del bulbo. A lo mejor te encuentras que atraviesa el bulbo una serie diferente de estratos de consistencia muy diferente y granulometría muy diferente: estratos limo-arenosos, gravas, arenosos... Cuando vas a diseñar ese bulbo, aparte de que los datos geotécnicos de partida suelen ser bastante pobres, te encuentras con la disyuntiva de qué propiedades considerar para calcular el bulbo, sabiendo que el comportamiento como respuesta a los esfuerzos a lo largo del bulbo es diferente. No se sabe si diseñar el bulbo en función del terreno más desfavorable o considerarlo por tramos teniendo en cuenta los cambios de tensión a lo largo del bulbo, etc. Agradecería que se me aclarara este tema.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Tú mismo lo estás diciendo. Fíjate en esa distribución de tensiones; es más o menos la que hemos pintado ahí. Si resulta que el terreno que es muy bueno está al final, olvídate, va a trabajar muy

poco. En un terreno multicapa hay que tener en cuenta la diferencia de deformabilidad. Tú estás arrancando y estás igualando una cohesión y el terreno tiene deformabilidades distintas. Al final probablemente arranques todo, pero también te da una gran deformación. Ahí es donde la inyección multiselectiva –o, digamos, repetitiva y selectiva– va muy bien y donde intentes hacer lo mejor posible y donde intentes mejorar la característica de ese terreno. Podría hacerse también como se hace con los pilotes: ponderando las características resistentes con la longitud de actuación. Eso en principio parece válido; pero yo miraría primero dónde está lo bueno y dónde está lo malo, porque ya te digo que lo último apenas trabaja, aunque su presencia cuenta dentro de las longitudes. Si tú tienes 40 metros, olvídate de los últimos 10 ó 12, que ni se van a enterar. Ten en cuenta estas informaciones y emplear el anclaje con mucha intuición. Ahora, tú ya has hecho una hipótesis que me ha dejado helado: ¡pobres datos geotécnicos! ¿Por qué?

Antonio RODES PAYA

FORECIN

Sí, porque a veces te encuentras con que los estudios geotécnicos no son lo suficientemente rigurosos.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

¡Pues no proyectes una obra complicada con pobres datos geotécnicos! Nosotros somos responsables de estas cosas. Por que tú vas a aceptar y quedarte con un pobre dato geotécnico del que no tienes ninguna garantía y vas a diseñar una obra delicada. Deberías exigir, para eso está en la norma: ensayo de tal tipo, investigación, adecuación, etc. Ésa es una de las cosas más importantes. Ese ensayo de arrancamiento del bulbo tiene que ser decisivo para la comprobación de lo que has diseñado o para cambiar los anclajes. Todavía no se sabe por qué son pobres los datos geotécnicos. Pues, hombre, pedid que os los hagan mejor, ¡que os hagan mejor las cosas! Sobre todo tenéis la salida esa de pedir ensayos de comprobación.

José María ECHAVE RASINES

TERRABAUER

En relación con la cuestión de José Luis Justo sobre anclajes autoperforantes, supongo que se refiere a la protección de anclajes permanentes, no el resto de los anclajes, porque hay normativa suficiente para saber cómo se hace. En estos anclajes, la verdad es que sí que es difícil garantizar un sistema de protección adicional a la lechada, al ser anclajes que no se meten después de hacer la perforación normalmente, sino que se utiliza el elemento en la propia perforación. Uno de los sistemas que se han empleado es el de pintar las barras de resina, resina que se puede perder también en la perforación por efecto del rozamiento del terreno al ser expulsado a través de él. Para mí, el principal problema está no sólo en la protección, sino en garantizar una longitud libre, ya que los sistemas que se están empleando, al ser barras que se unen mediante manguitos por las barras sucesivas, es complicado garantizar que haya una cierta longitud libre que no esté en contacto con la lechada, aunque las casas que lo fabrican dicen que lo garantizan. Es verdad que son anclajes de barra y la superficie específica de contacto es menor que la de los cables, con lo cual la durabilidad, si no se emplea la sección con una carga excesivamente alta a tracción, se puede garantizar mejor que en un cable. Pero para mí un problema importante en este tipo de anclajes, y en los de barra, es la protección de la zona final, que va a quedar expuesta teóricamente al aire o en contacto con la zona exterior y en la que hemos de cuidar muy bien la transmisión o el contacto de las placas para no meter esfuerzos adicionales de flexión a la hora de tensar. Es decir, son unas placas que son poco flexibles, con lo cual una mala colocación o mala inclinación de las mismas puede inducir efectos no deseados de flexión en las cabezas. Estos efectos añaden una tracción en la parte de la cabeza que se suma a la tracción propia del anclaje y que en estos casos puede tener una tracción no deseada y provocar una corrosión adicional; es decir, la corrosión les afecta más al estar bajo tensión. Yo quiero llamar la atención sobre la importancia que tiene conseguir una buena protección en la zona de placa, no sólo en la zona vista, sino en la zona del muro o posterior del

mismo, que es la zona más complicada de proteger.

José SERNA GARCÍA CONDE

ESTEYCO

Quería hacer un par de preguntas dirigidas a ambos ponentes. La primera respecto al diseño. Hay un par de aspectos que se han comentado bastante interesantes. Uno de ellos, el tema de la proximidad entre anclajes y el efecto grupo, y el otro, el tema de la diferencia en la distribución de las tensiones tangenciales que se generan en el propio bulbo. El propio profesor Oteo ha comentado que esa longitud de bulbo, como consecuencia de esa distribución, podría tomar sólo el 70 % como eficaz. Ese valor en las tensiones de adherencia límite en la *Guía* ¿está ya tenido en cuenta?

La segunda pregunta: También han comentado la conveniencia, en los anclajes permanentes, de poder dejar los rabos de los cables para poder llevar un seguimiento *a posteriori* de la evolución de las fuerzas. Quería preguntar si hay algún tipo de criterio o recomendación al respecto para poder establecer las tolerancias, dado que hay muchos grados de incertidumbre y las fuerzas no son algo exacto.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

En cuanto al tema de los rabos, debes dejar una longitud suficiente como para que el gato lo coja. Dependerá de la marca del gato o del sistema; es decir, según el que tengas necesitas mayor longitud o menor longitud. Lo que pasa es que normalmente dejamos 30 cm, 25 cm...

José SERNA GARCÍA CONDE

ESTEYCO

No me refería tanto a la longitud del propio rabo como a la hora de obtener medida de las fuerzas al cabo del tiempo, si existe algún criterio para las tolerancias de variaciones de fuerza respecto a la prevista.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

¡Eso será tu proyecto! Tú tendrás que comprobar con tus tolerancias. Tú, como proyectista, deberás haber previamente establecido qué es lo mínimo; pero es ya un problema de cada diseño concreto. Lo importante es que se siga esa *Guía* del anclaje permanente. Si hay más carga, vas a tener mayor coeficiente de seguridad. Si hay menos carga, tendrás menor coeficiente de seguridad, no del anclaje, sino de inestabilidad general. Deberías hacer entonces, como alguna vez se ha hecho, un modelo de elementos finitos en el que le vas quitando un poco de carga o le vas poniendo para ver las consecuencias. Tendrías que tener tú previstos los niveles de alarma, y éstos ya no tienen nada que ver con la *Guía*, vienen determinados por el proyecto.

José SERNA GARCÍA CONDE

ESTEYCO

Yo sí quería añadir que, respecto a lo que tú has comentado sobre el 70 % de longitud, si se tocaba o no se tocaba, en la página 26, en el apartado 3.2.2.2.3 al final, dice: «... para esta comprobación el exceso de longitud del bulbo por encima de 14 metros se minorará por el coeficiente 0,70», con lo cual está diciendo que para longitudes grandes sólo consideres un 70 % del exceso de longitud.

Marisa LAGO

GEA

Quiero abogar a favor de los estudios geotécnicos. Además, me toca un caso ahora de cerca: un talud de 90 metros en un material muy heterogéneo, conflictivo, como son los materiales del trias, y con el tema de los estudios geotécnicos siempre pasa lo mismo: a un promotor es fácil convencerle de que el talud tiene que ser de 18 por X con 30 anclajes; pero si en vez de tres sondeos puedes hacer dos, y en vez de algún corte directo no hacer ninguno, mejor. Eso por un lado, o sea que

la parte económica en los estudios geotécnicos se mira al milímetro, y si les dices que para un talud de 90 metros necesitas seis cortes directos, no se lo creen, porque hay otro además que se lo hace con uno o que recurre a tablas. Y a veces también los estudios geotécnicos pecan de indecisos porque no siempre se pueden tomar muestras representativas, como en este caso que tengo yo ahora mismo. Los sondeos, por ejemplo, trituran la muestra; no podemos tomar muestra inalterada, los SPT no son representativos. Entonces, cuando el ingeniero te pide el número... «Yo quiero el C, el j ; no he podido, voy a tabla, es que no encaja, es que el estudio geotécnico era pobre»... Yo, al final, como geóloga, no sé si poner lo que me he gastado en el estudio geotécnico, que luego eso se olvida, o todas las dificultades que ha tenido este terreno para hacer un muestreo representativo. En este caso concreto, la obra era tan complicada que lo primero que le dije al cliente es que no tocarse la ladera; pero, como tienen dinero, pueden tocarla, ¿no? Ahora los anclajes dan problemas... Sólo quería incidir en la importancia de que, para llegar a esos valores de C, el j , da dolores de cabeza porque no siempre se tiene el dinero suficiente o no puedes tomar muestras suficientes.

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Tienes toda la razón. Yo incluso añadiría más. Yo no sé lo que es el C, el j , y se supone que yo enseño a los alumnos eso: ¡Hace treinta y seis años que vengo dando clase! ¿El C, el j que coges en el cálculo, o el C, el j de un modelo matemático, el C, el j de un ensayo de laboratorio, o el C, el j de la masa? Aquí estamos hablando del C, el j del trozo de anclaje que es un artificio de cálculo. Una cosa es lo que utilizamos en un cálculo y otra cosa es lo que obtenemos en el laboratorio. Aquí mismo, en Madrid, se están haciendo un montón de obras con unos parámetros que se han seleccionado como representativos de las quince formaciones que hemos distinguido, aunque en el fondo son seis las principales. Esos C y j son para el modelo de cálculo de pantallas con un determinado sistema de cálculo y con una autoridad determinada y una dirección de obra determinada. En cuanto te salgas de ahí, el C, el j es otro, y si voy a abordar otro problema dentro de esas mismas obras, el C, el j no es el mismo. Es decir, es un C y j modelado dentro de un sistema de cálculo que nos ha ido muy bien. Pero tienes toda la razón, lo que pasa es que a la gente le gusta ahorrarse sondeos.

Gustavo ARMIJO PALACIO

GEOCISA

Una pregunta para Álvaro Parrilla y para Carlos Oteo sobre la guía de anclajes. Los valores de adherencia límite que figuran en la *Guía* están tomados de la publicación de Bustamante y suavizados. Sin embargo, en la publicación original de Bustamante se admite también un aumento de diámetro en función del tipo de inyección para unas determinadas condiciones de volúmenes a inyectar. Esto no se ha incluido en la *Guía de anclajes*. ¿Es posible considerarlo o no?

Carlos OTEO MAZO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Por supuesto, ¡no es obligatorio! Si no recuerdo mal, tú estabas metido en las discusiones preliminares. Se hizo un borrador que hicimos José Luis Fernández Salso, que es uno de los máximos protagonistas de esta *Guía*, y yo. Luego se sometió a los técnicos de AETESS, que fueron por lo menos seis personas; regañamos, y llegamos a unos acuerdos. Los valores que se dan en la *Guía*, no sólo porque los diera Bustamante, quizá basados en ensayos, sino porque llegamos a un consenso razonable. Luego, además, pasó por al menos tres filtros.

Vicente CUÉLLAR MIRASOL (Moderador)

CEDEX

Siento interrumpir este interesantísimo coloquio que por necesidades de horario vamos a tener que interrumpir ahora. Por favor, si tenéis alguna pregunta, tenemos una segunda mesa redonda, y seguro que habrá oportunidad y posibilidad de presentarlas allí.

Ejecución de anclajes bajo el nivel freático

Rafael LÓPEZ RODRÍGUEZ

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS

JEFE DE SECTOR DE RECALCES. KRONSA INTERNACIONAL, S.A.

1. Introducción. Problemática

En multitud de ocasiones se presenta la necesidad de realizar anclajes cuya cota de boca se encuentra por debajo del nivel freático, lo cual dificulta siempre su ejecución.

Cuando el terreno no contiene gran cantidad de finos, la dificultad de ejecución se reduce prácticamente al sellado de la perforación de la pantalla.

Pero si, además, el terreno presenta riesgo de sifonamiento (Fig. 1), como ocurre con fangos, limos arenosos, arenas finas y aluviales en general con gran cantidad de finos, la presión originada por la diferencia de cota entre el nivel freático del trasdós y la boca del anclaje puede ocasionar arrastres y lavados de finos, que no solamente dificultan la realización de los propios anclajes, sino que pueden provocar movimientos excesivos en el entorno de la obra, incluso con hundimientos o socavones apreciables, pudiéndose ver gravemente afectados los edificios cercanos (Fig. 2).

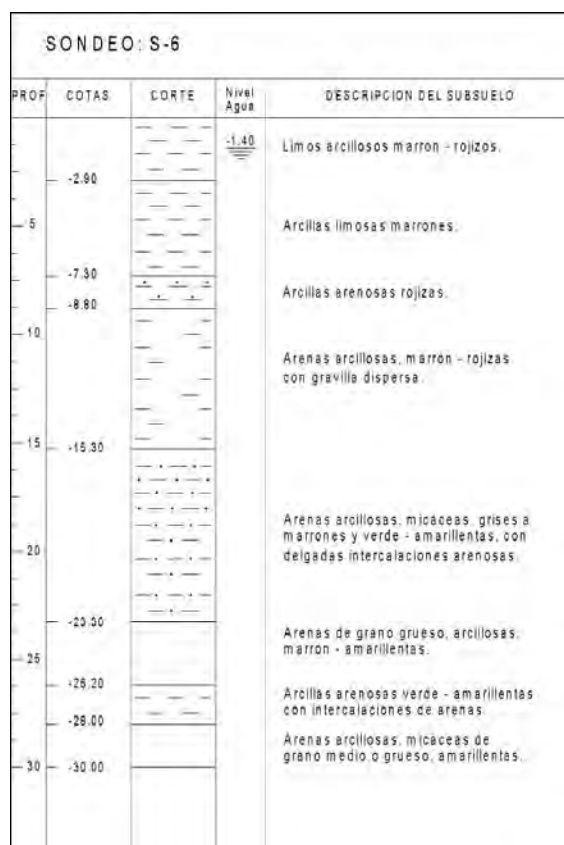


Figura 1. CORTE ESTRATIGRÁFICO TÍPICO, CON NIVEL FREÁTICO ALTO Y SUELOS PROBLEMÁTICOS



Figura 2. VISTA GENERAL DE UNA PANTALLA CON ANCLAJES PROVISIONALES, CONSTRUIDOS BAJO EL NIVEL FREÁTICO

2. Procedimiento para la realización de anclajes bajo el nivel freático

La mayor dificultad de ejecución de anclajes en estas condiciones se debe al sifonamiento de la perforación, con el consiguiente arrastre de finos hacia el intradós de la obra. El sifonamiento del terreno impide la realización de la perforación del anclaje y, por tanto, su ejecución.

Por ello, es imprescindible construirlos adoptando las medidas adecuadas de obturación y aislamiento hidráulico entre el trasdós y el intradós de la pantalla.

Para realizar los anclajes, además de atender a las condiciones del proyecto, se deben utilizar medios especiales y una sistemática de ejecución muy concreta y ordenada. Sólo así se podrán construir con total seguridad y control, evitando los imprevistos a lo largo de todo el proceso constructivo.

La primera operación a realizar es la perforación de la propia pantalla; la diferencia de presión entre trasdós e intradós puede producir un arrastre de suelo y su consiguiente entrada por el orificio de la perforación, fenómeno muy difícil de evitar y de controlar si no se han tomado las medidas adecuadas.

De los varios sistemas válidos, el más recomendable consiste en una compuerta de guillotina, que previamente se fija a un artilugio unido a la pantalla mediante tacos Hilties o similares, y del cual sale la chimenea de equilibrio que impide el sifonamiento de la perforación (Figs. 3, 4 y 5).

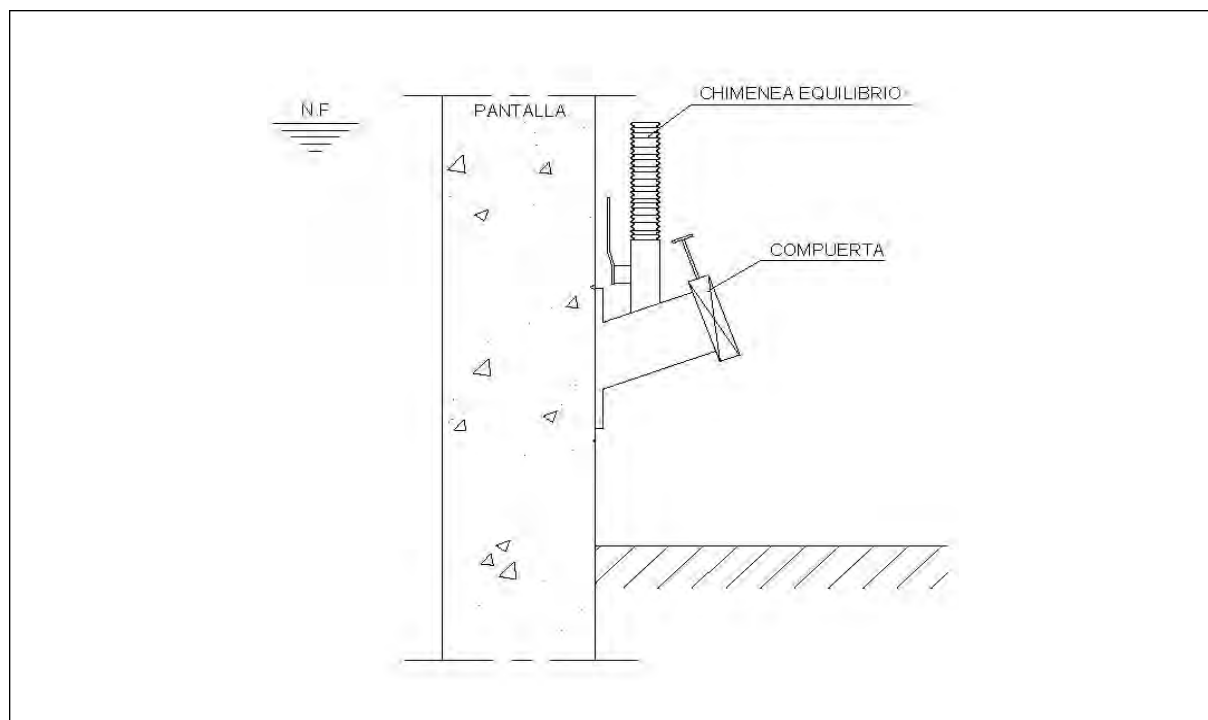


Figura 3. CHIMENEA DE EQUILIBRIO Y COMPUERTA DE GUILLOTINA



Figura 4. COMPUERTA. CHIMENEA DE EQUILIBRIO Y SISTEMA DE OBTURACIÓN



Figura 5. CHIMENEA DE EQUILIBRIO

La compuerta es de manejo fácil y rápido, y con ella se puede cortar la entrada de terreno que se podría producir al retirar o introducir la sarta de perforación después de haber atravesado la pantalla.

La chimenea de equilibrio, por vasos comunicantes, equilibra las presiones entre el trasdós de la pantalla y la sarta de perforación que sale por el intradós, con lo cual evita el sifonamiento en el interior de la tubería de perforación.

Para iniciar la perforación de la pantalla, se procede a abrir la compuerta, y a través de ella se introduce la batería para la perforación del hormigón de la pantalla.

Una vez terminada la perforación de la pantalla, se retira la batería de perforación, cerrando rápidamente la compuerta para evitar la afluencia de terreno. Después se acopla un sistema de obturación para la tubería de perforación, mediante una junta que permite absorber las pequeñas diferencias de alineación producidas por el movimiento y vibración de la perforadora (Figs. 6, 7 y 8).

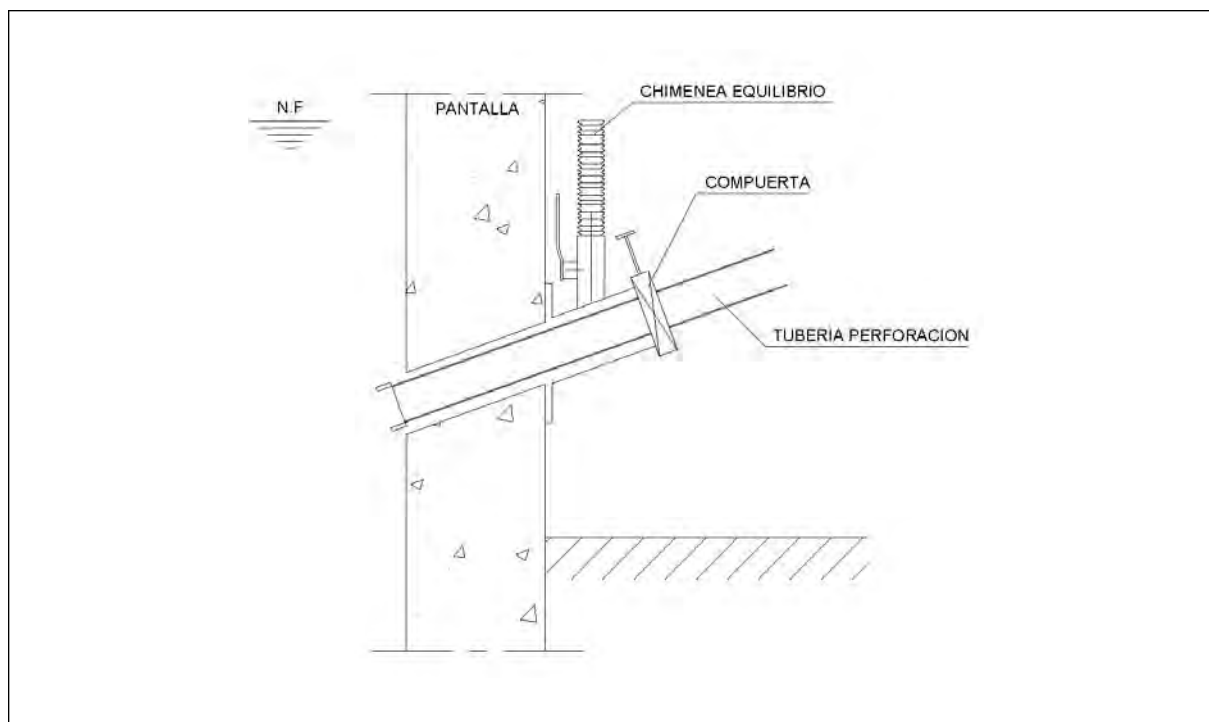


Figura 6. PERFORACIÓN DE PANTALLA



Figura 7. SISTEMA DE OBTURACIÓN DE LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN

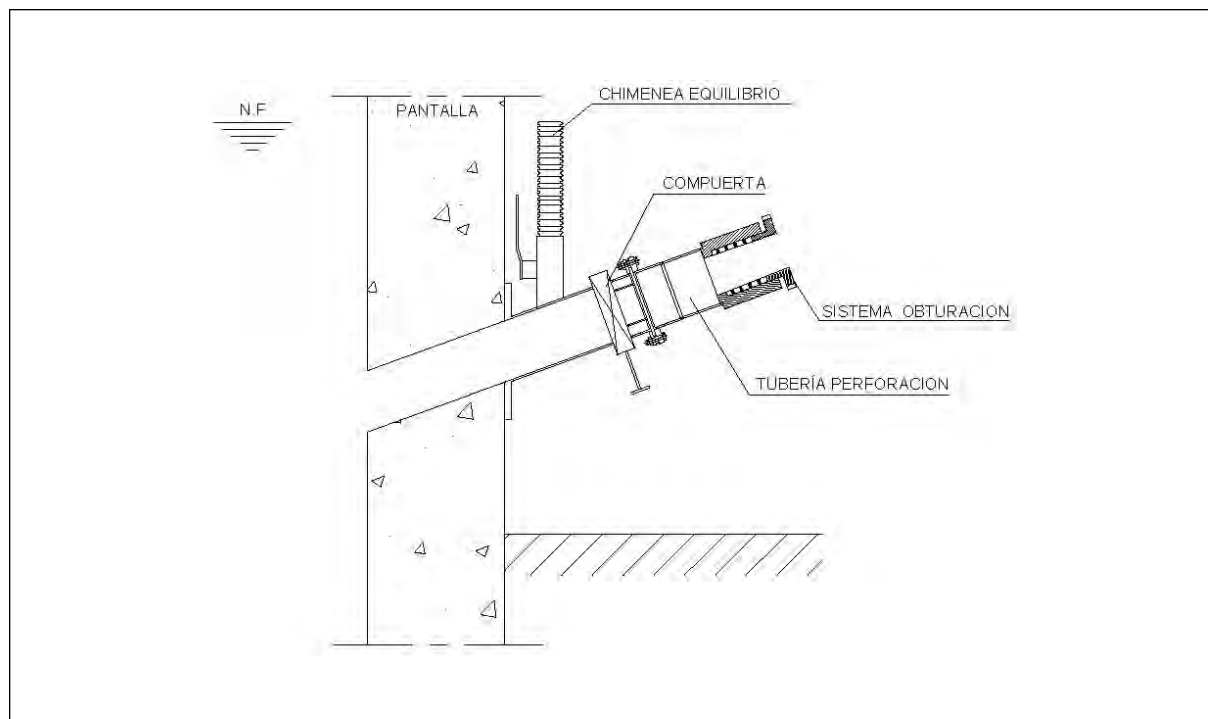


Figura 8. COLOCACIÓN DEL SISTEMA DE OBTURACIÓN PARA LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN

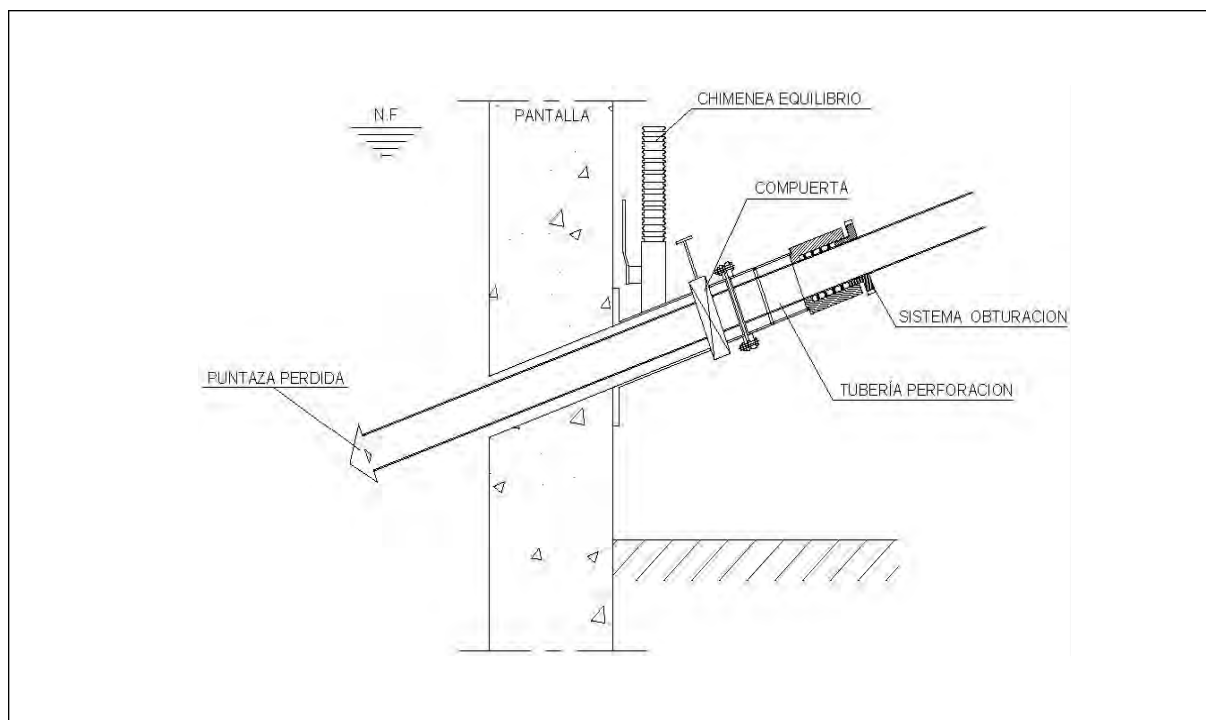


Figura 9. PERFORACIÓN DEL ANCLAJE

El sistema de obturación consiste en un tubo prensa que cierra contra la tubería o sarta de perforación e impide que se descargue la chimenea de equilibrio.

A continuación se comienza la perforación del terreno situado en el trasdós de la pantalla, utilizando puntaza perdida y tubería de revestimiento recuperable (Fig. 9).

La puntaza perdida estará diseñada de tal forma que impida la entrada de finos por las salidas del fluido de perforación y que, al empalmar tubería y cortar el flujo de fluido, no se produzca sifonamiento en el interior de la tubería (Fig. 10).

A diferencia de las perforaciones tradicionales, el detritus de la perforación no se evacúa, sino que la sarta de perforación va avanzando en el interior del terreno. Para impedir el aprisionamiento de la misma se suelen utilizar lodos que impiden el apelmazamiento de los finos.

Durante toda la perforación es imprescindible prestar especial cuidado para impedir la creación de sobrepresiones que pudieran afectar al terreno y al entorno.

Terminada la perforación, y sin soltar la puntaza perdida para impedir que se produzca sifonamiento en el interior de la tubería, se introduce el anclaje y se procede a la inyección de relleno (Fig. 11).

Se prestará especial atención, cuando se suelte la puntaza perdida y se vaya extrayendo la tubería de perforación, a impedir el retorno de la lechada de inyección, pues su lugar sería ocupado por los finos del terreno y contaminarían la inyección del anclaje (Fig. 12).



Figura 10. PUNTAZA PERDIDA

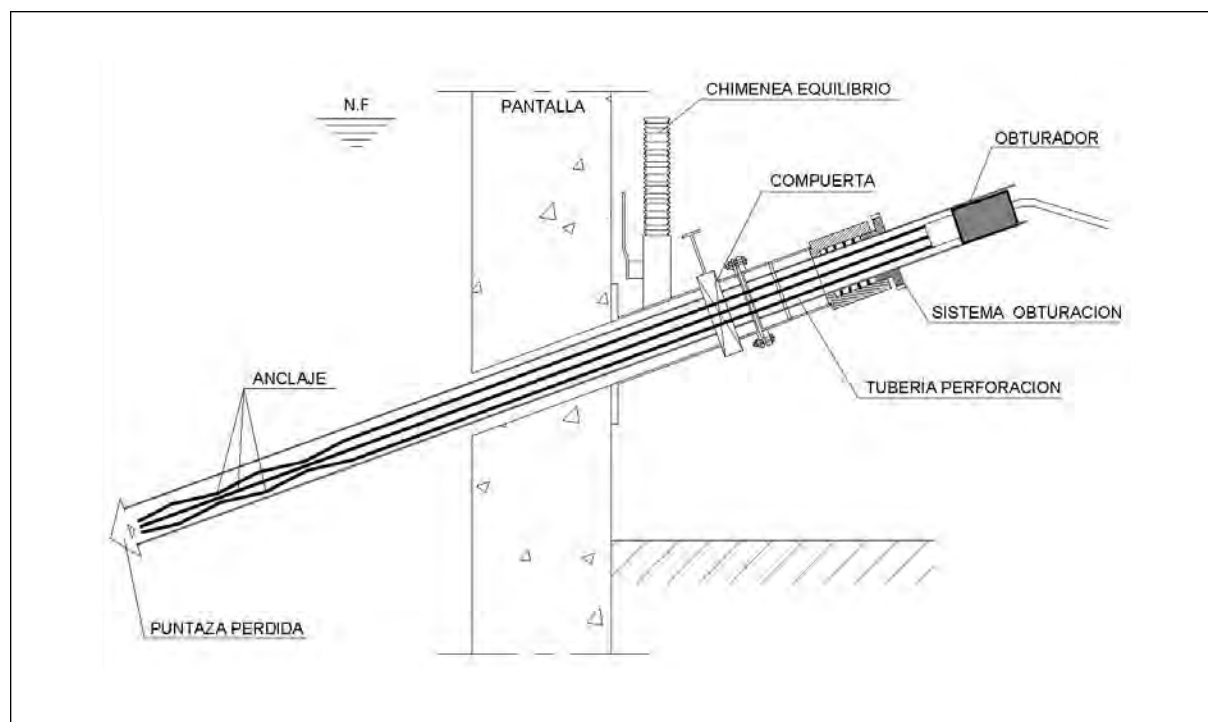


Figura 11. INTRODUCCIÓN DE LOS CABLES DEL ANCLAJE

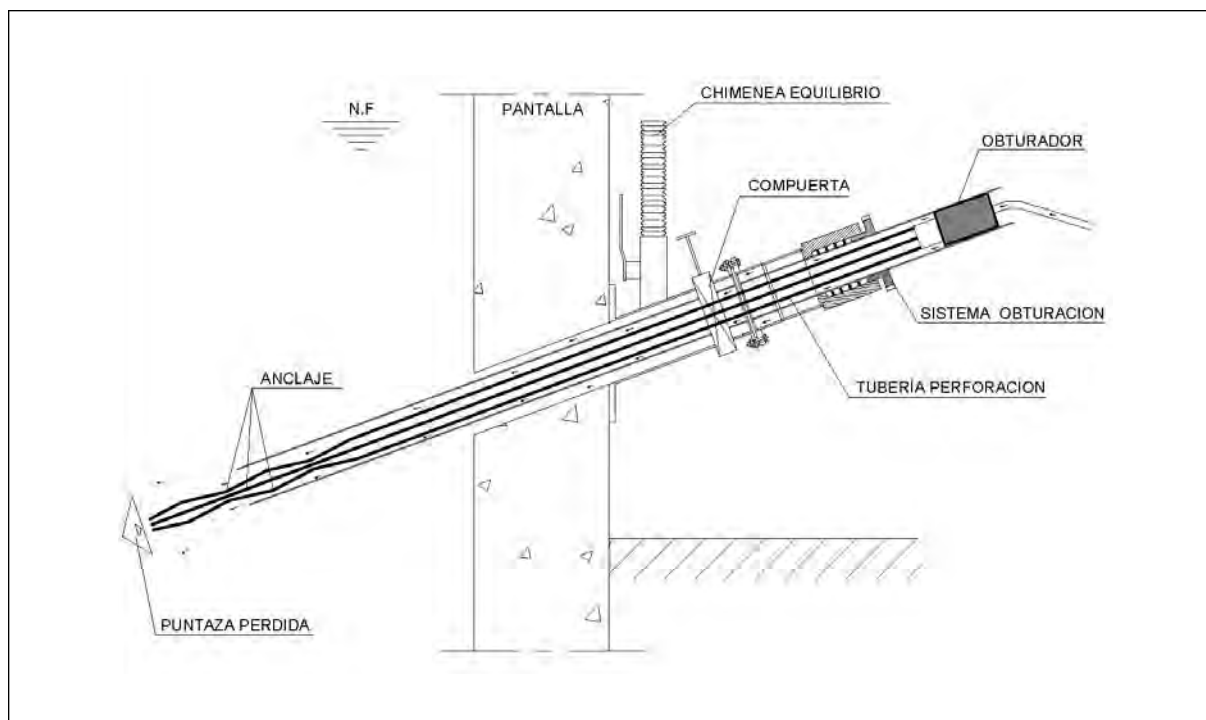


Figura 12. INYECCIÓN DE RELLENO, ABANDONO DE LA PUNTA PERDIDA Y EXTRACCIÓN DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

Según se va retirando la tubería, se puede conectar a la misma un cabezal de inyección, realizando inyecciones sucesivas por tramos, o bien disponer en el anclaje un tubo manguito para realizar posteriormente inyecciones repetitivas.

Antes de retirar el último tramo de tubería se procede a inyectar lechada con un acelerante de fraguado para sellar la perforación de la pantalla con el anclaje ya instalado (Fig. 13).

También se puede disponer un obturador de saco en el anclaje que cierre el final de la perforación del hormigón de la pantalla e impida la salida de lechada.

Se debe prestar especial atención a este sellado, pues aunque con las operaciones de tesado y destesado se ocasionan algunas filtraciones, debido al movimiento de los cables del anclaje, impedirá en gran parte, durante la vida útil del anclaje, filtraciones muy incómodas para la obra (Fig. 14).

Además, es importante disponer entre la placa de reparto y la cabeza del anclaje un sistema de drenaje que evite que los posibles rezumes o filtraciones oxiden los cables del anclaje, lo cual afectaría a las posibles comprobaciones o retesados durante su vida útil.

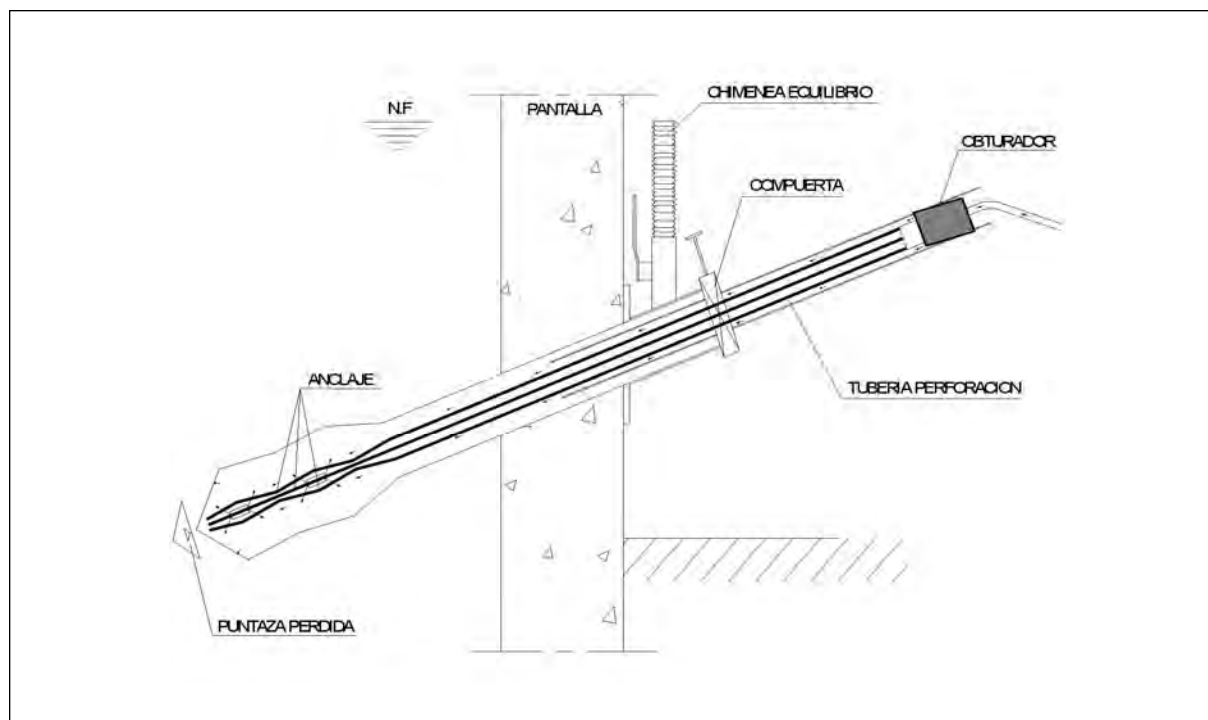


Figura 11. SELLADO DE LA PERFORACIÓN DE PANTALLA



Figura 14. FILTRACIÓN POR LA PERFORACIÓN DE UN ANCLAJE

Para aminorar las filtraciones después del destesado, se colocan obturadores, formados por prensas de caucho, con la misma disposición en que están ubicados los cables de anclaje en la cabeza de tesado.

Cuando termina la vida útil del anclaje y se procede al destesado y corte de los «rabos» de los cables, se sellará cuidadosamente el anclaje, empleando mezclas especiales para cortar vías de agua, utilizando si es necesario inyecciones de sellado.

3. Conclusiones

Se ha expuesto en este trabajo un procedimiento contrastado para la realización de anclajes bajo el nivel freático con suelos problemáticos; se ha utilizado con éxito en numerosas obras, en las cuales ha permitido no solamente construir los anclajes sin afectar al entorno, sino garantizar su correcto comportamiento a lo largo de toda su vida útil.

Anclajes: patologías y ensayos

Leoncio PRIETO TERCERO

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
DIRECTOR TÉCNICO. RODIO CIMENTACIONES ESPECIALES, S.A.

1. Introducción

Actualmente la tecnología disponible en la perforación y colocación de anclajes hace que se haya extendido su utilización a amplias parcelas de la ingeniería. Hoy en día está ampliamente extendida su utilización en la estabilidad de taludes, contención de empujes en muros, anclajes de losas, etc.

Para el correcto diseño y ejecución de los anclajes hay que conocer:

- El proyecto en el que se ubican.
- Exigencias de la estructura del anclaje.
- Propiedades geotécnicas del terreno.

La puesta en obra eficaz de los anclajes exige la realización de ensayos sobre los mismos y una verificación de los parámetros de cálculo utilizados.

Tiene una gran importancia en la concepción y ejecución de los anclajes el entender los mecanismos de funcionamiento, tanto geotécnicos como estructurales. Para garantizar un comportamiento correcto a corto y largo plazo, se deben reflejar en pliegos y normas todos los requisitos de control y ensayos necesarios, ya que estos elementos tienen una importancia fundamental en el funcionamiento de las estructuras de contención. Las normas vigentes intentan definir la «buena práctica» profesional que permita una correcta ejecución de los mismos.

Tradicionalmente se han utilizado algunas normas para el dimensionamiento, ejecución y control de los anclajes, siendo las más conocidas la francesa (TA-95), suiza (SIA-191) y alemana (DIN-4125). Recientemente ha sido publicada la versión oficial en español de la Norma Europea EN 1537, correspondiente a la «Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes». Actualmente se han publicado en España dos recomendaciones que vienen a llenar el vacío existente en este tipo de obras:

- Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno (H.P. 8-96), publicada por el Colegio de Ingenieros de Caminos, con la colaboración de la Asociación Técnica Española del Pretensado y del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras, publicada por el Ministerio de Fomento, con la colaboración de AETESS.

Para poder analizar las patologías y/o fallos más corrientes de los anclajes hay que conocer cada una de las partes y elementos que los componen, así como su funcionamiento estructural.

Una clasificación inmediata de los anclajes en función de su tiempo de servicio es la siguiente:

- **Anclajes provisionales:** Como su nombre indica, su misión en la obra es «temporal» y trabajarán hasta que sean sustituidos por otros elementos estructurales permanentes. En el caso de una excavación de varios sótanos, el sostenimiento provisional se realiza con anclajes, hasta que son sustituidos por los forjados definitivos. Su vida útil será inferior a 2 años (según la Guía del Ministerio de Fomento y la Norma UNE-EN 1537) ó 9 meses (según las Recomendaciones H.P. 8-96).

- **Anclajes permanentes:** Su actuación es definitiva, durante toda la vida útil de la obra, por lo que se dimensionarán con mayores coeficientes de seguridad y los niveles de protección serán mayores.

Las partes constituyentes de un anclaje, y que serán susceptibles de ensayos y controles, son:

- **Zona de anclaje o zona de bulbo.** Es la parte del anclaje correspondiente a la longitud adherente. Es la zona del anclaje sobre la cual la fuerza de tracción se transmite al terreno circundante.
- **Zona libre.** Es la zona comprendida entre el punto de fijación de los cables sobre la cabeza y el comienzo del bulbo.
- **Cabeza.** Es la parte externa del anclaje, capaz de transmitir la carga del tirante a la estructura que se ancla. Puede incluir los siguientes elementos:
 - Placa de reparto.
 - Cuñas y portacuñas.
 - Trompeta de conexión vaina-placa.
 - Caperuza de protección.

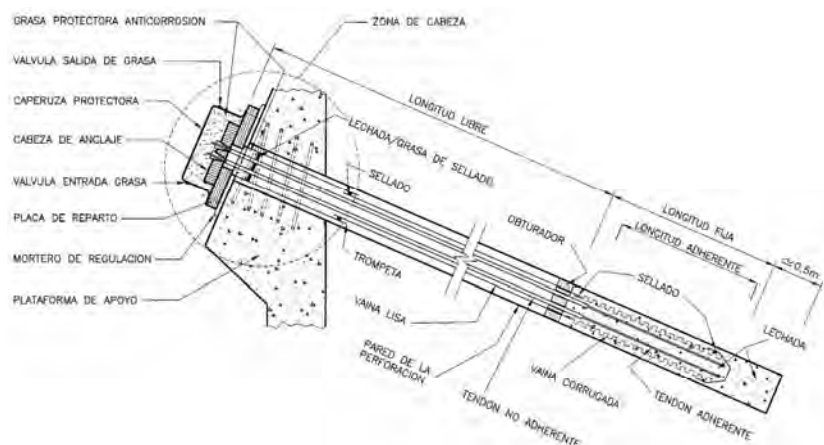


Figura 1. ESQUEMA DE UN ANCLAJE PERMANENTE

2. Patologías más comunes en los anclajes

Al diseñar y ejecutar un sostenimiento mediante anclajes hay que estudiar y ensayar (siempre que sea posible) su comportamiento en relación a los siguientes puntos:

- Ruptura del suelo que circunda al anclaje.
- Ruptura de la interfase cables-lechada de cemento.
- Fallo en el contacto suelo-lechada de cemento.
- Ruptura de los cables del anclaje.
- Fallos en los elementos metálicos de unión (cabezas, cuñas, etc.).

Todas estas patologías se pueden agrupar en tres grandes bloques:

- Fallos de los materiales constitutivos del anclaje (cables, barras, placas, protecciones, etc.).
- Proyecto inadecuado.
- Defectos de ejecución.

Analizamos cada una de las distintas patologías, con especial detenimiento en aquellas que se corresponden con la ejecución de los anclajes:

MATERIALES CONSTITUTIVOS

Los materiales usados en los anclajes son:

- Tendones o cables.
- Placas metálicas.
- Lechadas de inyección.
- Protecciones plásticas.
- Grasas.

Los aceros de los tirantes están constituidos por materiales de alto límite elástico y deberán cumplir, en cuanto a su calidad y resistencia, lo especificado en la normativa nacional y/o europea (EHE, UNE, Eurocódigos, etc.).

La cabeza del anclaje deberá ser capaz de absorber la totalidad del esfuerzo de tracción correspondiente al límite de rotura del acero.

Las lechadas de cemento utilizadas, tanto en la protección en contacto de las armaduras como en la formación del bulbo, se fabricarán con relaciones agua-cemento no superior a 0,4. En la formación del bulbo se podrán admitir relaciones a/c comprendidas entre 0,4 y 0,6.



Figura 2. PLACAS DE ANCLAJE (VSL)



Figura 3. CUÑAS DE ANCLAJE

El cemento a utilizar será el empleado en obras de hormigón y cumplirá las prescripciones indicadas en la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos. Se podrán utilizar aditivos para aumentar la manejabilidad de la lechada, así como los reductores de agua y aceleradores del fraguado.

Las vainas y tubos de plástico deberán ser continuos, impermeables y resistentes a la rotura frágil. Las uniones entre tramos deberán ser estancas y, si se utilizan juntas, éstas deberán estar preparadas para conservar la estanqueidad en caso de movimientos relativos entre los tramos.

Las grasas que se utilicen deben ser inoxidables, resistentes a los ataques bacterianos y no degradables con el tiempo

DEFECTOS DE PROYECTO

- En general se refieren a la errónea estimación de los empujes sobre la estructura, que provocarán esfuerzos inadmisibles en los anclajes, pudiendo llegar a la rotura de los mismos, con el consiguiente colapso de la estructura.
- Dimensionamiento incorrecto de las placas de apoyo, tanto en dimensiones como en espesor, que se doblan y abollan al aplicar las tensiones de bloqueo previstas en proyecto.

EJECUCIÓN DE LOS ANCLAJES

La mayoría de las patologías y fallos que se registran en los anclajes tiene relación con una mala ejecución de los mismos, en cualquiera de sus fases.

Los defectos más comunes en la ejecución de los anclajes, en cada una de sus fases, son:

Perforación de los taladros

El método de perforación deberá provocar una modificación mínima del terreno o una mejora de su capacidad de anclado y permitir movilizar la resistencia de cálculo del anclaje. Los principales fallos debidos a una incorrecta perforación son:

- Derrumbamiento de la paredes durante la colocación del anclaje.
- Descompresión de los terrenos circundantes en suelos no cohesivos.
- Diámetro de perforación incorrecto para la introducción de los tirantes necesarios del anclaje, no respetando los recubrimientos mínimos.
- Sistema de perforación inadecuado para el tipo de terreno en el que se instalarán los anclajes. Se debe analizar el tipo de terreno a perforar (roca, cohesivo, granular) con el fin de seleccionar el sistema de



**Figura 4. VISTA DE LOS TENDONES DE ANCLAJE
COLOCADOS EN LA PERFORACIÓN**



Figura 5. TIRANTES APILADOS ANTES DE LA COLOCACIÓN

perforación que permita la correcta instalación del anclaje (rotación, rotopercusión, con aire, con agua, etc.). Se deberá prever la posibilidad de entubación en caso de ser necesario.

- En los casos de anclajes bajo nivel freático se deberán colocar sistemas que aseguren la estanqueidad del taladro durante las operaciones de perforación y colocación de los anclajes. Una salida de agua con arrastres de terreno puede causar graves daños en las edificaciones colindantes, así como producir la ejecución de anclajes defectuosos y que no cumplan con las características de proyecto
- El proceso de perforación deberá realizarse de forma que cualquier variación significativa del terreno, respecto a las consideradas en proyecto, sea detectada inmediatamente.

Instalación de los tirantes

- Durante la instalación de los cables, si no se realiza de forma cuidadosa, se pueden deformar y/o dañar algunos de sus componentes.
- Si la colocación no se realiza de la forma adecuada se puede dañar la protección anticorrosión.
- La longitud del anclaje debe ser coincidente con la profundidad de perforación, comprobando en todos los casos que la misma se encuentra libre de obstáculos en toda su longitud.
- La falta de colocación de centradores y/o su mala distribución a lo largo del tirante puede provocar el incumplimiento del recubrimiento mínimo necesario, con la consiguiente disminución de la vida útil del anclaje.



Figura 6. INSTALACIÓN DE LOS TIRANTES

Inyección del anclaje

La inyección es la operación más delicada y la que puede originar más patologías en los anclajes si se realiza de forma incorrecta y el resultado de la misma no es el especificado en proyecto.

Hay que tener en cuenta que las lechadas utilizadas en los anclajes, además de su función de protección, también tienen la función resistente.

Es importante realizar la inyección lo antes posible después de efectuadas todas las operaciones previas.

El proceso de inyección debe garantizar el libre alargamiento de los tirantes en la zona libre y que la transmisión de esfuerzos entre terreno y anclaje se produzca solamente en la zona de bulbo.

Se cuidarán las dosificaciones y se adaptarán según el tipo de anclajes que se realicen (IU, IR ó IRS). Una inyección incorrecta de la zona de bulbo, con dosificaciones inadecuadas y presiones insuficientes o excesivas, puede provocar el arrancamiento del bulbo, al no producirse la adherencia necesaria entre terreno y lechada.

Instalación de los elementos de la cabeza

- La falta de un perfecto contacto entre la placa de reparto y la estructura provoca problemas al tesar los anclajes.
- La excentricidad de las cabezas con los tendones de anclaje puede introducir esfuerzos indeseables en los mismos que no se han contemplado en el proyecto.
- Si el eje del tendón no es perpendicular a la cabeza, se transmitirán los esfuerzos de forma inadecuada.
- El sellado de la placa de reparto con el final de la vaina ha de ser perfecto, con el fin de asegurar la protección.
- Si no existe una proporción entre el diámetro de la cabeza de cuñas y el taladro realizado en la placa de apoyo, se puede producir el punzonamiento de ésta, provocando el fallo del anclaje. La cabeza de cuñas debe apoyarse en un anillo sobre la placa lo suficientemente ancho como para que no punzone sobre la placa y que a la vez los tendones no rocen en el filo del taladro.
- En algunas ocasiones (especialmente para anclajes con ángulos superiores a 30°), la componente vertical del esfuerzo es demasiado grande como para ser compensada por el rozamiento placa-estructura, tendiendo a mover la placa hacia abajo. Finalmente, ésta acaba sujetándose por los tendones en la estructura, con el consiguiente riesgo de deterioro de los mismos. Este efecto puede ocurrir con posterioridad al tesado, por lo que el resultado es el «destesado» del anclaje. Hay que tomar medidas para corregir este posible efecto.
- Si el diámetro de las cuñas y el de los alojamientos de las mismas no se corresponden, se pueden introducir en los orificios durante las operaciones de tesado.
- Si no hay correspondencia entre el número de tendones y los orificios de la cabeza, se pueden producir excentricidades indeseables en la misma.

Tesado del anclaje

Los fallos más comunes en los anclajes debidos a la incorrecta realización del tesado de los mismos son:

- Equipos mal calibrados, que transfieren tensiones incorrectas al anclaje.
- Mala elección del orden de tesado de distintos anclajes, lo que provoca una concentración excesiva de esfuerzos en la viga de anclaje o en la estructura a sostener.
- Inexperiencia del personal que realiza las operaciones, incumpliendo los protocolos, la secuencia, los escalones de carga y los métodos de tesado.



Figura 7. GATO DE TESADO MULTIFILAR



Figura 8. CENTRAL HIDRÁULICA

En los anclajes permanentes los fallos pueden surgir por los fenómenos de corrosión a medio o largo plazo, provocados por el contacto del agua con el acero de los cables en tensión. De las tres zonas que componen los anclajes, el bulbo es la zona más fácil de proteger, ya que la lechada de inyección (si el anclaje ha sido correctamente inyectado) proporciona una protección más que aceptable a largo plazo. La longitud libre se protege con lechada, una vez aislados y protegidos los cables con vainas de plástico engrasadas, después de realizar el tesado.

El enlace entre la longitud libre y la cabeza del anclaje es el lugar más crítico desde el punto de vista de protecciones frente a la corrosión. Si no se asegura el correcto sellado de la transición longitud libre-cabeza y se introducen cada uno de los cables en la cámara llena de grasa de la cabeza, es probable que se produzca la entrada de agua a los mismos, iniciando el fenómeno de la corrosión.

3. Pruebas de anclajes

Para comprobar la adecuación de las hipótesis de diseño y cálculo a las características reales de cada obra en lo concerniente a tipo de terreno, geometría, materiales empleados, etc., se hace necesaria la realización de distintos tipos de pruebas en los anclajes.

Fundamentalmente se distinguen tres tipos de ensayos (según la Guía del Ministerio de Fomento):

- Ensayos de investigación.
- Ensayos de idoneidad.
- Ensayos de aceptación.

En las Recomendaciones H.P. 8-96 se distinguen también tres tipos de ensayos, definidos de la siguiente forma:

- Pruebas de idoneidad.
- Pruebas completas de tesado.
- Pruebas simples de tesado.
- Los «Ensayos de investigación» se deben realizar antes de ejecutar los anclajes de la obra y tienen por objeto determinar:
 - Resistencia del bulbo (interfaz lechada-terreno).
 - Carga de deslizamiento del anclaje.
 - Curva de deformación del anclaje hasta rotura.
 - Pérdidas de tensión del anclaje en carga de servicio.
 - Longitud libre aparente.

Estos ensayos se realizarán en terrenos no ensayados o con cargas más elevadas de las habitualmente usadas. Al ser ensayados a cargas mayores que las de servicio hay que aumentar la capacidad de los tirantes, conservando el resto de los elementos idénticos a los del resto de los anclajes. En caso de no poder aumentar la capacidad de los tirantes, se pueden ensayar reduciendo la longitud del bulbo, para lograr el arrancamiento. Este ensayo se llevará hasta la carga de rotura por arrancamiento del bulbo o hasta un valor inferior al 85 % de la carga de rotura del tirante o del 95 % del límite elástico (el inferior de los dos).

- Los «Ensayos de idoneidad» se llevarán a cabo una vez interpretados los de investigación y se realizarán sobre anclajes de la misma obra, y en ellos se han de confirmar:
 - Capacidad del tirante frente a la carga de prueba.
 - Curva de deformación hasta carga de prueba, según diferentes escalones.
 - Pérdidas de tensión hasta la carga de prueba.
 - Longitud libre aparente.

Estos ensayos se realizarán al menos sobre tres anclajes de las mismas características que los de la obra. Con ellos se confirmará si los alargamientos y las pérdidas de carga son correctos y permitirán determinar la longitud libre aparente del anclaje.

- Los «Ensayos de aceptación» han de confirmar, para cada anclaje, los siguientes aspectos:
 - Capacidad del tirante frente a la tracción o carga de prueba.
 - Pérdida de tensión bajo carga de servicio.
 - Longitud libre equivalente.

En las normas españolas se incluyen dos métodos para la realización de los ensayos (NLT-257, método de los ciclos, y NLT-258, método de las fases), descritos en los Anejos correspondientes.

A continuación se acompañan los partes y gráficos de un «Ensayo de idoneidad».



IDONEIDAD

ANCLAJES ROFIX PROVISIONALES

OBRA Nº: 580

PRUEBA IDONEIDAD ANCLAJE Nº:

4

ZONA: PANTALLA 3 (LIRAS)

FILA: UNICA

FECHA: 02-mar-01

I-DATOS DEL ANCLAJE

TORONES:	5 ud.	SECCION TORON:	1,4 cm ² .
DIAMETRO:	0,6 pulgadas	CARGA DE SERVICIO:	62,5 Tn.
LT:	19,8 m.	MODULO ELASTICO:	2.100.000 Kg/cm ² .
LB:	12,0 m.	CARGA DE PRUEBA:	83 Tn.
LL:	7,8 m.	CARGA DE ROTURA:	19.000 Kg/cm ²

II- DATOS DEL GATO

TIPO DE GATO: PAUL-2100KN (ANFOR)

SECCION GATO: 388,77 cm².**III-ESCALON DE CARGA**

FORMULA:

$$iL = \frac{(N - N_0) \times L_i}{E \times F}$$

iL-Deformación del anclaje en mm.

N -Carga del tesado del anclaje en kg.

No-Carga inicial que corresponde a
10 Kg/cm²

LL-Longitud libre del anclaje en mm.

E -Módulo Elástico en Kg/cm².F -Sección de acero en cm².

TABLA DEFORMACIONES (iL):

ESCALON	PRESION (Kg/cm ²)	CARGA Tn.	Le=0,9LL	Le=LL	Le= LL+0,5LB	tiempo min.
Ta	25	9,72	0,00	0,00	0,00	0
T1	40	15,55	2,78	3,09	5,47	0
T2	80	31,10	10,21	11,35	20,07	0
T3	110	42,76	15,78	17,53	31,02	0
T4	150	58,32	23,21	25,79	45,62	0
T5	180	69,98	28,78	31,97	56,57	0
Tp	210	81,64	34,35	38,16	67,52	15
Ta	25	9,72	0,00	0,00	0,00	0
SUMA(min)						15



ANCLAJES ROFIX PROVISIONALES

OBRA Nº: 580
 PRUEBA IDONEIDAD ANCLAJE Nº: 4
 ZONA: PANTALLA 3 (LIRAS)
 FILA: UNICA
 FECHA: 02-mar-01
 FECHA TESADO: 06-mar-01
 TIPO DE GATO: PAUL-2100KN (ANFOR)
 SECCION: 388,77 cm².

I-DATOS DEL ANCLAJE

TORONES: 5 ud. SECCION TORON: 1,4 cm².
 DIAMETRO: 0,6 pulgadas CARGA DE SERVICIO: 62,5 Tn.
 LT: 19,8 m. MODULO ELASTICO: 2.100.000 Kg/cm².
 LB: 12 m. CARGA DE PRUEBA: 83 Tn.
 LL: 7,8 m. CARGA DE ROTURA: 19.000 Kg/cm²

2-CUADRO DE TESADO

ESCALON	PRESION (Kg/cm ²)	CARGA Tn.	DEFORMACION (mm)		DEF. MAXIMAS ADM.	
			S	iS	15min 2%ILL	45min 1%ILL
Ta	25	9,72	0,00	0,00		
T1	40	15,55	2,38	2,38	0,06	0,03
Ta	25	9,72	1,80	1,80		
	35	13,61	2,30	2,30		
	55	21,38	7,59	7,59		
T2	80	31,10	15,50	15,50	0,23	0,11
	55	21,38	13,96	13,96		
	35	13,61	9,31	9,31		
Ta	25	9,72	6,64	6,64		
	45	17,49	8,42	8,42		
	75	29,16	14,60	14,60		
T3	110	42,76	25,05	25,05	0,35	0,18
	75	29,16	22,00	22,00		
	45	17,49	14,35	14,35		
Ta	25	9,72	6,86	6,86		
	55	21,38	13,52	13,52		
	105	40,82	24,31	24,31		
T4	150	58,32	37,66	37,66	0,52	0,26
	105	40,82	34,09	34,09		
	55	21,38	20,46	20,46		
Ta	25	9,72	8,44	8,44		
	45	17,49	12,36	12,36		
	80	31,10	21,57	21,57		
	115	44,71	30,58	30,58		
T5	180	69,98	52,70	52,70	0,64	0,32
	115	44,71	42,43	42,43		



Gráfico 1. GRÁFICO DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN DE UN ENSAYO DE IDONEIDAD

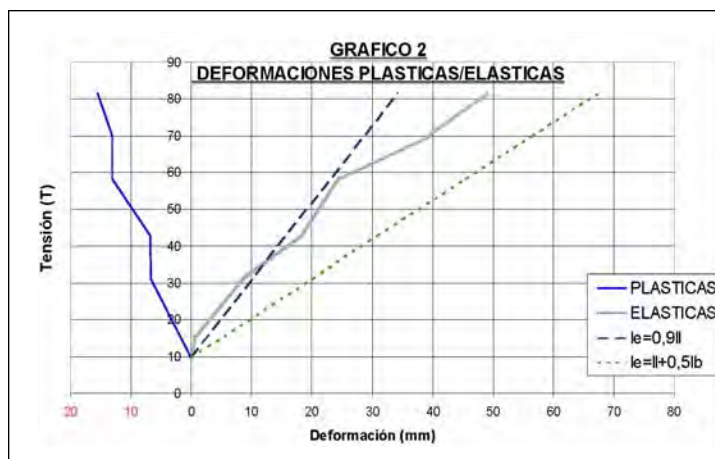


Gráfico 2. GRÁFICO DE DEFORMACIONES DE UN ENSAYO DE IDONEIDAD

4. Controles

En los anclajes es obligado realizar un control de su comportamiento (a corto y a largo plazo). Hay que controlar todas las fases que constituyen su concepción, construcción y vida útil. Por tanto, los tipos de controles a aplicar a los anclajes son:

- Control del diseño.
- Control de la ejecución.
- Control de los materiales.
- Control de cargas.
- Controles durante la vida útil.

Control de diseño

El cálculo de un sistema de anclaje se basa en los parámetros del suelo y la geometría del dispositivo de anclaje. En los planos de ejecución se deben indicar claramente las secciones y características de los materiales a emplear, las dimensiones de las partes libre y de bulbo, el ángulo de inclinación y las tolerancias admisibles.

Durante el diseño se deben tener en cuenta, con el fin de controlarlos, los siguientes puntos:

- Esfuerzos y retracciones transmitidos por los tirantes al conjunto estructural.
- Forma de aplicar las tracciones al tirante durante la vida útil.

- Reparto de los esfuerzos del dispositivo de anclaje sobre la estructura anclada durante la puesta en carga y a lo largo de la vida útil.
- Unión entre el tirante y la estructura.
- Consecuencias de la rotura de un tirante.

Control de la ejecución

Se deberán controlar las operaciones y procesos de ejecución:

- Parámetros de perforación
- Parámetros de inyección (dosificaciones, presiones, caudales, etc.). Los controles de la lechada deben realizarse sobre muestras extraídas de los conductos de retorno.

Control de los materiales

Los materiales que se emplean en la ejecución de los anclajes son productos que se encuentran en el mercado de forma comercial. El control de los aceros empleados en los anclajes debe seguir los mismos criterios que se emplean en el resto de obras en las que se utiliza el pretensado. Se deben exigir los certificados de origen de los materiales que se van a emplear en la obra.

Control de cargas

El control de carga del anclaje es uno de los aspectos fundamentales e ineludibles, y debe contemplar las fases de puesta en carga inicial y durante la vida útil.

Durante la fase de pruebas de carga es cuando se comprueba que el anclaje construido es capaz de transmitir los esfuerzos al terreno.

Todos los anclajes dispuestos en la obra deben ser probados de alguna manera (mediante pruebas simples o completas).

Como se ha indicado en el punto anterior, las diferentes normas indican protocolos distintos para la realización de los «Ensayos de carga». La más usual realiza varios ciclos de carga y descarga con control de los incrementos de deformación bajo carga mantenida.

Controles durante la vida útil

Durante la vida útil de un anclaje hay que controlar las condiciones de conservación de los materiales y la magnitud de la carga residual.

El control de las condiciones de conservación del anclaje se debe realizar mediante inspecciones visuales del aspecto que presentan las partes accesibles de los anclajes (cabezas y placas). También se pueden realizar análisis químicos de la grasa de protección de la cabeza, en los anclajes permanentes.

El control de las cargas residuales se puede realizar mediante la utilización de células de carga, siempre que se haya previsto su colocación durante la fase de proyecto.

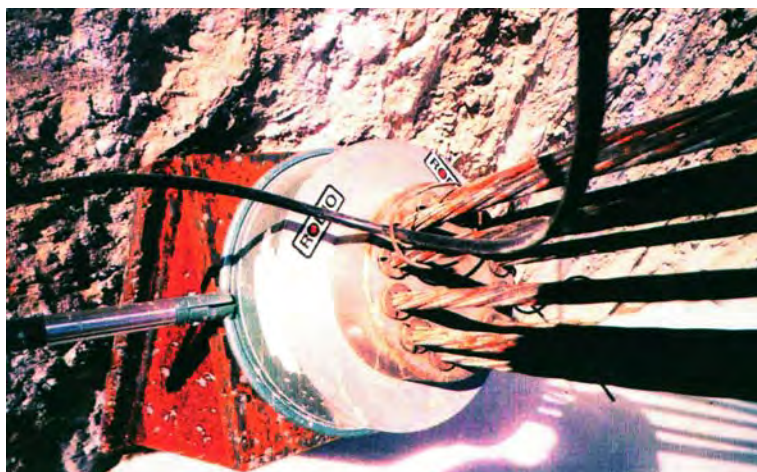


Figura 9. CÉLULA PARA EL CONTROL DE CARGAS INSTALADA EN UN ANCLAJE

Anclajes de bulbo múltiple

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

INGENIERO CIVIL
KELLERTERRA, S.L.

1. Introducción

Uno de los mayores avances en el desarrollo de los anclajes de los últimos tiempos ha sido el reconocimiento, por parte de la industria, de que cuando un esfuerzo axial de tracción es aplicado a un acero totalmente embebido en una lechada de cemento, el mecanismo de transferencia de carga del acero adherido a un suelo o roca a través de la lechada, la distribución de las tensiones a lo largo de la longitud fija o de bulbo del anclaje no es uniforme. Esto resulta de la incompatibilidad general entre el módulo de elasticidad del acero, de la lechada de cemento y del suelo, produciéndose el fenómeno conocido como pérdida de adherencia progresiva (*progressive debonding*) a medida que se produce el incremento de la carga del anclaje.

Anthony D. Barley, de Keller Ground Engineering, desarrolló investigaciones por más de una década, con las cuales coincidió, confirmó y extendió los trabajos existentes, llegando en forma independiente a la misma conclusión de la no uniformidad de la distribución de la adherencia en la longitud del fija del anclaje; pero, finalmente, introduciendo el factor de eficiencia para el cálculo de la longitud de bulbo teniendo en cuenta este fenómeno. Esta investigación la aplicó luego para el desarrollo de una nueva tecnología de anclajes postensados al suelo y roca que se denominó «Single Bore Multiple Anchor»® (SBMA) o anclaje de bulbo múltiple.

El sistema de anclaje de bulbo múltiple consiste en la utilización, de forma mucho más eficiente, de las tensiones de adherencia disponibles en el terreno mediante el empleo de varias unidades de anclaje dentro de la misma perforación, conformando todo el anclaje múltiple. Con este sistema se pueden usar en forma eficiente longitudes fijas de 10 a 25 metros, alcanzando capacidades de cargas de servicio en los anclajes del orden de 800 a 2000 kN, en diferentes tipologías de suelos y en diferentes unidades de suelos simultáneamente, y con la posibilidad de «sacrificar» una o dos unidades de anclajes en lentes de terrenos débiles, concepción actualmente vedada en los anclajes tradicionales.

1.2. CONCEPTO DEL ANCLAJE DE BULBO MÚLTIPLE

El sistema involucra la instalación de varias unidades de anclajes en una misma perforación, conformando todas un único anclaje llamado de bulbo múltiple (SBMA). Cada unidad tiene su propio tendón individual, su propia longitud libre, longitud de bulbo y es cargado utilizando su propia unidad de tensado. El tensado de todas las unidades de anclaje es llevado a cabo simultáneamente mediante un equipo de gatos hidráulicamente sincronizados que aseguran que la carga aplicada en las diferentes unidades es siempre la misma.

En una situación donde el mecanismo de transferencia de carga del tendón a la lechada de cemento elimina la pérdida de adherencia progresiva, o donde las longitudes fijas de las unidades de anclajes son suficientemente cortas como para no verse afectadas por este efecto, luego en un estrato de suelo homogéneo la resistencia máxima del terreno puede ser movilizada (por adherencia) uniformemente y simultáneamente a lo largo de toda la longitud fija de cada unidad.

La suma de las cargas de las distintas unidades de anclajes totaliza la carga total del anclaje de bulbo múltiple. Con la concepción de diseño no existe una limitación teórica en la longitud de bulbo total utilizada (la suma de las longitudes fijas de las diferentes unidades), mientras que para los anclajes convencionales se espera poco o ningún incremento de carga con longitudes fijas mayores de 8 a 10 metros.

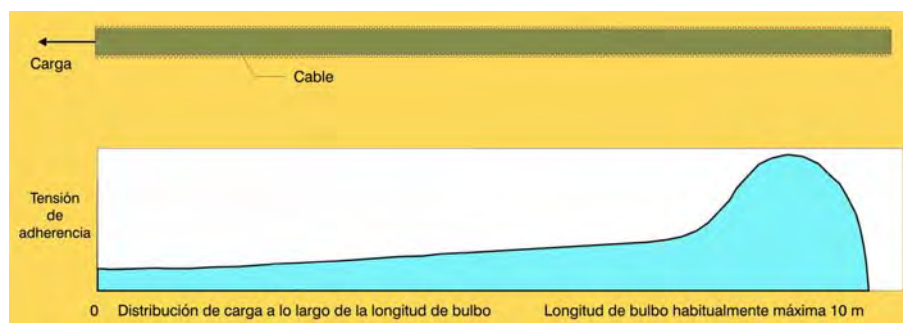


Figura 1a. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE ADHERENCIA A LO LARGO DE LA LONGITUD FIJA DE UN ANCLAJE TRADICIONAL

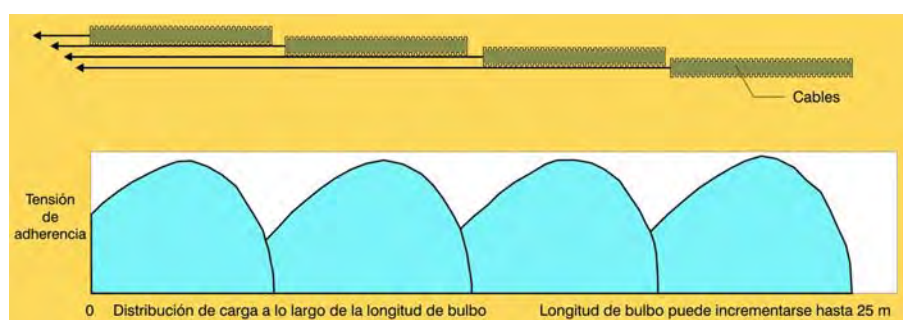


Figura 1b. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE ADHERENCIA A LO LARGO DE LAS LONGITUDES FIJAS DE CADA UNIDAD EN UN ANCLAJE DE BULBO MÚLTIPLE

En el caso de suelos no homogéneos en la longitud fija total, la longitud fija de cada unidad puede ser diseñada para la condición apropiada. Si el suelo es menos resistente en la parte superior, entonces las longitudes fijas de las unidades superiores serán mayores que las más profundas, de manera de que, cuando se aplique la misma carga a cada unidad de anclaje, cada uno moviliza el mismo porcentaje de la adherencia última de la interfase suelo-lechada de cemento, o de manera de que la falla de cada unidad ocurra en forma simultánea. Asimismo, si las unidades de anclaje están en suelos con diferentes características de fluencia (creep), las longitudes fijas de cada unidad se diseñarán para cumplir con los criterios de creep adoptados en su condición de servicio particular.

El anclaje de bulbo múltiple (SBMA) puede ser diseñado para un suelo cuya resistencia disminuye con la profundidad, o con resistencia variable a lo largo de la longitud fija total, o eventualmente encontrarse con bandas de terreno muy débil a profundidades variables. En este último caso, el número de unidades de anclaje son diseñadas de manera de permitir la falla potencial de una o dos unidades en las zonas débiles, mientras que las restantes unidades pueden soportar la carga total necesaria con un factor de seguridad adecuado.

1.3. ANTECEDENTES

En 1978, Barley realizó ensayos de arrancamiento en longitudes de tendones encapsuladas cortas, lo cual confirmaba que era posible una transferencia de carga del tendón a la lechada de cemento a través de una encapsulación. La incorporación de 3 unidades alternadas en un barril de prueba de 2 metros pudo ser el primer ensayo del anclaje de bulbo múltiple.

En 1988, el primer anclaje comercial SBMA fue ejecutado en Southhampton (Inglaterra) alcanzando una carga de 1337 kN para las cinco unidades de anclaje. Desde entonces el desarrollo y refinamiento de la técnica del anclaje de bulbo múltiple ha continuado hasta alcanzar en la actualidad más de 60.000 unidades de anclajes ejecutados y ensayados, los cuales pueden ser permanentes o provisionales. Asimismo un porcentaje de ellos se ejecutaron extraíbles, recuperándose el 100% de los mismos.

2. Consideraciones prácticas

Teóricamente, el anclaje de bulbo múltiple (SBMA) trabajaría a su máxima eficiencia usando una gran cantidad de unidades de anclaje de baja capacidad, cada una con longitudes fijas relativamente cortas a lo largo de la cual no exista pérdida de adherencia progresiva. Sin embargo, las siguientes consideraciones controlan el número de unidades y la capacidad de cada unidad:

- a) La longitud de adherencia, o mecanismo de adherencia, usado en la interfase tendón-lechada de cemento de cada unidad para permitir el uso de la total capacidad del tendón.
- b) El diámetro y tipo de protección contra la corrosión de la longitud fija (encapsulación).
- c) La influencia del pasaje de las longitudes libres de las unidades de anclajes más profundas en la capacidad de adherencia de las unidades superiores y la congestión resultante en la perforación.
- d) El arreglo en la cabeza del anclaje de los múltiples gatos individuales sincronizados hidráulicamente para el sistema de tensado (todas las unidades de anclaje tienen una longitud libre diferente, por lo que requieren diferentes cantidades de extensión y carrera de pistón).

2.1. EL TENDÓN DE LA UNIDAD DE ANCLAJE

Las dificultades de manejo y acoplamiento de las barras rígidas y la extremadamente baja carga del cable de un solo alambre excluyen inmediatamente a ambos de su consideración.

Las disponibilidades de cables habitualmente son de 12 mm, 15 mm y 18 mm de diámetro, con una variedad de tipos en cada diámetro. Las investigaciones en ensayos de arrancamiento de cables y encapsulaciones realizadas permiten elegir una variedad de opciones de mecanismos de adherencia: cable no deformado y cable deformado, o tendón deformado, o elementos de anclaje mecánico. Para anclajes permanentes que requieren un sistema de doble protección plástica para cumplir con los estándares europeos de protección contra la corrosión se prefiere el sistema de elementos de anclaje mecánico, mientras que para trabajos temporales se pueden utilizar tanto el cable deformado como los elementos de anclaje mecánico para el anclaje extraíble.

Aunque se ha demostrado que se puede alcanzar la carga máxima de cada tipo de cable en longitudes de encapsulación de 1 a 1,50 metros, en la práctica las unidades de encapsulación se estandarizan entre 2 y 3 metros como resguardo general. El tamaño de la encapsulación plástica doble puede ser tan pequeña como 22 mm de diámetro; igualmente, el diámetro en uso habitualmente es de 50 mm para facilidad de fabricación. Se pueden incorporar satisfactoriamente varios cables en cada unidad de anclaje.



Foto 1. MONTAJE UTILIZADO EN SEVILLA PARA ANCLAJE DE BULBO MÚLTIPLE DE CUATRO UNIDADES

2.2. EL EFECTO DE LOS CABLES ADYACENTES A UNA LA LONGITUD FIJA DE UNA UNIDAD

Todos los mecanismos que transfieren carga del tendón a la lechada, o encapsulación a la lechada, someten a la lechada a tensiones para que reviente. Debido a la muy baja capacidad de resistencia a la tracción de las lechadas de cemento es, en la mayoría de los casos, el suelo o roca circundante el que efectivamente confina a la lechada y el que previene la rotura de la columna. La presencia de un número de cables en cercanía próxima y dentro de una vaina compresible, adyacente al sistema de adherencia de la unidad de anclaje próxima, produce una considerable debilidad en la columna de lechada y una reducción en el confinamiento efectivo. Se llevaron a cabo ensayos para investigar esta influencia en la capacidad de adherencia de la encapsulación y los elementos de anclaje mecánico. En las condiciones de suelo donde las presiones de confinamiento son limitadas se ha desarrollado un sistema de aislamiento de los cables adyacentes en vainas incompresibles y se ha reforzado la lechada para asegurar que estos problemas no resulten en una baja capacidad de carga a la falla por arrancamiento.

2.3. EL SISTEMA DE TENSADO MÚLTIPLE

La elección inicial de unidades de anclaje de 200 a 300 kN determina la necesidad de la capacidad del sistema de tensado para ensayos de aceptación e investigación. Los anclajes preliminares de prueba para determinar la carga última de adherencia en la interfase lechada-suelo alcanzan habitualmente cargas de 600 kN por unidad de anclaje.

En la foto 1 se muestra el montaje de gatos múltiples sincronizados hidráulicamente. Cada gato es acoplado a través de un manifold, a una central hidráulica única, por lo que la carga en cada unidad de anclaje es la misma durante la aplicación. La presión hidráulica medida por manómetros, y basado en el área del pistón de gatos idénticos, garantiza que la carga aplicada es conocida. Cualquier error de la medición de presión es identificada inmediatamente observando la discrepancia entre las lecturas de los manómetros de cada gato y el de la central hidráulica misma.

En el caso de anclajes de prueba, cada unidad de gato tiene su válvula de cierre para que, si durante el desarrollo de la prueba se alcanza la falla de una unidad, su válvula sea cerrada y se pueda observar esa unidad en forma independiente mientras continua el ensayo de las otras unidades.

3. Avance en el diseño de la longitud fija del anclaje

Muller (en 1966) y Berrardi (en 1967) nos ilustraron sobre la concentración de carga en el inicio de un bulbo adherido a una roca, en congruencia con las predicciones teóricas de Coates y Yu (1970). También Philips (1970) sugirió un enfoque inicial para un mejor entendimiento de la distribución de tensiones de adherencia a lo largo de una longitud de bulbo con pérdida de adherencia parcial en roca mediante diferentes patrones.

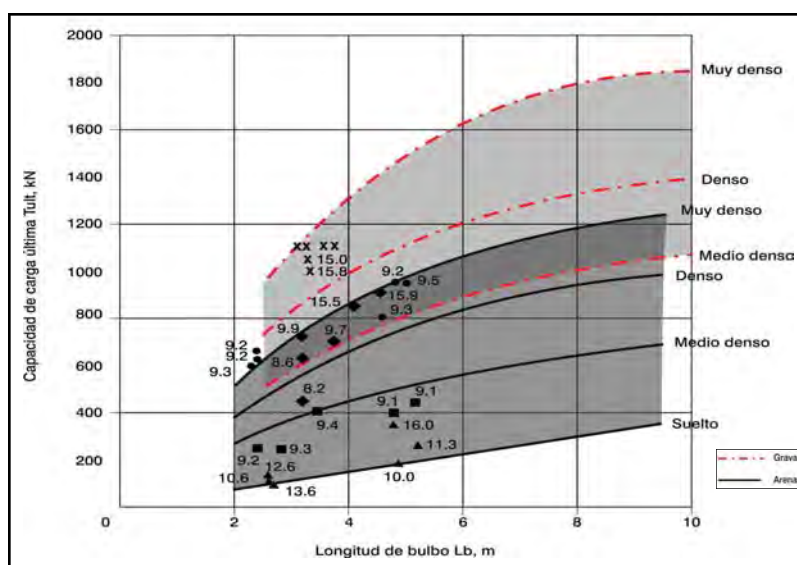


Figura 2. CARGA ÚLTIMA DE UN ANCLAJE EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD FIJA EN ARENAS Y GRAVAS (Ostermayer)

La investigación de Ostermayer en los años setenta sobre el comportamiento de anclajes adheridos a arcillas, arenas y gravas remarcó la distribución no uniforme de las tensiones de adherencia y de la progresión de la concentración de carga a lo largo de largas longitudes fijas de anclajes.

Mastrantuono y Tomillo ((1977) y Evangelista y Sapio (1978) mostraron la distribución no uniforme de tensiones en longitudes fijas de anclaje en suelos cohesivos

Ostermayer y Fujita et al.(1978) concluyeron independientemente que altas tensiones de adherencia pueden ser movilizadas en la interfase lechada de cemento-suelo en una longitud corta de 1,00 a 2,00 metros, y aun cuando se empleen longitudes fijas mayores a 6,00 ó 7,00 metros, el incremento real de carga alcanzado en la fuerza última de extracción será muy pequeño.

La pérdida de adherencia progresiva resulta en un altamente ineficiente uso de la resistencia del terreno disponible *in situ*. En una situación donde se ha movilizad la resistencia del suelo casi a lo largo de toda la longitud fija, es utilizada en su máxima adherencia una zona de alta concentración que sólo es una parte de la misma (y que progresa o se traslada a lo largo de la longitud fija con el incremento de carga), estando el resto de la longitud a una adherencia residual, al haberse excedido la resistencia del terreno debido a la deformación impuesta para lograr tal movilización (Fig.1). Aunque no traducidas a fórmulas de diseño, las curvas experimentales presentadas por Ostermayer (1974) permiten la evaluación de la no linealidad de la capacidad de los anclajes en suelos granulares y cohesivos (Fig. 2).

A pesar del conocimiento de la no uniformidad de la distribución de la adherencia a lo largo de la longitud fija del anclaje, el procedimiento de su diseño muchas veces utilizado se ha simplificado, haciéndolo proporcional con su longitud, por lo que, para lograr una mayor capacidad de carga, simplemente pero ineficientemente se incrementa la longitud fija hasta longitudes tales como 27,00 metros.

Es importante mencionar que la norma británica de anclajes al terreno BS8081:1989 sugiere una longitud fija máxima de 10,00 metros.

3.1. EL FACTOR DE EFICIENCIA DE LA LONGITUD FIJA

Los trabajos de Casanovas y Mecsi trataron matemáticamente el fenómeno de la pérdida de adherencia progresiva cuantificando la longitud fija efectiva donde se utiliza o moviliza la mayor adherencia.

Finalmente, Barley introdujo el concepto de factor de eficiencia (f_{eff}) para tener en cuenta la «eficiencia» de un anclaje para movilizar el valor último de la adherencia (t_{ult}) en la interfase lechada-suelo basado en los resultados de 22 ensayos.

$$f_{eff} = \frac{\text{Área A}}{\text{Área bajo línea } t_{ult}} \quad [1]$$

La expresión dada por Barley que cuantifica la reducción en la eficiencia de la longitud fija del anclaje con su aumento es:

$$f_{eff} = 1,6 L_b^{-0,57} \quad [2]$$

– L_b Longitud fija o de bulbo del anclaje.

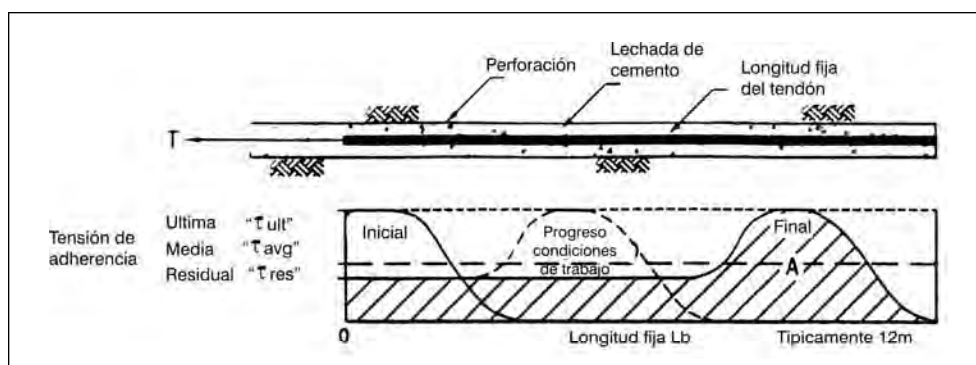


Figura 3. LA CARGA ÚLTIMA DE LA LONGITUD FIJA DEL ANCLAJE ES IGUAL AL ÁREA DEBAJO DE LA CURVA A, SIENDO LA MÁXIMA POSIBLE EL ÁREA TOTAL BAJO LA LÍNEA DE t_{ult}

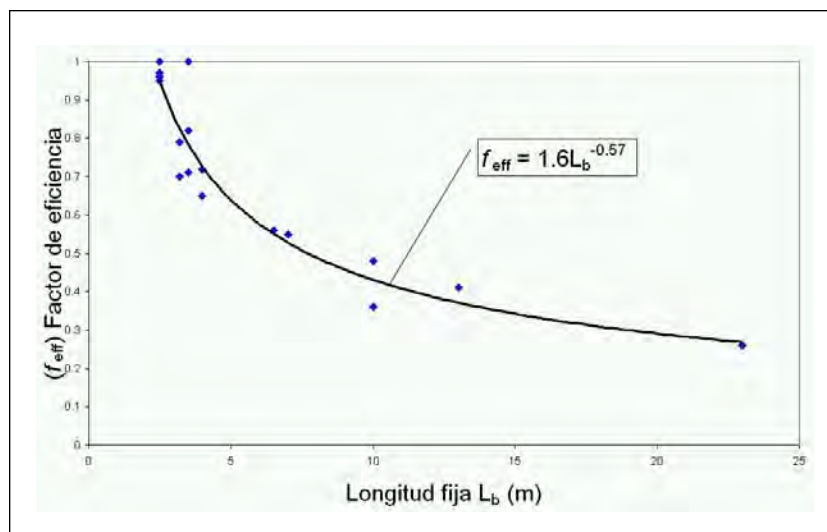


Figura 4. FACTOR DE EFICIENCIA (Barley, 1995)

La capacidad última de la longitud fija de un anclaje está dada por:

$$T_{ult} = T_m \cdot L_b \cdot f_{eff} \quad [3]$$

donde

– T_m Capacidad última por metro en una longitud de bulbo corta, donde la influencia de la elasticidad del tendón sobre la adherencia es pequeña o despreciable. Para acero, típicamente está entre 2,00 y 3,00 metros.

Asimismo se puede estimar la carga última por metro como:

$$T_m = p \cdot d \cdot t_{ult} \quad [4]$$

siendo d el diámetro del cuerpo inyectado de lechada de cemento.

Tenemos entonces:

$$T_{ult} = p \cdot d \cdot t_{ult} \cdot L_b \cdot f_{eff} \quad [5]$$

Esta fórmula no se aplica en los suelos granulares donde no se puede considerar una proporcionalidad directa con el diámetro de la perforación debiéndose mantener la fórmula [3]; véase Ostermayer y Barley (2003).

Se puede hacer una estimación del valor último de la adherencia (t_{ult}) en la interfase lechada-suelo mediante relaciones con la resistencia al corte no drenada (C_u), o con valores de ensayos de penetración estándar (N_{spt}).

$$t_{ult} = f_{10} \cdot C_u \quad \text{ó} \quad t_{ult} = f_{10} \cdot N_{spt} \quad [6]$$

Con esta formulación podemos evaluar y comparar la eficiencia de un anclaje tradicional con una longitud de bulbo de 10,0 metros y la de un anclaje de bulbo múltiple (SBMA) de 4 unidades de anclaje de 2,50 metros. Evaluamos sus factores de eficiencia y los comparamos.

$$f_{eff} = 1.6 (2,50)^{-0,57} = 0,95$$

$$f_{eff} = 1.6 (10,0)^{-0,57} = 0,43$$

La relación de factores de eficiencia (0,95/0,43) nos da 2,20; es decir, que la capacidad de un anclaje de bulbo múltiple (SBMA) es de 2,20 veces la de un anclaje tradicional bajo las mismas condiciones de ejecución.

Figura 5. PERFIL GEOTÉCNICO Y ANCLAJE DE PRUEBA ENSAYADOS

4. Aplicación del anclaje de bulbo múltiple en Sevilla

Para el uso del anclaje de bulbo múltiple en una estructura anclada en Sevilla se proyectaron dos ensayos de investigación y un ensayo de aptitud.

El fin de estos ensayos fue el de determinar las resistencia última de la interfase lechada-suelo para las condiciones de terreno y materiales utilizados, la carga crítica de fluencia de sistema de anclaje, las características de fluencia del sistema de anclajes bajo diferentes niveles de carga hasta la rotura, y definir los posibles anclajes de servicio para el sistema de contención. Adicionalmente se pudo comprobar el desempeño de la ejecución de este tipo de anclajes en comparación con los anclajes tradicionales.

El perfil geotécnico del lugar está conformado por rellenos flojos en los 3,0 metros superiores, por arcillas arenosas de consistencia firme a muy firme, creciente con la profundidad, y de un espesor aproximado de 12,0 a 15,0 metros para luego encontrarse con una unidad de arenas y gravas densas.

4.1. ANCLAJES DE PRUEBA TA1 Y TA2

Los dos anclajes se diseñaron con 4 unidades de bulbo por anclaje, denominadas A, B, C y D. Las longitudes fijas de cada unidad fueron: $L_A = 4,0$ metros, $L_B = 3,0$ metros, $L_C = 2,5$ metros, $L_D = 2,5$ metros. Cada unidad poseía tres cables de acero de alta resistencia de 0,6" de diámetro.

Estas unidades se anclaron en la unidad de arcillas arenosas, según muestra la figura 5. Su diseño fue a partir de una correlación con el valor de los ensayos de penetración estándar disponibles, estimándose un valor de t_{ult} según la fórmula [6] con un factor de correlación f_{10} de 8.

La perforación de los anclajes se ejecutó con un diámetro de 160 mm, utilizando un sistema de perforación mediante barrido con agua y entubación.

Una vez realizada la perforación se procedió a introducir el arreglo de unidades de anclaje cuidando la colocación de espaciadores y protecciones utilizadas.

Luego se procedió a retirar la camisa de perforación al mismo que tiempo que se realizaba la inyección global única (IU) a lo largo de toda la longitud de bulbo.

Una vez ejecutados todos los anclajes de investigación al cabo de siete días se procedió a su ensayo con el sistema de tensado múltiple.

Los resultados obtenidos de los dos anclajes de investigación se presentan en la siguiente tabla:



Foto 2 EJECUCIÓN DEL ANCLAJE DE PRUEBA TA1

ANCLAJE		CARGA MÁXIMA (kN)	LONGITUD FIJA DE LA UNIDAD (m)	CARGA POR UNIDAD DE LONGITUD (kN / m)	t_{avg} (kN / m ²)	f_{eff}	t_{ult} (kN / m ²)
TA1	A	400	4,00	100,00	199	0,73	275
	B	400	3,00	133,33	278	0,85	327
	C	425	2,50	170,00	338	0,95	356
	D	325	2,50	130,00	259	0,95	272
TA2	A	350	4,00	87,50	174	0,73	238
	B	475	3,00	158,33	315	0,85	370
	C	400	2,50	160,00	318	0,95	335
	D	400	2,50	160,00	312	0,95	335

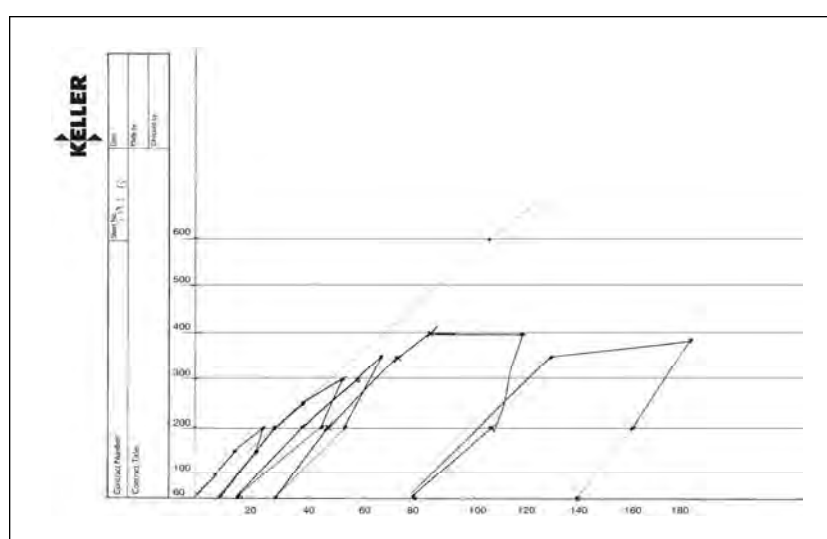


Figura 6. CURVA CARGA-DEFORMACIÓN PARA LA UNIDAD B DEL ANCLAJE DE PRUEBA TA1

Las velocidades de fluencia (ks) medida en los anclajes para la carga de 1200 kN fue menor que la permitida por la norma europea de anclajes. Una velocidad de fluencia baja es característica de los anclajes de bulbo múltiple, pues no existe la necesidad de progreso de transferencia de carga a lo largo de la longitud fija.

El factor de correlación con el valor del ensayo de penetración estándar f_{10} resultó en el rango de 8 a 10 para estimar t_{ult} . Este factor de correlación es mayor que el propuesto por M. Bustamante para arcillas, que está en el orden de 5 a 6,5 para el sistema de inyección utilizado, aunque su método de diseño no tiene en cuenta la eficiencia de la longitud fija del anclaje e indica valores promedio de adherencia. También en su artículo indica que para longitudes comprendidas entre 5 y 18 metros no observa ninguna caída particular de los valores de adherencia última propuestos. Es importante remarcar que este método se aplica tanto para el diseño de anclajes como de micropilotes, por lo que posiblemente esa generalización sea el motivo de su discrepancia.

Los resultados de la prueba demostraron la capacidad última *in situ* para el diseño de anclajes de producción. Con los datos obtenidos se pueden diseñar, por ejemplo, anclajes de bulbo múltiple de 7 unidades utilizando el mismo sistema de ejecución e inyección para una carga última de 2800 kN, por lo que su carga de servicio sería de 1400 kN, utilizando una longitud libre de 10,00 metros y 19,00 metros de longitud fija total y con una longitud global de 29,00 metros.

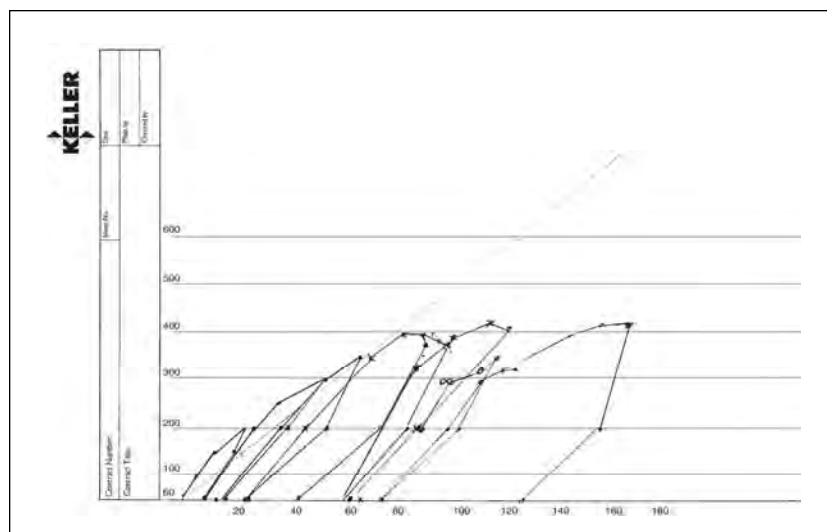


Figura 7. CURVA CARGA-DEFORMACIÓN PARA LA UNIDAD C DEL ANCLAJE DE PRUEBA TA1

4.2. ANCLAJE EXTRAÍBLE DE PRUEBA TA3

Herbst (1997) menciona las distintas posibilidades de anclajes, los distintos tipos de extracciones y mecanismos posibles, que, aunque parecen tener un fundamento sencillo, son de difícil implementación para que garanticen una alto porcentaje de eficiencia a fin de cumplir con su objetivo: la remoción del tendón del anclaje.

El anclaje de bulbo múltiple posee un diseño particular cuando las condiciones el proyecto requieren que el anclaje sea extraíble. Este diseño permite la extracción total del cable de acero.

Para cada unidad el sistema utiliza cables que recorren toda la longitud del anclaje en forma de lazo, envainados y engrasados en toda su longitud. La carga es transferida en el lazo a una silla metálica con un elemento de transferencia de carga a compresión adecuado. Ambos extremos de cada cable salen de la perforación y son tensados con el sistema de tensado múltiple. Al tener totalmente engrasado y envainado el cable, este aislamiento de la lechada de cemento permite la extracción de la totalidad del cable al tirar por uno de sus extremos.



Foto 3. J.A.PESTAÑA Y TONY BARLEY DURANTE EL ENSAYO DEL ANCLAJE TA1



Foto 4. TONY BARLEY SOSTENIENDO LA UNIDAD DE ANCLAJE EXTRAÍBLE RETIRADA PARCIALMENTE

El anclaje de prueba se diseñó con 4 unidades de bulbo, denominadas A, B, C y D. Las longitudes fijas de cada unidad fueron: $L_A = 4,0$ metros, $L_B = 3,0$ metros, $L_C = 2,5$ metros, $L_D = 2,5$ metros. Cada unidad poseía un cable de acero de alta resistencia de 0,6" de diámetro que se colocaba en forma de lazo con una silla en su extremo inferior a las longitudes de diseño.

El anclaje se cargó en escalones de carga hasta una carga de máxima de 1.000 kN, verificándose ampliamente las características de fluencia y pérdidas de carga aceptables, según los criterios de la norma europea.

Posteriormente a la realización de la prueba se procedió a extraer la unidad B del anclaje con ayuda de un gato unifilar, el cual permitió al cable vencer el rozamiento impuesto por el lazo en la silla para luego extraerse con mayor facilidad.

Este tipo de anclaje tiene una eficiencia para su extracción del 100% y, luego de su extracción inicial con el gato monotorón, su retirada final es posible con una grúa o elemento que posea mayor carrera para agilizar su retirada.

5. Conclusiones

La experiencia acumulada por Keller Ground Engineering en más quince años en el desarrollo de la tecnología del anclaje de bulbo múltiple (SBMA) en diferentes países tales como Australia, Austria, Corea del Sur, Estados Unidos de América, Gran Bretaña, Indonesia, Nueva Zelanda y Singapur, y en condiciones de terreno muy variadas, permite ofrecer actualmente una nueva herramienta probada y eficaz.

Los anclajes de bulbo múltiple (SBMA) constituyen actualmente la técnica más avanzada para conseguir la mayor eficiencia en la utilización de las altas capacidades de adherencia del terreno con las tecnologías actualmente empleadas en la ejecución de anclajes postensados. Mediante este sistema se aumenta el límite tradicional de cargas de anclajes utilizadas en suelos, y se innova en los paradigmas hasta ahora empleadas en referencia al diseño y ejecución de la longitud fija de un anclaje.

Las pruebas realizadas en Sevilla confirmaron las bondades de este sistema y la posibilidad de su rápida aplicación en España. Al emplearse menor cantidad de anclajes de bulbo múltiple, de mayor carga de servicio, que de anclajes tradicionales, habitualmente aporta como beneficio un menor plazo de ejecución de la obra y un ahorro en su coste total.

6. Referencias

- BARLEY, A.D. (1988). «Then thousand anchorages in rock.» *Ground Engineering*, Sept., Oct., Nov., 1988.
- BARLEY, A.D. (1995). «Theory and practice of the Single Bore Multiple Anchor System». Anker in Theorie and Praxis. Proc. Int. Symposium Salzburg Okt. 1995. Balkema Rotterdam, págs. 293-301.
- BARLEY, A.D. (1997). «The Single Bore Multiple Anchor System». Proc. Int. Conf. Ground Anchorages and Anchored Structures. Londres, págs. 65-75.
- BARLEY, A.D., P. McBARRON (1997). «Field trials on four high capacity removable multiple anchors founded in marine sand fill and in completely decomposed granite». Proc. Int. Conf. Ground Anchorages and Anchored Structures. Londres, págs. 148-157.
- BARLEY, A.D., C.R. WINDSOR (2000). «Recent advances in ground anchor and ground reinforcement technology with reference to the development of the art» *GeoEng2000*, Int. Conf on Geotechnical and Geological Engineering. Melbourne, noviembre 19-12, págs. 1048-1094.
- BARLEY, A.D., W.D. PAYNE and P.L. McBARRON (1999). «Six rows of high capacity removable anchors support deep soil mix cofferdam». Proc. 12 European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Amsterdam.
- BERARDI, G. (1967). «Sul Comportamento Deglic Ancoraggi Immersi in Terreni Diversi». Univ. Genoa, *Inst. Constr. Sc. Serie III*, Nº 60, 18 págs.
- BUSTAMANTE, M. (1986). «Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados». *Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones*, nº 81-82.
- CASANOVAS. (1989). «Bond strength and bearing capacity of injected anchors: a new approach.» Proceedings of the 12 Conference SMFE. Río de Janiero, vol. 2.
- COATES, D.F., Y.S. YU (1970). «Three dimensional stress distributions around a cylindrical hole and anchor». Proc. 2 Int. Conf. on Rock mech. Belgrado, págs. 175-182.
- EVANGELISTA, A., G. SAPIO (1978). «Behaviour of ground anchors in stiff clays.» Specialty Sessions Nº4, 9 Conf. Int. Soil Mech. Found Eng. Tokio, págs. 39-47.
- FUJITA, K., K. UEDA, M. KUSABUKA. (1978). «A Method to predict the load displacement relationship of ground anchors.» *Revue Française de Géotechnique* No. 2. 58-62.
- HERBST, T.F. (1997). «Removable ground anchors - Answer for urban excavations.» Int. Conf. Ground Anchorages and Anchored Structures. Londres, págs. 197-205.
- MASTRANTUONO, C., A. TOMIOLO (1977). «First application of a totally protected anchorage.» Speciality Sessions Nº 4, 9 Conf. Int. Soil Mech. Found Eng. Tokio, págs. 107-112.
- MECSI, J. (1997). «Some practical and theoretical aspects of grouted soil anchors.» Int. Conf. Ground Anchorages and Anchored Structures. Londres, págs. 119-130.
- MULLER, H. (1966). «Erfhnungenmit Verakerungen System BBRV in Fels-und Lock-ergensteinen». *Schweizerische Bauzeitung*, 84 (4), págs. 77-82.
- OSTERMAYER, H. (1974). «Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors.» Diaphragm Walls and Anchorages. Proc. Institution of Civil Engineers. Londres, septiembre 18-20, págs. 141-151.
- OSTERMAYER, H., F. SCHEELE (1978). «Research of Ground anchors in non-cohesive soils.» *Revue Française de Géotechnique* No. 3. 93-97.
- OSTERMAYER, H., A.D. BARLEY (2003). «Ground Anchors.» *Geotechnical Engineering Handbook*, Ernst & Sohn, págs.169-215.
- PHILIPS, S.H.E.(1970).«Factors affecting design of anchors in rock.» *Cementation Research Report R48/70*, Cementation Research Ltd., Londres.

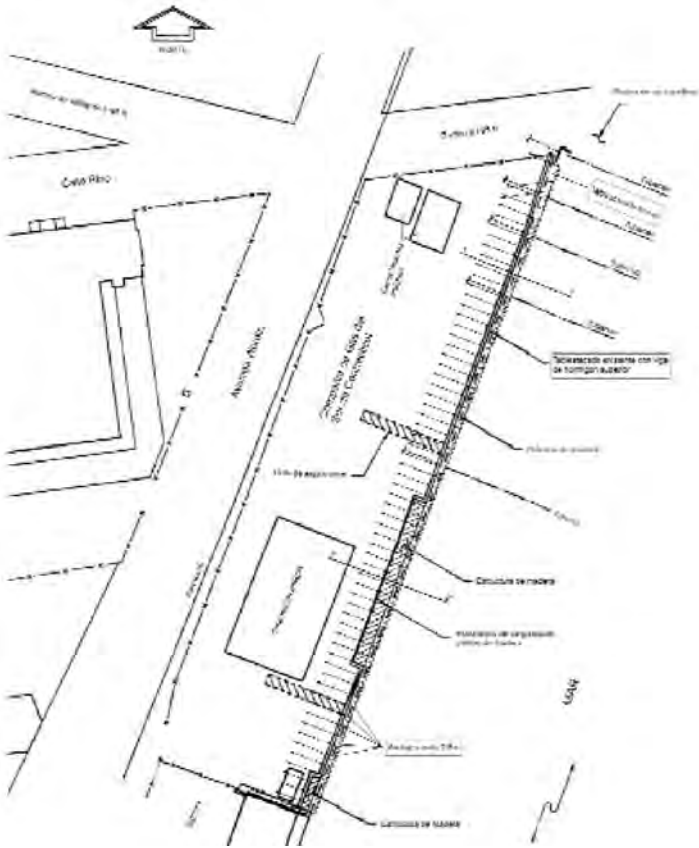
11

Dr. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.(GEOCISA)

Resumen

En este artículo se analizan, fundamentalmente, las particularidades de la ejecución de anclajes en terrenos contaminados y obras marítimas por medio de la presentación de un ejemplo de aplicación.

En dicho ejemplo, correspondiente a la renovación de un frente marítimo, se presentan los aspectos a tener en cuenta en obras marítimas, con particular énfasis en la influencia de las características tanto de la pontona y de la perforadora a utilizar como de las mareas en el emplazamiento. Además, se exponen las precauciones a considerar tanto desde el punto de vista de la ejecución como desde el del diseño y control en obra cuando los suelos están contaminados con hidrocarburos.



**Figura 1. PLANTA OBRA DE RENOVACIÓN DE FRENTE MARINO EN BRIDGEDPORT
(Connecticut, Estados Unidos)**

1. Introducción

En la costa este de los Estados Unidos de América es común la realización de obras de renovación de frentes marinos hechos hace más de 50 años con tablestacas de acero. Estas obras consisten básicamente en lo siguiente:

1. Hinca de una nueva línea de tablestacas de acero paralela a la existente y a poca distancia de ella.
2. Ejecución de una fila anclajes permanentes a una altura cercana al nivel medio de la marea alta en el lugar.
3. Relleno controlado del espacio entre tablestacas con material granular.
4. Dragado del fondo del mar hasta el nivel previsto en proyecto.

En la figura 1 se presenta una planta de una obra de este tipo realizada en Bridgeport, Connecticut. Asimismo, en la figura 2 se incluye una vista aérea de la misma y en las figuras 3 y 4 aparecen unas secciones típicas con los tablestacados antiguo y nuevo; este último, con los anclajes.

Los anclajes de tipo permanente proyectados eran de 48 t, iban colocados cada 2,50 m y estaban vinculados por una viga formada por dos perfiles de acero, según puede verse en la figura 5.

2. Diseño de los anclajes

El diseño de los anclajes se hizo de acuerdo con el documento: *Recommendations for prestressed rock and soil anchors*, publicado por el Post-Tensioning Institute, de los Estados Unidos América, en 1996.

Desde el punto de vista estructural los anclajes se diseñaron tomando el 60 % de la resistencia del acero (1.900 MPa) y una sección de los tendones, de 7 cables cada uno, de 1,4 cm². De este modo se llegó a de 3 tendones, con doble protección contra la corrosión en toda su longitud y tapa en cabeza, por tratarse de anclajes permanentes. En la figura 6 se presenta una sección longitudinal de estos anclajes, en la figura 7 se incluye un detalle de la cabeza y en las figuras 8 y 9 se muestran secciones transversales de las zonas libre y de bulbo, respectivamente.



Figura 2. VISTA AÉREA DE LA ZONA DE OBRA

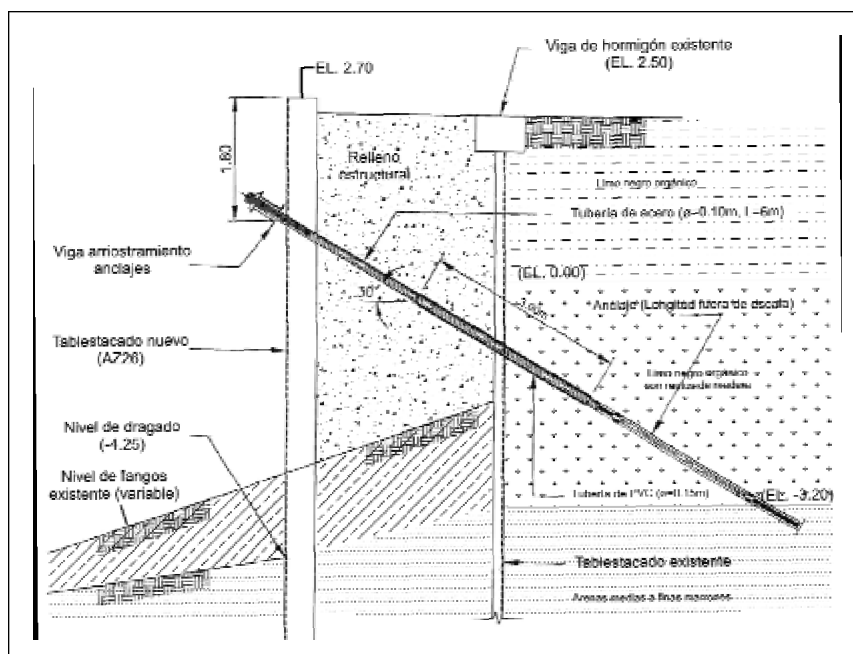


Figura 3. SECCIÓN TÍPICA TABLESTACADO NUEVO Y ANTIGUO (Sec. 1 en Fig. 1)

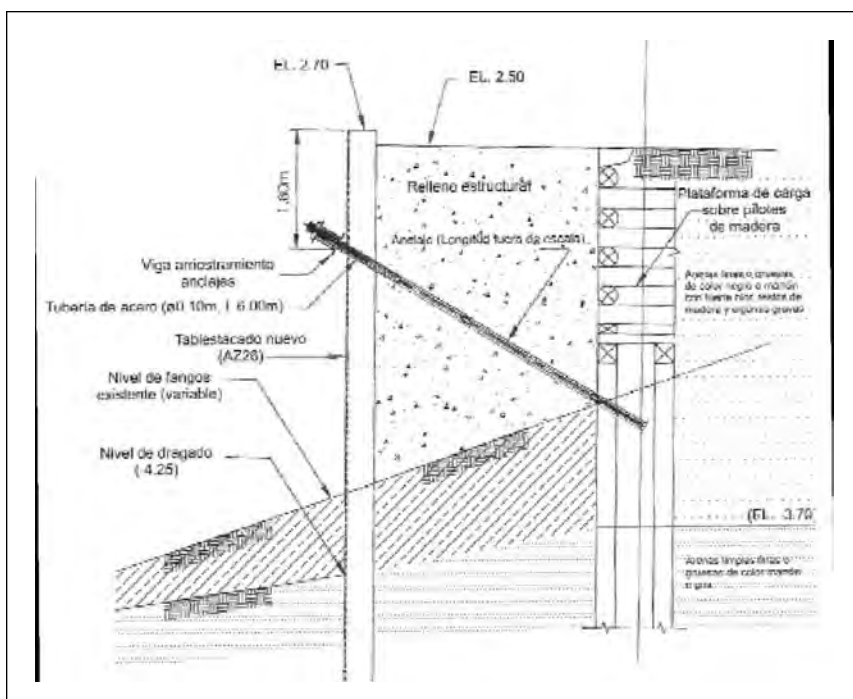


Figura 4. SECCIÓN TÍPICA TABLESTACADO NUEVO Y ANTIGUO (Sec. 2 en Fig. 2)

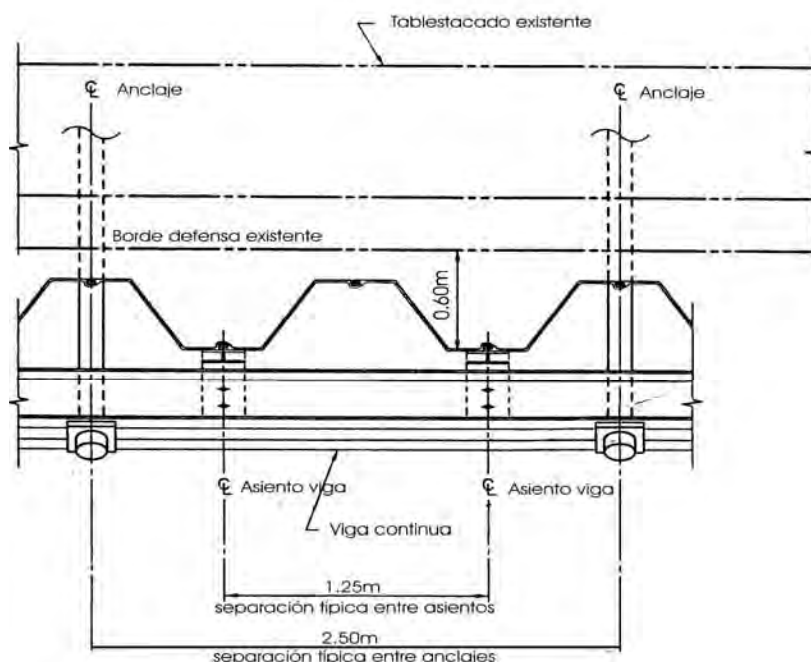


Figura 5. DETALLE TABLESTACADO NUEVO Y VIGA DE ARRASTRAMIENTO DE ANCLAJES

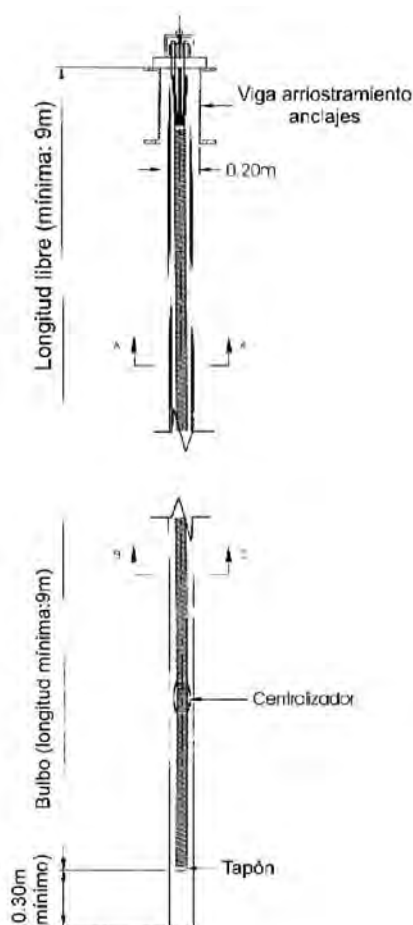


Figura 6. SECCIÓN LONGITUDINAL ANCLAJE

Para determinar la longitud libre de los mismos se tuvo en cuenta la inclinación de 30° respecto de la horizontal prevista en proyecto y la posición de la capa resistente de arenas medias a densas, situada a unos 4,5 m por debajo del punto de emboquille de los anclajes en el tablestacado. A su vez, para determinar la longitud de bulbo se estimó, de acuerdo con la sección 6.7.2.3 del documento citado en el párrafo anterior, una adherencia límite entre la lechada y el terreno de 2 MPa, un factor de seguridad igual a 2 y un diámetro de 133 mm, el cual correspondía al diámetro exterior de la tubería de revestimiento a emplear. Debido a que el sistema de inyección sería del tipo repetitivo, adicionalmente se consideró un factor de aumento de la adherencia, por esta causa, del orden de 1,2 a 1,25. En función de esto se llegó a una longitud de bulbo mínima de 9 m.

3. Ejecución de los anclajes

La ejecución de estos anclajes estuvo condicionada fundamentalmente por los dos factores siguientes:

- El tener que trabajar desde el agua.
- La contaminación del terreno.

El primero de estos factores, que se analizan en detalle en los dos subapartados siguientes, obligó a trabajar desde una pontona, mientras que el segundo condicionó el sistema de perforación e inyección utilizado y los resultados de los ensayos de carga.

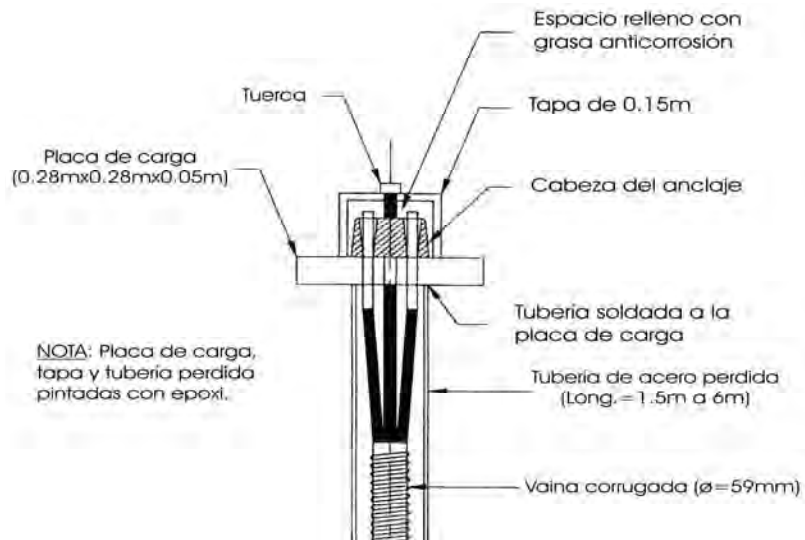


Figura 7. DETALLE CABEZA ANCLAJE

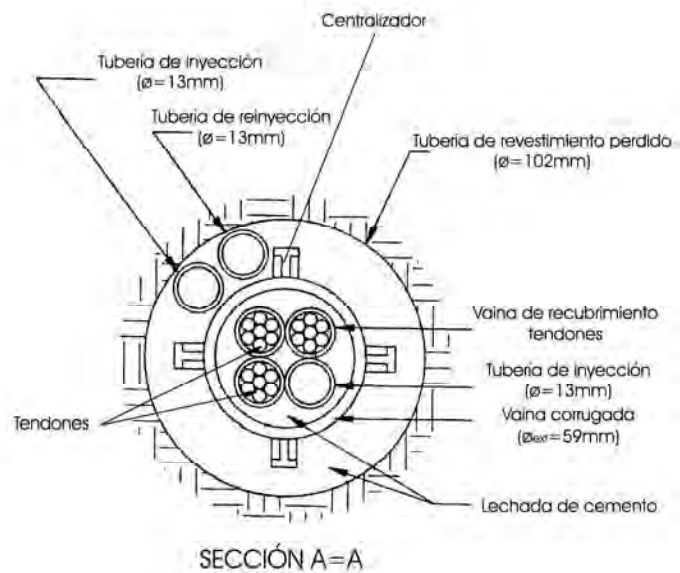


Figura 8. SECCIÓN TRANSVERSAL ANCLAJE EN ZONA LIBRE

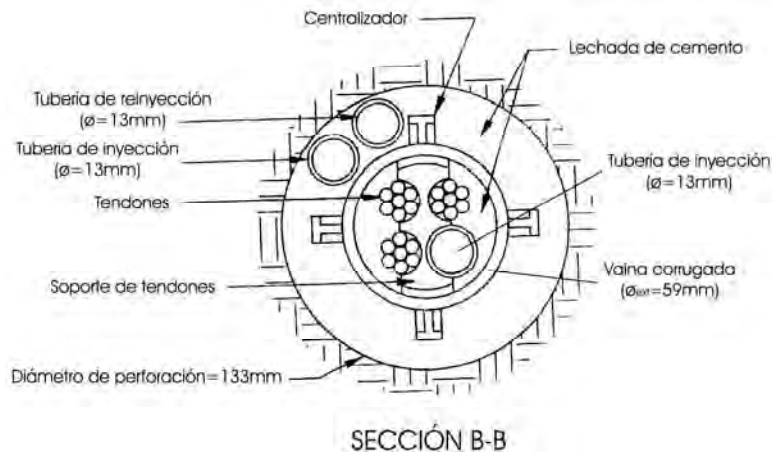


Figura9. SECCIÓN TRANSVERSAL ANCLAJE EN ZONA DE BULBO



Figura 10. VISTA GENERAL DE LA OBRA
(Nótese el sistema de fijación con tubos pasantes en las esquinas)

3.1. TRABAJO DESDE PONTONA

El trabajo desde pontona, del cual se aprecia una vista general en la figura 10, estuvo influido básicamente por:

- La carrera de marea, que en el caso particular de esta obra era de sólo 2 m, aproximadamente, tal y como puede verse en las figuras 11 a 13. Sin embargo, en obras frente a mar abierto, esta carrera puede superar los 4 m. Debido a ello, deben programarse adecuadamente los turnos de trabajo teniendo en cuenta que los ciclos de marea duran 12 horas y que los horarios en que se producen las mareas altas y bajas, en un mismo sitio, varían día a día.
- Las características de la pontona:
 - Dimensiones en planta que, junto con las dimensiones de la perforadora, condicionan el número de anclajes que pueden hacerse sin cambiar la pontona de posición.
 - Altura sobre la línea de flotación, que se puede variar agregando o quitando lastre a la propia pontona o por medio de tanques auxiliares colocados sobre ella (Fig. 14).

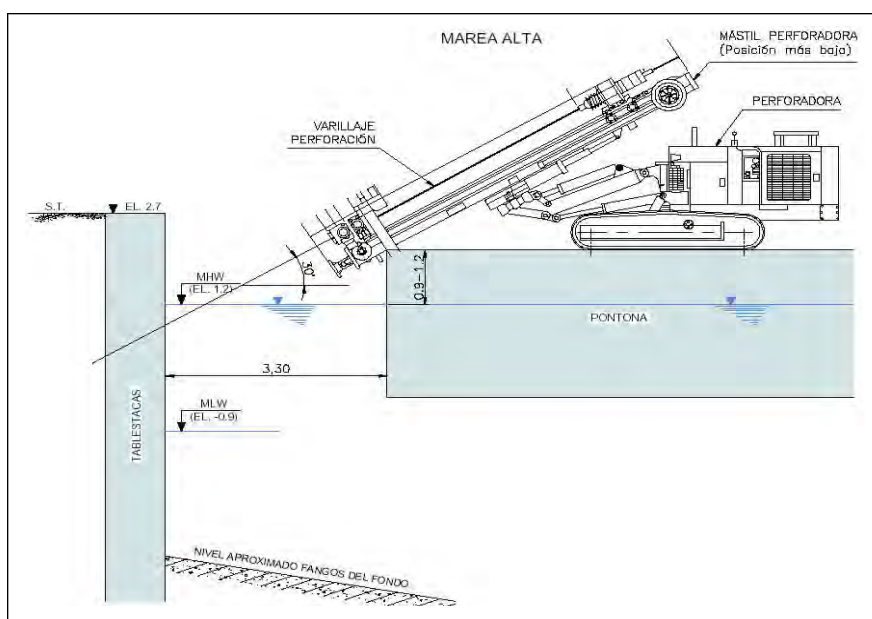


Figura 11. ESQUEMA PONTONA Y PERFORADORA CON MAREA ALTA

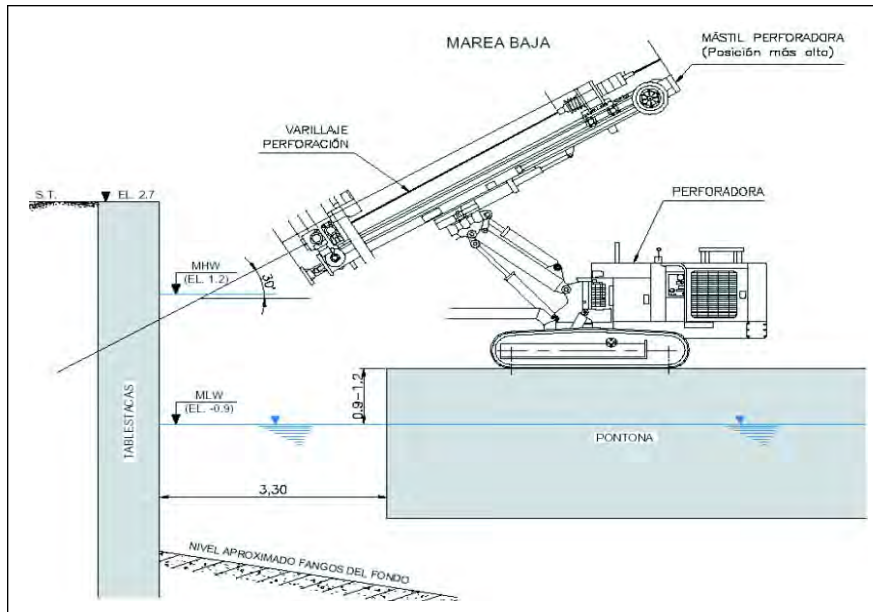


Figura 12. ESQUEMA PONTONA Y PERFORADORA CON MAREA BAJA

- Sistema de fijación, que presenta dos alternativas:
 - La utilización de tubos pasantes, en las esquinas de la pontona, a modo de “patas” apoyadas en el fondo del mar (Fig. 10).
 - El empleo de un sistema de cables o cadenas y tabloncillos para fijarla al propio frente marino (Fig. 14).

Si bien el primer sistema permite una mejor fijación de la pontona, presenta la desventaja de requerir una grúa de servicio, desde tierra, para levantar las “patas” mencionadas y cambiar de posición a la pontona.

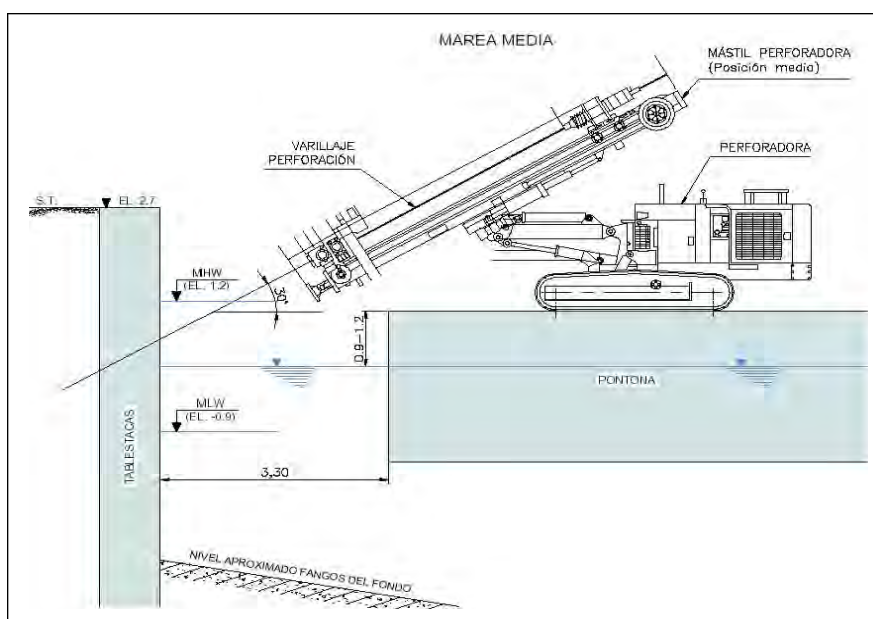


Figura13. ESQUEMA PONTONA Y PERFORADORA CON MAREA MEDIA



Figura 14. VISTA PONTONA CON TANQUES AUXILIARES PARA LASTRADO

- Separación mínima al frente marino, que depende del sistema de fijación de la pontona empleado, del espacio necesario para ciertas operaciones como el tesado de los anclajes y de la distancia necesaria para hacer, a través de los agujeros pre perforados en los tablestacados, el emboquille de los taladros en función de la carrera de marea, la altura del mástil de la perforadora y la inclinación prevista de los anclajes, tal y como se aprecia en las figuras 11 a 13.
- Las características de la perforadora:
 - Altura máxima y mínima que puede alcanzar el mástil con la inclinación de los anclajes, que varía, por lo general, entre 15 y 30°. Normalmente, en la situación de marea baja, el mástil de la perforadora debe alcanzar su altura máxima de trabajo y esto obliga al empleo de cestas o de plataformas para que los operarios puedan hacer su trabajo correctamente durante las fases de perforación e inyección (Figs. 11 y 15).
 - Dimensiones en planta, que, como ya se ha dicho, junto con las dimensiones de la pontona, influyen sobre el número de anclajes que pueden hacerse sin cambiar a ésta de posición.



Figura15. TRABAJOS DESDE CESTA CON MAREA BAJA

3.2. EJECUCIÓN EN TERRENOS CONTAMINADOS

De acuerdo con los cortes de los sondeos realizados previamente en la obra de Bridgeport, Connecticut, los testigos extraídos presentaban en algunas zonas olor a hidrocarburos. Este olor y, por tanto, el grado de contaminación, variaba según la zona y la profundidad, entre ligero e intenso. Debido a ello, se tuvieron que adoptar las siguientes medidas:

- El sistema de perforación tuvo que ser tipo O.D.; es decir, avanzando a la vez, por roto percusión, el revestimiento de 133 mm provisto de corona o zapata de corte y el varillaje interior con trialeta (Fig.16). De este modo se lograba que el detritus de perforación fuese conducido, prácticamente en su totalidad, a través del espacio anular entre el revestimiento y el varillaje interior mencionado, hasta la cabeza de rotación de la perforadora, convenientemente adaptada, desde la cual caía a unos recipientes especiales. Finalmente, desde estos recipientes se bombeaba a un tanque en tierra para su traslado a vertedero (Figs. 17 y 18).



Figura 16. DETALLE SISTEMA DE PERFORACIÓN CON TUBERÍA DE REVESTIMIENTO Y BARRA INTERIOR (O.D.)

- Se tuvo que colocar una barrera flotante rodeando a la pontona (Figs. 17 y 18).
- Se tuvo disponer de espacio extra en la pontona, y entre ésta y el tablestacado, para el sistema de recolección de detritus. Este sistema dificultó notablemente el movimiento de la perforadora sobre la pontona para efectuar varios anclajes sin tener que moverla (Figs. 17 y 18).
- Los operarios tuvieron que trabajar con monos y guantes especiales (Figs. 15 y 19) y seguir un procedimiento de descontaminación al final de cada jornada.



Figura 17. RECIPIENTES PARA CONTENCIÓN DE DETRITOS DE PERFORACIÓN
(Nótese la barrera flotante el en fondo de la foto)

En función de los datos obtenidos *in situ*, se estima que estas medidas especiales significaron una pérdida de rendimiento del orden de un 20 a 25 % en comparación con la producción normal que se hubiera obtenido en una obra similar pero sin contaminación.



Figura18. VISTA GENERAL DE PONTONA CON SISTEMA PARA CONTENCIÓN DE DETRITOS
(Nótese la barrera flotante el en fondo de la foto)



Figura 19. DETALLE TRABAJO DE OPERARIOS CON MONOS Y GUANTES ESPECIALES DE PROTECCIÓN

4. Controles de ejecución y de resultados

4.1. CONTROL DE EJECUCIÓN

El control de ejecución consistió en la realización de un parte por cada anclaje que incluyese la fecha y horario de construcción del mismo, junto con todos los datos sobre su situación, perforación (diámetro, método empleado, características del terreno encontrado y longitud alcanzada) e inyección y reinyección (dosificación de la lechada, presión y volumen). Además, se controló la decantación y la resistencia a la compresión simple de la lechada por medio de probetas cúbicas que se ensayaron a 7, 14 y 28 días y su densidad y, en consecuencia, su dosificación, utilizando una balanza de lodos y muestras tomadas directamente de la mezcladora (Figs. 20 y 21). De acuerdo con el documento mencionado en el apartado 2, la decantación debía ser menor que el 2 %, la resistencia a la compresión simple a 28 días debía ser al menos de 21 MPa y la relación agua cemento mantenerse entre 0,45 y 0,55, aproximadamente.



Figura 20. MUESTRAS CÚBICAS DE LECHADA PARA ENSAYOS DE LABORATORIO



Figura 21. DETALLE DE BALANZA DE LODOS PARA EL CONTROL DE DENSIDAD DE LAS LECHADAS

4.2. CONTROL DE RESULTADOS

Este control se llevó a cabo por medio de ensayos sobre cada uno de los 67 anclajes, durante las operaciones de tesado de los mismos. En estos ensayos se aplicó la carga en incrementos iguales al 25 % de la carga de diseño (CD) de los anclajes hasta llegar a una carga total (CT) igual a 1,33 veces la de diseño y se registraron las deformaciones correspondientes a cada uno de estos incrementos de carga, con una precisión de 0,02 mm. Una vez alcanzada la CT, ésta se mantuvo durante 10 ó 60 minutos, midiendo las deformaciones cada minuto, en el primer caso, o cada 5 minutos, en el segundo, con el objeto de estudiar si existía *creep* o fluencia bajo carga constante.

En cuatro de estos ensayos (es decir, en un 5 % del total) se hizo una descarga al alcanzar cargas equivalentes a 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,20 y 1,33 veces la CD. A modo de ejemplo, en la figura 22 se incluye la curva carga-deformación total correspondiente a uno de estos ensayos; en la figura 23, las curvas de la deformación elástica y residual o plástica en función de la carga aplicada, y en la figura 24, la curva deformación total-tiempo.

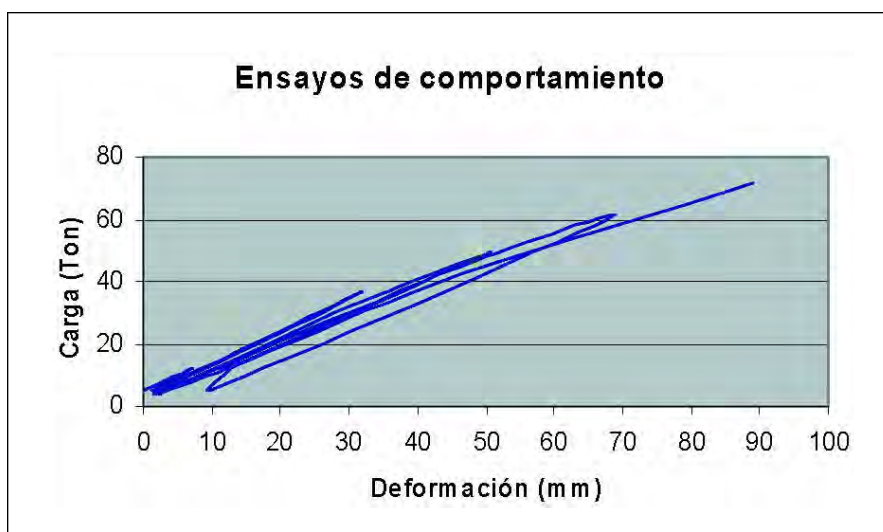


Figura 22. ENSAYO CARGA-DEFORMACIÓN CON CICLOS DE DESCARGA

Ensayo de comportamiento.

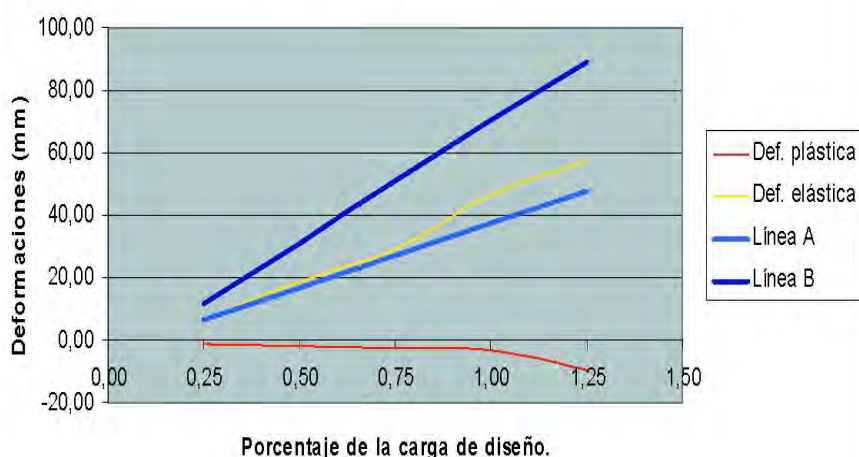


Figura23. DEFORMACIONES ELÁSTICA Y PLÁSTICA EN FUNCIÓN DE LA CARGA
Línea A: Deformación elástica de la longitud libre + 50 % de la longitud de bulbo.
Línea B: 80 % de la deformación elástica de la longitud libre

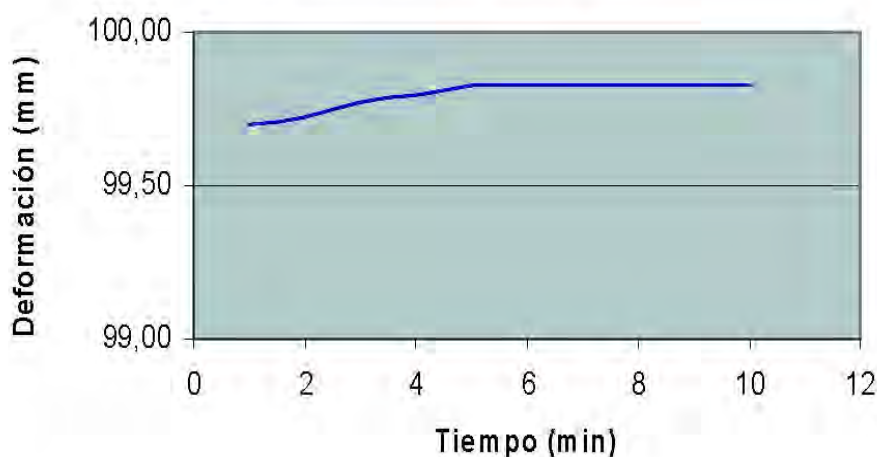


Figura24. ENSAYO DE FLUENCIA O CREEP PARA LA CARGA TOTAL

Después de ser sometidos a estos ensayos, los anclajes eran aceptados si cumplían con los requisitos siguientes:

- La deformación elástica correspondiente a la CT era mayor que el 80 % de la deformación elástica teórica de la longitud libre del anclaje y menor que la deformación elástica teórica de la longitud libre más la mitad de la longitud del bulbo.
- La deformación correspondiente al ensayo de *creep* o fluencia era menor que 1 mm, entre 1 y 10 minutos, y si este valor era excedido, la deformación por fluencia total entre 6 y 60 minutos no debía exceder de 2 mm.

Del total de los anclajes, 7 fallaron y tuvieron que ser sustituidos por anclajes nuevos y el resto fueron aceptados. No obstante, de entre estos últimos, 23 presentaron una deformación por fluencia o *creep* muy cerca del límite expresado en los requisitos anteriores y 14 fueron aceptados después de ser sometidos a una segunda reinyección.

5. Análisis de los resultados obtenidos

De los resultados de los ensayos se deduce que la contaminación del terreno tuvo una importante influencia sobre las propiedades de resistencia y deformación del terreno en donde se desarrolló el bulbo de los anclajes, cuya longitud fue calculada en fase de proyecto sin tomar ninguna precaución especial por esta causa. En efecto, no es normal que en anclajes de este tipo, diseñados de acuerdo con las recomendaciones de las guías de diseño existentes y ejecutados con controles estrictos, se produzca el fallo de, aproximadamente, un 10 % de los mismos y que otro 20 % tenga que ser reinyectado por segunda vez. Tampoco resulta normal que en anclajes con bulbos en arena el ensayo de fluencia o *creep* dé, en un 35 % de ellos, valores cercanos a los límites aceptables.

Los datos anteriores confirmarían los resultados obtenidos por Sánchez Villapadierna (2005) en ensayos de corte directo sobre muestras de materiales sin cohesión y con porcentajes variables de contaminación por hidrocarburos. De acuerdo con estos ensayos, porcentajes de hidrocarburos entre el 35 a 50 % llevarían a los suelos a fluir, prácticamente sin resistencia al corte, y porcentajes del orden de un 15 a 20 % disminuirían el ángulo de fricción interna de un 10 a 20 % y producirían, en suelos granulares, la aparición de una cohesión pequeña, en torno de 10 kPa y un aumento de la plasticidad. Esto último se debería a la viscosidad de los hidrocarburos, mientras que la disminución de fricción estaría originada por el efecto lubricante de aquéllos.

En función de lo expuesto en el párrafo anterior, puede concluirse que los lugares en donde los anclajes fallaron corresponderían a sitios en que la zona de bulbos tendría porcentajes de contaminación con hidrocarburos importantes, superiores al 20 %; mientras que, en otras zonas con porcentajes inferiores, los valores algo elevados de la deformación por fluencia o *creep* se deberían al aumento de plasticidad por efecto de los hidrocarburos.

6. Conclusiones y recomendaciones

La ejecución de anclajes en obras marítimas está condicionada fundamentalmente por los dos factores siguientes:

- El tener que trabajar desde el agua.
- La contaminación del terreno.

El trabajo desde pontona está influido básicamente por:

- La carrera de marea.
- Las características de la pontona:
 - Dimensiones en planta.
 - Altura sobre la línea de flotación.
 - Sistema de fijación.
 - Separación mínima al frente marino.
- Las características de la perforadora:
 - Alturas máxima y mínima que puede alcanzar el mástil con la inclinación de los anclajes.
 - Dimensiones en planta.

A causa de lo anterior, en estas obras deben programarse adecuadamente los turnos de trabajo, teniendo en cuenta que los ciclos de marea duran 12 horas y que los horarios en que se producen las mareas altas y bajas, en un mismo sitio, varían día a día.

La contaminación del terreno, a su vez, obliga a adoptar las siguientes medidas:

- El sistema de perforación tiene que ser tipo O.D.
- Se tiene que colocar una barrera flotante rodeando a la pontona

- Se tiene disponer de espacio extra en la pontona y entre ésta y el tablestacado, para el sistema de recolección de detritus.
- Los operarios tienen que trabajar con monos y guantes especiales y seguir un procedimiento de descontaminación al final de cada jornada.

En función de los datos obtenidos *in situ*, se estima que estas medidas especiales significan, en general, una pérdida de rendimiento del orden de un 20 a 25 % en comparación con la producción normal que se hubiera obtenido en una obra similar pero sin contaminación.

De los resultados de los ensayos de anclajes realizados se deduce que la contaminación del terreno tiene una importante influencia sobre las propiedades de resistencia y deformación del terreno en donde se desarrolló su bulbo.

Asimismo, de acuerdo con los resultados de ensayos de corte directo en suelos sin cohesión, porcentajes de hidrocarburos entre el 35 a 50 % llevarían a los suelos a fluir, prácticamente sin resistencia al corte, y porcentajes del orden de un 15 a 20 % disminuirían el ángulo de fricción interna de un 10 a 20 % y producirían la aparición de una cohesión pequeña, en torno de 10 kPa, y un aumento de la plasticidad.

Debido a lo anterior, el diseño de anclajes en suelos contaminados debe hacerse con criterio conservador, utilizando factores de seguridad superiores a los normales y dejando el aumento de resistencia debido a las reinyecciones como una reserva. Por el mismo motivo, el sistema de inyección de estos anclajes deberá ser de tipo repetitivo.

Referencias bibliográficas

- (1) POST TENSIONING INSTITUTE (1996). *Recommendations for prestressed rock and soil anchors*, third edition, Phoenix, Arizona.
- (2) SÁNCHEZ VILLAPADIerna, J.E.(2005). Comunicación personal.

MESA REDONDA SOBRE

Ejecución y Control

MODERADOR:

D. Rafael CASADO ORTEGA

SITE

MIEMBROS DE LA MESA:

D. Rafael LÓPEZ RODRÍGUEZ

KRONSA

D. Gustavo ARMIJO PALACIO

GEOCISA

D. Leoncio PRIETO TERCERO

RODIO

D. Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Rafael CASADO ORTEGA (Moderador)

SITE

Una vez se han completado las exposiciones, vamos a pasar a la fase de coloquio.

José María ECHAVE RASINES

TERRABAUER

Tenía dos cuestiones. Una para Leoncio Prieto, que no es una pregunta, sino simplemente es un dato basado en la experiencia que hemos tenido en algunas obras. Se trata de situaciones que se producen posteriormente a la ejecución y que no dependen básicamente del ejecutor. Una es la influencia que tienen, sobre todo en los anclajes de cuñas, las vibraciones posteriores a la ejecución de los anclajes en la pérdida posterior de tensión, sobre todo provocada en excavaciones de desmontes en los que se han empleado explosivos. Hay que tener mucho cuidado con las vibraciones que se transmiten a las cabezas y el posible destesado de las mismas. La segunda, y en referencia a este tipo de obras, se produce en zonas potencialmente agresivas en las que se pueden oxidar las cabezas, y tiene como solución la protección inmediata y sobre todo el aceiteado de las cuñas que evite que posteriores aumentos de carga sobre la carga que tiene el anclaje, dentro de los coeficientes de seguridad, provoquen que las cuñas se queden fijas, no deslicen y se claven más dentro de la cabeza, y que exista deslizamiento del cable dentro de la cuña. La tercera es una cuestión bastante, digamos, de andar por casa, pero que se nos ha dado en muchísimas obras y es la falta de protección, bien sea por el corte del cable sobrante o la falta de protección de las cabezas en excavaciones urbanas en las que los elementos en que las personas que se meten a hacer la excavación tienen poco cuidado, y les dan poca importancia a las cabezas de los anclajes, y ha habido fallos múltiples por rotura de las cabezas o rotura de los cables o destesado de las mismas por golpes.

La segunda es una pregunta para Rafael López, que nos ha contado la complejidad adicional que tienen los anclajes realizados bajo el nivel freático, donde hemos visto que todas las operaciones

son bastante complejas y que llevan a emplear métodos especiales, y entiendo que también un tiempo adicional en la ejecución. La pregunta es :¿Qué nos podéis contar acerca de la prevención que se tiene en los proyectos desde un punto de vista económico con este tipo de anclajes?¿Hay partidas en los proyectos que contemplan el incremento de costo en estas obras, porque siempre es un problema a la hora de contratar? ¿Y cuál es el consejo que les podéis dar a los proyectistas a la hora de tener en cuenta para evaluar este coste adicional en los proyectos para que luego no dé lugar a sorpresas, sobre todo a las empresas que tienen que hacer las obras desde un punto de vista de la construcción general y de las que tenemos que ofertar?

Rafael LÓPEZ RODRÍGUEZ

KRONSA

Bueno, he encontrado sólo dos obras en las que he encontrado una partida prevista para el incremento de coste que supone la realización de anclajes debajo del nivel freático. Sólo estas dos excepciones, pues a lo mejor significa que en el 99 % de los casos no existe ninguna partida prevista para este tema. La pérdida de rendimiento por el empleo de estos medio especiales puede llegar a ser muy fuerte, incluso a veces sobre el 50 % de la producción total, sino más. También depende de las condiciones en las que se haga, si la carga de agua es mayor o menor. ¿Consejos a los proyectistas sobre este tema? Generalmente, yo pienso que, aunque este es un tema que llevamos haciendo muchos años, todavía no ha llegado a conocimiento de la mayoría de los proyectistas. Que sean conscientes del problema, que es muy importante; y luego, a la hora de plantear las actuaciones, pues resulta que siempre nos encontramos, como antes decían para la realización de un infome geotécnico, que no hay dinero.

Arturo CANALDA

TERRATEST

La pregunta va dirigida al grupo Kellerterra. ¿Qué le pasa a un anclaje digamos de 7 cables cuando fallan el tercero y el sexto y no existe cierta dificultad para la reinyección? ¿Cómo resolvéis el tema?

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Entiendo que está asociado a 7 unidades de anclaje. Una característica particular de este tipo de anclajes es que se pueden ejecutar unidades de anclaje o unidades de bulbo de anclaje en distintos tipos de terreno. Incluso se da la situación que, si existe una zona de terreno libre en que no está bien precisada su situación, se pueden diseñar una serie de unidades de anclaje adicionales teniendo en cuenta que algunas de las mismas va a fallar. Se pueden colocar tantas unidades de anclaje, conociendo el perfil geotécnico, con objeto de prever que puede fallar una unidad. Es decir, esto está contemplado en el diseño, de manera que, si existe una banda de terreno débil, es posible colocar una o dos unidades adicionales previendo la falla del anclaje para mantener el coeficiente de seguridad frente a la carga de servicio.

Arturo CANALDA

TERRATEST

Es la cuestión de la reinyección. Yo le encuentro dificultades, dado que, siendo un anclaje de bulbo múltiple, puede afectar a los otros ¿Puede estropear otro bulbo? No lo sé.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

En su momento se hicieron investigaciones para cuantificar el efecto del pasaje de una longitud libre de varias unidades al lado del bulbo de un anclaje que estaba en tensión. Es decir, el tema está orientado a eso, la pregunta. Para ello hay que colocar protecciones adecuadas de manera que esa interferencia sea baja y se quede a cota de diseño, pero tal vez se aplica no a la gene-

ralidad de las aplicaciones esta protección. Bueno, mencionar que el tipo de inyección puede ser inyección única, repetitiva o repetitiva y selectiva. O sea, que en el fondo el tipo de inyección es el que habitualmente se utiliza en los anclajes.

Pedro SOLA CASADO

GEOCISA

Al hilo de esta pregunta que ha hecho Arturo, me gustaría, Juan Manuel, realizar un serie de consideraciones a lo que has comentado. He creído entender que cuando hablabas de factor de eficiencia comparabas este anclaje, que claramente tiene unas posibilidades grandísimas –pero, como todo en esta vida, tiene ventajas e inconvenientes– con un anclaje convencional. Como esta mañana se ha recalcado bastante la aportación que supone la *Guía* del Ministerio de Fomento de la Dirección General de Carreteras, lo de anclaje convencional es una simplificación poco admisible desde la aparición de esa *Guía*. Creo que, como mínimo, habría que compararlo al nivel de eficiencia con un anclaje IRS, puesto que estás anclando con inyecciones distintas, con bulbos distintos y con distintas longitudes. Desde luego, a nada que se miren un poco los gráficos de la propia *Guía* y los criterios de cálculo, se ve que entre un anclaje normal, de lo que hasta ahora se ha venido llamando anclaje normal, y parece que es el que estás tomando tú, un anclaje tipo IU (inyección única) y un IRS, la diferencia para un mismo tipo de terreno de carga en ese anclaje es mucho más del 50 e incluso del 100 %.

Segundo: Has comprobado unos casos reales –que has comentado– en Sevilla con los que podría dar un criterio; pero no sé si has utilizado los gráficos originales de Bustamente o han sido la adaptación que aparece en la *Guía*. Lo normal es que los criterios de cálculo sean conservadores, y lo normal –a nada que estén bien diseñados los anclajes y el reconocimiento geotécnico esté un poquito más allá del pobre reconocimiento geotécnico del que se ha hablado esta mañana y que es del que disponemos habitualmente– es que, si están bien ejecutados los anclajes, los ensayos den valores por encima de lo que nos da la norma de cálculo. Por tanto, lo normal es que cualquier –o al menos ésta es nuestra experiencia–, que en un conjunto de anclajes bien hechos, lo normal es que la mayoría estén, respecto a los criterios normales de cálculo, por encima de ellos en cuanto a eficiencia.

Tercero: Cuando hablabas que en la *Guía* no se ha tenido en cuenta el efecto Ostermayer, que ya se conocía de antiguo, yo quiero hacer dos matizaciones. En esa figura que has puesto se ve muy claro que los datos que tenía Ostermayer es una intuición bastante acertada, porque las cosas pueden ir por ahí, y que reflejan nada más que el comienzo de funcionamiento de bulbos con pequeñas longitudes. Cuando las longitudes son mucho mayores, se ve que están extrapolados los gráficos. Yo no he visto puntos ahí de ensayos comprobados. Él, con una intuición que puede ser correcta, extrapola. Pero, además, se observa en esta figura, y después se ha visto, que este efecto es mucho más importante a medida que el terreno es más resistente. La *Guía* ha truncado, y a eso se ha referido el profesor Oteo cuando ha dicho que se ha suavizado la resistencia dada por los gráficos de Bustamante limitando la resistencia para los valores mayores de los casos de terrenos más resistentes, de manera que se tenga en cuenta por vía indirecta ese posible efecto que existe y de modo que la *Guía* también tiene en cuenta eso. Por último, quería decir que, evidentemente, esto es una aportación que aún está por ver, cómo funciona de cara al futuro; pero, insisto, habría que ver –en el funcionamiento de cada uno de los tendones de los tirantes del anclaje por separado y que quedan en zonas distintas del terreno–, primero, ¿cómo se coordina y se lleva el tesado?; que suponga el tesado de modo que no funcione cada uno de una manera diferencial, simplemente porque el tesado es una operación complicada, y que te haga que cada uno funcione de una forma distinta, y sobre todo cuando entren en carga. Porque cada uno puede tener un bulbo anclado en zonas de terreno distintas, sobre todo cuando estamos en cuaternario, y una longitud libre que puede ser distinta, por lo que puede producirse un desequilibrio. No dudo de que con el tiempo se podrá resolver y puede ser un método interesante; pero no es la panacea, como ocurre con muchas cosas de la geotecnia. Por último y como dato de lo que decías, como orden de magnitud, anclar en las gravas de Sevilla; anclar, como tú has dicho, en anclajes convencionales, pues me parece muy pobre.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Eran arcillas.

Pedro SOLA CASADO

GEOCISA

Si eran arcillas, ya es otra cosa. Pero con anclajes IRS es fácil llegar a las 100 toneladas.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Contestando el planteamiento, insisto en que estamos comparando dos anclajes inyectados con la misma técnica. No estoy comparando anclajes inyectados con distintas técnicas. Estoy totalmente de acuerdo con el comentario de que inicialmente un anclaje IRS es capaz de tomar una carga mucho más importante que un anclaje inyectado con inyección única y global en ese suelo. Lo que pasó en ese terreno se diseñó así con este tipo de sección porque el informe geotécnico hablaba de una arcilla arenosa con mayor presencia de arena en profundidad; por esto se diseñó con este tipo de sección. Durante la ejecución se comprobó que el porcentaje de arena no era muy importante. Pero, bueno, esto, asociado de por qué se adoptó este tipo de solución y no directamente un IR o IRS. Estoy comparando la misma técnica de inyección.

Pedro SOLA CASADO

GEOCISA

Por supuesto, dentro de cada bulbo, claro. Pero lo que tenemos los ingenieros o los técnicos normalmente es la relación entre carga y precio. Convendrías conmigo que en un anclaje de bulbos múltiples, cada uno de ellos inyectado con un IU, será más caro que todo un anclaje inyectado con IU normal y corriente entero. Lo que digo es que, para las mismas toneladas y para el mismo coste, yo no compararía uno de bulbos múltiples inyectado con IU con otro IU inyectado entero, sino que compararía por coste para llegar a lo que vamos: uno de bulbos múltiples con un IRS, en el que debería salir algo parecido.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

En este caso la decisión es porcentual para decidir cuál emplear. Yo también compararía el de bulbos múltiples con el IRS, con lo que la relación de factores de eficiencia vuelve a ser la misma. Es decir, a pesar de ello, y retomando la pregunta del gráfico de Ostermayer. Este gráfico fue el publicado en el año 1974. Recientemente se ha actualizado. Lo que quería representar es que es un fenómeno conocido desde hace mucho tiempo, en las investigaciones del señor Barley, y lo realizó para el mismo terreno con diferentes longitudes de bulbo, y pudo comprobarlo, porque los anclaje se instrumentaron, que las curvas son reales. Esto no se quedó en el año 1974 con las investigaciones de Ostermayer, sino que todo lo que está publicado ahí está asociado con investigaciones de más de diez años. El señor Barley empezó con el concepto del anclaje de bulbo múltiple en el año 1978, y en el año 1988 se hizo el primer anclaje de bulbos múltiples comercial para una estructura en servicio. De ahí hasta el día de hoy el desarrollo ha perfeccionado y ha mejorado la técnica, con lo cual vuelvo a insistir que, para el mismo sistema de ejecución y para el mismo sistema de inyección, el factor de eficiencia comparando nos da que es mucho más eficiente un anclaje de bulbos múltiples; o sea, es capaz de tomar una mayor carga para el mismo sistema de inyección y de ejecución. Retomando el costo, si yo puedo hacer un anclaje más largo —como usted dice, es más caro hacer el anclaje porque es más largo—, puedo hacer dos con la misma técnica tradicional; entonces por tonelada de carga aplicada va a ser más barato. En cuanto al plazo de ejecución, al no tener que hacer dos veces la longitud libre y sólo aumentar la longitud del bulbo...

Pedro SOLA CASADO

GEOCISA

Lo que trato de decirte es que este fenómeno es conocido de antiguo. Tiene una incertidumbre que he comentado antes respecto al tesado y al funcionamiento. Al final, un anclaje de bulbos múltiples con los distintos bulbos IRS será más caro que un IRS sólo simplemente por su condición. Siempre tienes añadido, al mismo tipo de inyección, que tienes que tienes que hacerlo en varias fases. Con lo cual, aunque aguante más, que no te lo niego, tiene un sobre costo por esta circunstancia que habrá que mirarlo en cada caso.

Rafael CASADO ORTEGA (Moderador)

SITE

Vamos a dar entrada a otros temas, porque si no el debate va a ser monográfico, y tenemos un tiempo limitado. Termina, Juan Manuel...

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Voy a dar sólo dos conceptos más. Velocidad de fluencia del creep de un anclaje de bulbos múltiples es, por lo menos, la mitad que la de un anclaje tradicional, porque la transferencia de carga es en una longitud mucho menor que la de un anclaje tradicional, con lo cual no es un problema anclar en diferentes unidades de suelo el tesado del anclaje, al usar un sistema de gatos sincronizados. Está probado, y se ha hecho en Hong Kong, porque esta técnica está bastante aplicada en países anglosajones y que se ha alcanzado algún suelo, y se ha hecho el ensayo a 450 toneladas y con 7 unidades de anclaje sin llegar a la rotura del anclaje. En realidad, hay diecisiete años de experiencia, no lo inventamos; aparte de estar publicado.

Carlos MORA REY

KELLERTERRA

En realidad, quería hacer una pregunta, pero también voy a hacer un comentario al final. Quería preguntar acerca de las plantas de inyección. Estamos hablando todos de lo importante que son las inyecciones. Ahora mismo ha comentado Pedro y hemos comentado todos de los tipos de inyección. Pero también es que está inyección y esta lechada sea suficientemente correcta, porque por ahí se están viendo cosas bastante raras. Debe ser con una maquinaria adecuada. A Gustavo quería preguntarle si utilizó en esta obra que ha comentado alguna técnica de hidratación del cemento antes de ser inyectada, con alta turbulencia o con algún aditivo.

En cuanto a la discusión que se ha suscitado, como representante de Kellerterra tengo que decir que sí es verdad que las cosas más novedosas siempre crean una polémica. Pero no estamos, como representante del grupo Kellerterra, presentando una novedad, sino algo que lleva 17 años en el mercado. Que no ha llegado aquí a España y que tratamos de introducir en España. Y que cuando equiparamos cosas iguales, equiparamos cosas iguales con la misma inyección; que nuestro estudio representa que las evaluaciones económicas, en cuanto a ahorro, no son simplemente del dinero del ahorro, sino que también hay que evaluar otros factores; como se ejecutan menos unidades, se ahorra tiempo de contratista, que a veces tiene prisa y otras veces no la tiene. Cuando no la tiene, este ahorro disminuye; cuando la tiene, es importante ejecutar algunas unidades menos.

Gustavo ARMIJO PALACIO

GEOCISA

Efectivamente, se exigía mezcladora de alta turbulencia y un control estricto de densidades con la balanza de lodos. No sólo por el valor de la densidad en sí, sino por la uniformidad de los valores. Yo puse la diapositiva y soy un defensor de la balanza de lodos, en el sentido de que controlar las densidades prácticamente nos da todo. Realmente, en una obra de este tipo es difícil aceptar una densidad para inyecciones repetitivas inferior a 1.505, que sería la de una lechada de agua-cemento en peso 1:1. Es fácil echar las cuentas: una lechada de agua-cemento en peso 0:5,

qué densidad hay que tener. Hay curvas que para cemento Pórtland normal dan, en función de la relación agua-cemento, la resistencia a 28 días.

Se emplearon aditivos; en particular, un acelerante, porque la idea era realizar los ensayos a los tres días. Los ensayos reinyectables allí son un poco diferente de la práctica habitual en España. La idea es colocar un tubo de reinyección con manguitos. No hay una inyección especial de sellado, sino que va metido en la propia lechada normal y se le reinyecta a las 24 horas. Y la idea que se tiene es que si a los tres días no se pasa el ensayo, tratar de reinyectarlo. Claro, si pasa más el tiempo, será muy difícil reinyectarlo, porque se tendrá que actuar contra la lechada normal y no una bentonita-cemento. Esto es lo que pasa allí. Si recuerdan las cifras, prácticamente un 10 % de los anclajes se perdieron por la demora en ensayarlos. Lo último, obviamente, hay que mantener el tubo de reinyección limpio y debe ser de una resistencia adecuada.

Amadeo VILAR BUMBECK

DYWIDAG SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Dos comentarios a la exposición de Leoncio y una pregunta luego para Juan Manuel.

Has dicho que cuando los anclajes tienen inclinaciones grandes de 40-45°, conviene poner trompetas en el trasdós de la placa. Yo, como fabricantes de anclajes, afirmo que esa trompeta no tiene una función portante. Esta trompeta es un conexión: la vaina de polietileno y la cabeza del anclaje, como protección anticorrosiva, y en todo caso, como guía y en elemento portante, en tanto en cuanto el anclaje no está en carga. Pero esta componente vertical debe ser absorbida por el rozamiento con la pantalla o con un cajeadado.

Leoncio PRIETO TERCERO

RODIO

No sé si he dicho portante, pero no tiene esa función. Para evitar roces de los cables contra la propia estructura de la pantalla.

Amadeo VILAR BUMBECK

DYWIDAG SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Muchas veces se confía en que esto va a aguantar la componente vertical, y no es así. También decías que el cemento es la mejor protección del anclaje en la zona de bulbo. Sin embargo, la euronormativa dice que no es suficiente o una doble vaina o aislamiento eléctrico del anclaje. Por lo que la euronorma no tiene en cuenta la protección; esta protección del cemento no se cuenta como elemento protector.

Leoncio PRIETO TERCERO

RODIO

No digo que sea la única. Existen todos los sistemas que hay de protección en un anclaje permanente, además de la inyección del bulbo y de la protección mediante cemento de la zona libre. Además, hay que proteger los cables con una vaina o una doble vaina. Pero de todos los sistemas de grasas y de todo lo demás, la mejor protección de los cables sigue siendo una buena inyección; o sea, el cemento protege mejor.

Amadeo VILAR BUMBECK

DYWIDAG SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Pero siempre hay fisuraciones o puede haberlas. Y la pregunta a Juan Manuel, es la pregunta inmediata que surge económica: ¿Cuánto dinero estamos tirando si los bulbos en muchos países ya no son efectivos a partir de 10 metros?, según teorías que son aceptadas o parcialmente aceptadas. ¿Cuánto dinero estamos tirando en bulbos de 20 ó 30 metros?

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Estamos hablando de pérdida de factor de eficiencia. No es que no aumente la carga; lo que pasa es que empieza a ser poco rentable el aumentar la longitud del bulbo en forma lineal, como si aguantara la misma carga. No te sabría cuantificar. Por eso cada casa especializada, aparte de los gráficos de Bustamente, tiene su propia experiencia en función de los distintos terrenos y los ensayos realizados. Existe un concepto importante: el hacer ensayos de investigación para conocer el terreno y no sólo basarnos en una tabla.

Amadeo VILAR BUMBECK

DYWIDAG SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Al final podríamos ponernos de acuerdo: hasta qué profundidad es efectiva una longitud de bulbo. Podríamos poner un criterio: a partir de tal longitud no conviene que el diseño supere ese valor. Ése es un punto de debate, tal vez no para estudiar hoy, pero sí en el futuro.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Ese criterio no me corresponde decirlo a mí, pero yo entiendo que debería estar entre 10 a 12 metros; pero eso no me corresponde. Aparte, hay que tener presente que el suelo no es homogéneo, por lo que hay una serie de condicionantes asociados no sólo a la longitud, sino cómo varían en profundidad las propiedades del terreno.

Virginia MORENO

INOCSA INGENIERÍA

Tenía una pregunta para Juan Manuel Fernández. Estaban asegurando que la suma de las cargas de las distintas unidades de anclaje daba la carga total del anclaje en el bulbo. ¿Está usted asegurando que no se produce un efecto grupo?

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

El efecto grupo se produce entre anclajes muy cercanos. Esto es, un mismo anclaje con distintas unidades a lo largo de su longitud. No hay un efecto grupo.

Virginia MORENO

INOCSA

Usted asegura que no hay efecto grupo porque es un mismo anclaje. Pero tenemos distintas cabezas con un bulbo en distintos niveles, por lo que estos bulbos se tienen que superponer.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Lo que se vio en la fotografía fue un montaje para el ensayo del anclaje que tiene diferentes longitudes libres de cada uno, por lo que el tesado, para aplicar la misma fuerza a las distintas unidades, hay que usar gatos diferentes. Eso no implica que el anclaje, cuando se pone en servicio, se utilice la misma cabeza que se emplea en un anclaje convencional. Es decir, si tengo 10 cables ó 7 cables, utilizo la cabeza de un sistema de 7 ó de 12 cables. Una sola cabeza de anclaje para todas las unidades. Y no hay superposición porque están escalonadas.

Virginia MORENO

INOCSA

Están escalonadas, pero se superponen los efectos que se producen en el terreno. En este caso no puede considerarse que la suma de las cargas de las distintas unidades sea la suma total.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

El anclaje que sellamos en Sevilla falló la primera unidad cuando se alcanzó entre todos las 120 toneladas; es decir, el primer anclaje; que falló a las 40 toneladas. O sea, fallar, ¿qué anclaje de verdad no falla? Cuando el anclaje en directo pasa a tomar más carga aunque se incrementa la carga que se quiere aplicar, cuando en el momento en que empieza a deslizar sin tomar carga esa la falla de un anclaje, no sale disparado. Entonces la suma de las cuatro unidades dio 120 toneladas; a partir se salió la unidad del montaje hidráulico que falló y se prosiguió con el resto de las unidades.

Virginia MORENO

INOCSA

Desde el punto de vista de un proyectista, usted me puede asegurar que la carga total es la carga de cada uno de los bulbos.

Juan Manuel FERNÁNDEZ VINCENT

KELLERTERRA

Si usted utiliza este sentido, sí.

Isabel GONZALVO NAVARRO

ADMINISTRACIÓN INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

Es una consulta para Gustavo Armijo. En el caso de terrenos contaminados, no tuvieron que tener en cuenta ninguna medida adicional aparte de la corrosión y de la agresividad de los hidrocarburos tanto al hormigón como a los anclajes. Si tiene datos de cómo ha afectado al comportamiento de esos anclajes la contaminación...

Gustavo ARMIJO PALACIO

GEOCISA

No se consideró ninguna protección adicional. Eran anclajes de doble protección contra la corrosión en toda la longitud del anclaje. Vieron ustedes la vaina corrugada del extremo del anclaje a la cabeza. Y la medida especial fue un control exhaustivo en la ejecución. Esta obra lleva tres años en servicio y no ha habido ningún problema; en principio, ha funcionado.

Ferrán BIOSCA

RODIO

Enlazando con la pregunta anterior, yo quisiera apuntar que hay una posibilidad que no se ha mencionado para terrenos contaminados, que es la utilización de fibra de carbono. En el grupo al que pertenezco se han realizado obras en una situación similar a la que ha comentado Gustavo, y al utilizar como armado, en lugar del acero, la fibra de carbono, ahorras absolutamente cualquier problema de corrosión y de durabilidad. Actualmente, el único problema que dan estos anclajes es con relación a la cabeza. Se trata de una cabeza de acero que limita bastante la capacidad del anclaje, pero no el propio cuerpo. Hay alguna publicación al respecto que explica el desarrollo de esta obra de anclajes en el sur de Inglaterra.

José Luis DE JUSTO ALPAÑÉS

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Es una pregunta para el responsable de investigación de Rodio que ha hablado ahora. ¿Cuál puede ser la relación de precios entre la fibra de carbono y el acero?

Ferrán BIOSCA

RODIO

Es mucho más cara la fibra de vidrio. No es un capricho.

Joaquín CELMA JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD DE VALENCIA

Mi intervención va en línea de la primera parte y de la polémica que se ha generado aquí. Quería destacar una cosa... Tal vez por obvio, algo que no se ha comentado mucho y que ha aparecido precisamente en la polémica y en la que se basa este último sistema. No se ha comentado que un anclaje es un elemento constructivo que genera una reacción en el terreno, y una reacción implica coaccionar movimientos, limitar movimientos. Todos sabemos que las reacciones se movilizan con el movimiento también. El movimiento relativo que genera la adherencia relativa es un aspecto que no se ha comentado. Hablamos de valores límites y estamos haciendo una especie de cálculo estático, cuando sabemos que la reacción, la resistencia, se moviliza con el movimiento, con la deformación. Si tenemos un elemento pequeño para igualdad de deformaciones, los movimientos relativos serán menores, por lo que puede conseguirse una mayor eficiencia; es la idea que se ha transmitido. Sólo quería hacer este comentario.

Rafael CASADO ORTEGA (Moderador)

SITE

Si en los próximos días alguien tiene una pregunta, no dude en mandarla a AETESS para su contestación y su posible inclusión en el libro.