Casos de aplicacion del anclaje de bulbo múltiple

J.M. Fernández Vincent
Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires, Universidad Catolica Argentina & Geotecnika SRL

RESUMEN
El mecanismo de transferencia de carga de un acero, sometido a un esfuerzo axial de tracción, adherido a un suelo o roca a través de una lechada de cemento no es a través una distribución de tensiones 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. La investigación de este fenómeno, el desarrollo de este conocimiento y su aplicación a la industria ha resultado en el anclaje de bulbo múltiple. Este sistema consiste en la utilización eficiente de las tensiones de adherencia disponibles en el terreno mediante el empleo de varias unidades de anclaje dentro de una misma perforación, conformando todo el anclaje múltiple. Se presentan un resumen de los lineamientos para su diseño y varios casos de aplicación en diferentes unidades geotécnicas.

ABSTRACT
The load transfer mechanism of steel, subjected to axial tension, adhered to soil or rock through a cement grout is not through a uniform stress distribution. This results from the general incompatibility between the modulus of elasticity of steel, grout and soil, causing the phenomenon known as progressive debonding, during the loading process of the anchor. The investigation of this phenomenon, the development of this knowledge and its application to industry has resulted in the Single Bore Multiple Anchor (SBMA). This system takes efficient advantage of the bond strength available in the field through the use of various units within a single anchor boring. We present brief guidelines for their design, and case histories within different geotechnical units.

1 INTRODUCCION

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 (1995, 1997, 2003) 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 Múltiple Anchor (SBMA) o anclaje de bulbo múltiple.

En 1988 el primer anclaje comercial SBMA fue ejecutado en Sothhampton, Inglaterra. (Barley, 1995).

2 DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema involucra la instalación de varias unidades de anclaje en una misma perforación conformando todo un único anclaje. 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.

La suma de las cargas de las distintas unidades de anclaje 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 incremento de carga con longitudes fijas mayores de 8 a 10 metros.

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, ó 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 diseñaran para cumplir con los criterios de fluencia 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 es diseñada 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.

2.1 Configuración y posibilidades

Teóricamente, el anclaje de bulbo múltiple 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 perdida de adherencia progresiva. Sin embargo las siguientes consideraciones controlan el número de unidades y la capacidad de cada unidad:

i) 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.

ii) El diámetro y tipo de protección contra la corrosión de la longitud fija (encapsulación).

iii) 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.

iv) 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).

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

Las posibilidades disponibles de cables habitualmente son de 12 mm y 15 mm de diámetro (18 mm en pocos países), 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, ó tendón deformado, ó 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.

Todos los mecanismos que transfieren carga del tendón a la lechada, ó 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 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 reforzando la lechada para asegurar que estos problemas no resultan en una baja capacidad de carga a la falla por arrancamiento.

2.2 El ensayo de aceptación 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.

En la figura 9 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 durante la aplicación de la carga, la carga en cada unidad de anclaje es la misma. 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 DISEÑO DE LA LONGITUD FIJA

Barley (1995) 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 (τ_{ult}) en la interfase lechada-suelo basado en los resultados de 22 ensayos (ver figura 8).

$$f_{eff} = \frac{\text{Area A}}{\text{Area bajo línea } \tau_{ult}} \qquad [1]$$

La expresión que cuantifica la reducción en la eficiencia de la longitud fija del anclaje con su aumento es (Barley, 1997):

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

L_b : Longitud fija o de bulbo del anclaje

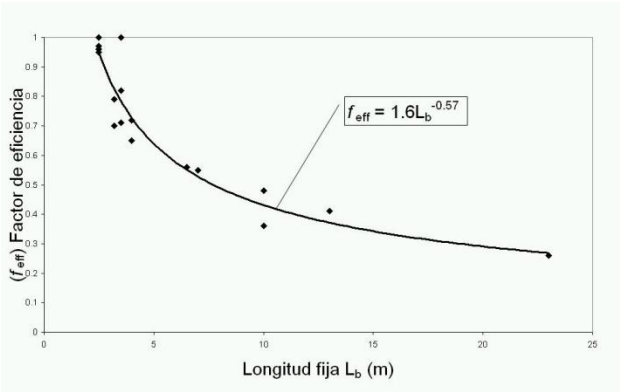

Figura 1. El factor de eficiencia vs. longitud fija (Barley, 1997).

La capacidad última de la longitud fija de un anclaje está dada por (Barley, 1997):

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

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:

$$T_m = \pi \cdot d \cdot \tau_{ult} \qquad [4]$$

siendo d el diámetro del cuerpo inyectado de lechada de cemento. Tenemos entonces:

$$T_{ult} = \pi \cdot d \cdot \tau_{ult} \cdot L_b \cdot f_{eff} \qquad [5]$$

Esta fórmula no aplica en los suelos granulares donde no se pueda considerar una proporcionalidad con el diámetro de la perforación debiéndose mantener la formula [2].

Se puede hacer una estimación del valor último de la adherencia (τ_{ult}) en la interfase lechada-suelo mediante relaciones con la resistencia al corte no drenada (s_u), o con valores de ensayos de penetración estándard (N_{spt}) (Barley, 1997).

$$\tau_{ult} = f_{10} \cdot s_u \quad \text{ó} \quad \tau_{ult} = f_{10} \cdot N_{spt} \qquad [6]$$

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

4 CASOS DE APLICACIÓN

4.1 Estanque de tormentas de La China (Madrid)

En la ejecución de la excavación de 15,0 metros de profundidad, se ejecutaron anclajes temporales SBMA de 2000 kN de carga de diseño, empleando cuatro unidades de bulbo en la unidad de terreno denominada “Peñuela” (yesos con intercalaciones de arcillas). El sistema fue utilizado en combinación con una inyección localizada en cada unidad de bulbo denominada en las especificaciones españolas como IR. Los ensayos de investigación realizados de acuerdo a la norma europea de anclajes UNE 1537, permitieron cambiar el diseño original limitado por una adherencia con el terreno para anclajes tradicionales según experiencia previa, por menos unidades de anclajes de bulbo múltiple de mayor carga y eficiencia.

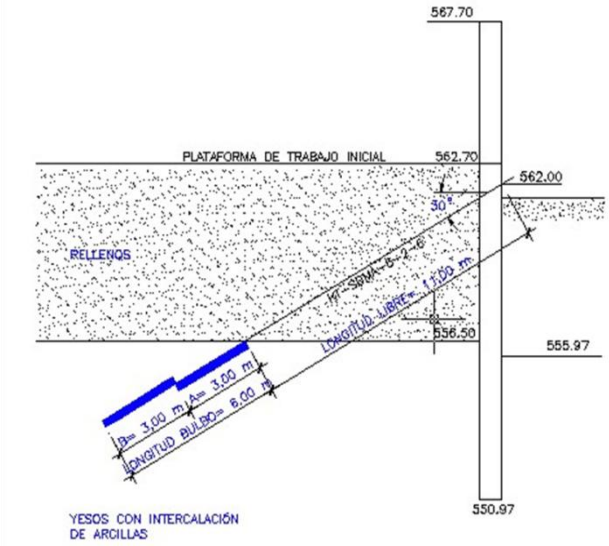

Figura 2. Sección tipo ensayos de investigación.

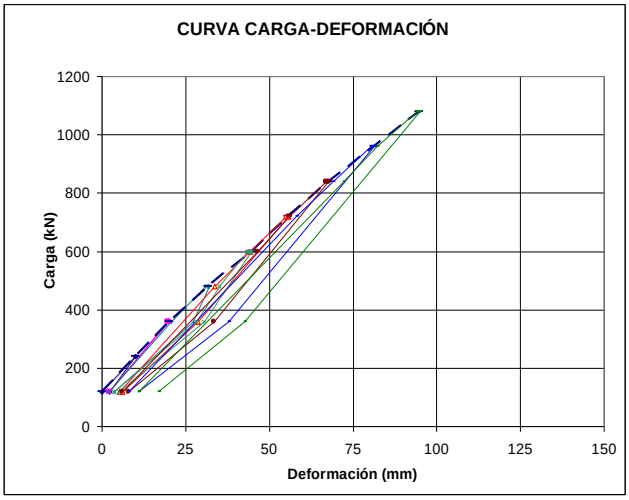

Figura 3. Ensayo unidad TA2-A.

4.2 Parking La Vega (Murcia)

En la ejecución de la excavación de 16,0 metros de profundidad, con 9,0 metros de empuje de agua, se ejecutaron anclajes temporales de 1900 kN, empleando cuatro unidades de bulbo en una grava densa, subyacente a un estrato de arcillas y limos de consistencia media sobre una pared moldeada de 80 cm de espesor, como alternativa a una pantalla de 60 cm de espesor y dos niveles de anclajes tradicionales.

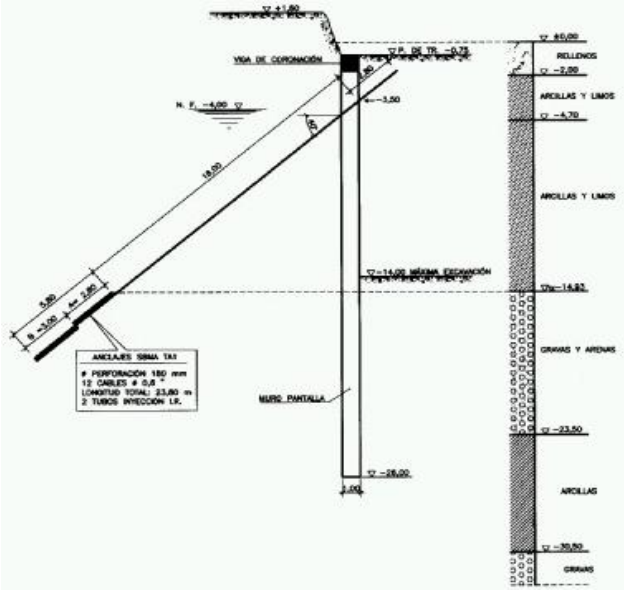

Figura 4. Ensayo de investigación anclaje TA1.

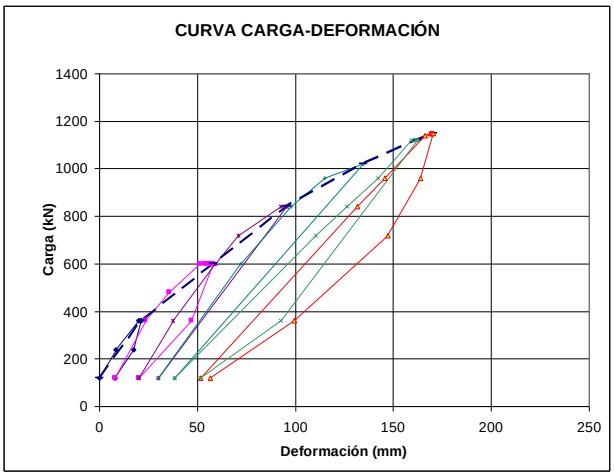

Figura 5. Ensayo de investigación anclaje TA1.

4.3 El Corte Ingles de Albacete

En la ejecución de la excavación de 14,0 metros de profundidad, se ejecutaron anclajes temporales de 1200 a 1800 kN de diseño, empleando tres y cuatro unidades de bulbo, en una unidad de arcillas y limos de consistencia media, sobre una pared moldeada de 80 cm de espesor con una carga hidrostática de 10 metros de altura. La combinó una línea de anclajes tradicionales con tres de bulbo múltiple.

En los ensayos de investigación previos se analizo que para los suelos cohesivos presentes (N_{SPT} < 8), la distribución de la adherencia a lo largo de la longitud fija era cercana a una lineal para las longitudes ensayadas. Lo mismo se conoce de los suelos granulares sueltos.

5 CONCLUSIONES

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

El factor de eficiencia no es único para todos los suelos, por lo que debe profundizarse los ensayos de investigación para el mejor conocimiento de cada unidad geotécnica, existiendo ya una experiencia acumulada para tal fin en los diferentes países donde esta técnica se ha estado empleando los últimos 20 años.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Kellerterra S.L. por el uso de la información presentada. Agradezco especialmente el haber conocido a Tony Barley, y compartido profesional y personalmente con él estos trabajos presentados.

REFERENCIAS

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, 293-301.

Barley, A.D. 1997. The Single Bore Multiple Anchor System. Proc. Int. Conf. Ground Anchorages and Anchored Structures. Londres, 65-75.

Barley, A.D., Ostermayer, H. 2003. Ground Anchors. Geotechnical Engineering Handbook. Ernst & Sohn, 169-215.

Fernández Vincent, J.M., 2005. Anclajes de Bulbo Múltiple. 5ª Sesión, Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS – Madrid.

Fernández Vincent, J.M., 2010. Teoría y práctica del anclaje de bulbo múltiple. XX Congreso argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica 2010, Mendoza, Argentina. 457- 464.

UNE 1537 – Ejecución de Trabajos Geotécnicos Especializados – Anclajes Postensados.

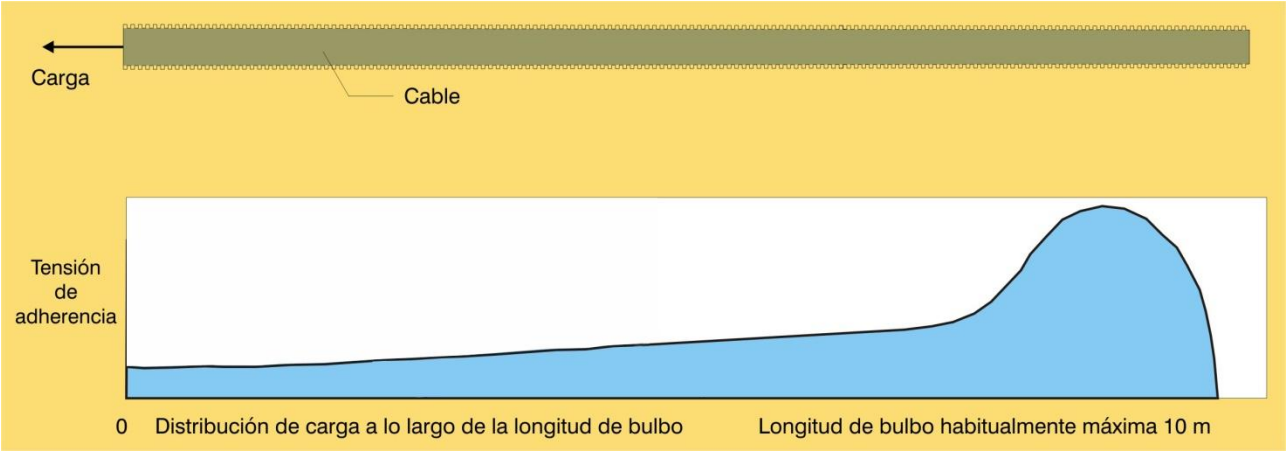

Figura 6. Distribución de tensiones de adherencia para la carga de rotura en un anclaje tradicional (Fernández Vincent, 2005).

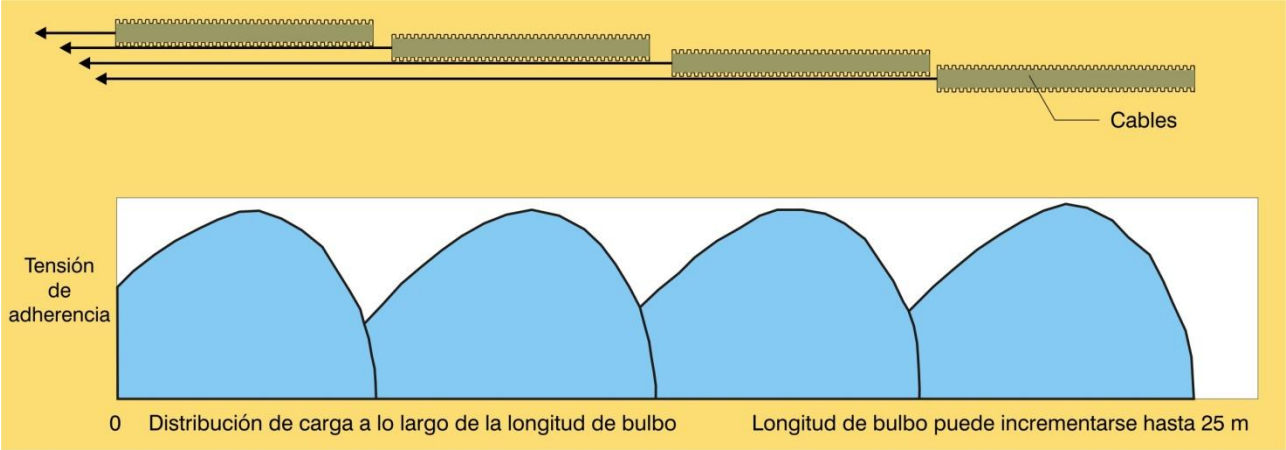

Figura 7. Distribución de tensiones de adherencias para varias unidades de anclajes eficientes (Fernández Vincent, 2005).

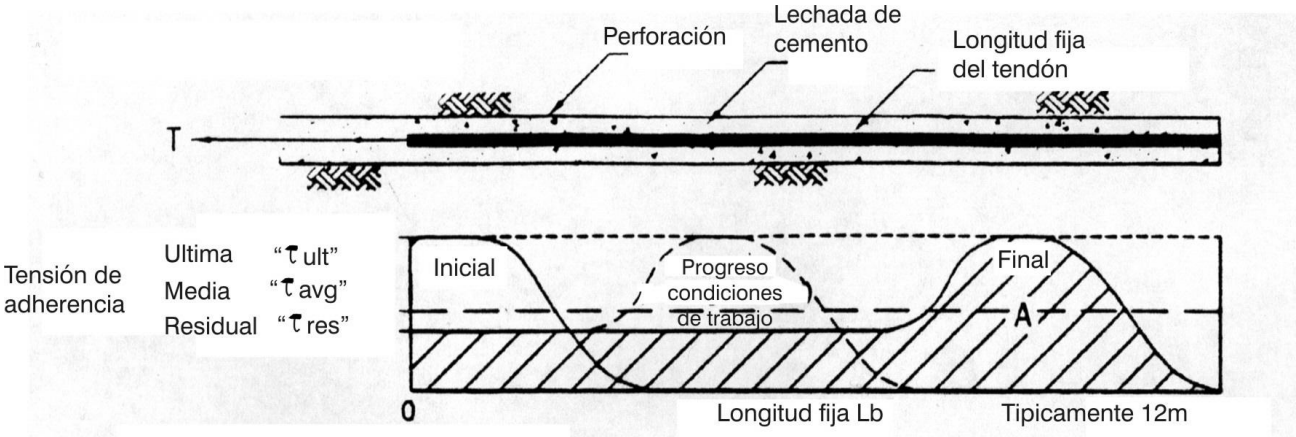

Figura 8. Distribución de tensiones de adherencia en la longitud fija, para distintas etapas de un ensayo de carga hasta llegar a la rotura. El área A constituye la carga máxima de la longitud fija del anclaje (Barley y Ostermayer, 2003).

Figura 9. El ensayo de investigación con el sistema de gatos múltiple en el Parking La Vega (Murcia).

Figura 10. Ejecución de anclajes en el Corte Ingles de Albacete.