

Anclajes recuperables

Removable Anchors

Jorge Acebo Gómez^{1*}, Pablo Ruiz Terán²

Resumen

Los anclajes al terreno son dispositivos muy empleados en la construcción de obras urbanas. Su empleo en el sostenimiento temporal de excavaciones profundas supone una solución técnica con ventajas, tanto en el proceso constructivo, como en la reducción del plazo de obra. Sin embargo, la preocupación de los ayuntamientos por mantener el subsuelo de las grandes ciudades libre de obstrucciones al futuro desarrollo de obras subterráneas conduce hacia la restricción del uso de anclajes convencionales. Por tanto, los anclajes que permiten la recuperación del tirante una vez ha finalizado su vida útil se presentan como la alternativa más adecuada para este tipo de escenarios.

Siendo un resumen de tesina (Acebo Gómez, 2018), este artículo tiene por objeto realizar una revisión oportuna del estado del arte sobre los anclajes recuperables en la ingeniería civil.

Palabras clave: anclajes al terreno, obras urbanas, excavaciones profundas, sostenimiento temporal.

Abstract

Ground anchors are devices widely used in urban constructions. The use of tiebacks on temporary support of excavations provides a technical solution convenient for both construction processes and time reduction in the execution of projects. However, the concern of municipalities to keep the subsoil of large cities unobstructed to future underground projects leads to restrictions on using conventional anchors.

Therefore, the anchors that allow the strands to be removed from the neighbouring ground at the end of their service life are proposed as the most appropriate alternative for these situations.

Keywords: ground anchors, urban construction, deep excavation, temporary tiebacks.

1. INTRODUCCIÓN

Los anclajes al terreno son elementos constructivos muy empleados y estudiados en la ingeniería civil. Uno de los campos de mayor aplicación es el arriostramiento de estructuras de contención en grandes excavaciones profundas, normalmente en entornos urbanos. De acuerdo al sistema de edificación habitual, la función de sostenimiento del anclaje es solo necesaria durante la fase de ejecución de la obra, ya que una vez concluida la excavación el sostenimiento puede resolverse con forjados. De este modo, las barras o los cables de acero de estos anclajes temporales son abandonados en el terreno colindante.

Hoy en día, las grandes metrópolis demandan cada vez más la ocupación del espacio subterráneo como parte del desarrollo urbano, ambiental, social y económico de las sociedades modernas. Cada vez más, el subsuelo de estas urbes está sujeto a mayores restricciones de carácter urbanístico y medioambiental respecto al abandono de tirantes de acero utilizados durante la ejecución y sostenimiento de excavaciones profundas. La existencia de cables de acero de una longitud considerable debajo de las fincas vecinas puede interferir negativamente

en la futura construcción de obras subterráneas o cimentaciones profundas, tales como túneles, pantallas o pilotes. Por ello, la tendencia de las autoridades locales conduce a limitar el uso de este tipo de anclajes debajo de calles o zonas de servidumbre y aplicar multas por los elementos no retirados. Por tanto, la solución a estos inconvenientes pasa por instalar en este tipo de obras anclajes cuya armadura sea posible recuperar al final de la fase de construcción.

Científicos e ingenieros han desarrollado a través de muchas investigaciones la tecnología necesaria para fabricar estos dispositivos, contando con el apoyo y el reconocimiento de la industria. Desde hace varias décadas existen algunos sistemas de recuperación de los cables o las barras de acero en un anclaje. La fiabilidad del sistema y la eficacia en la extracción del tirante han aumentado desde entonces hasta comercializarse en la actualidad distintos sistemas de anclajes recuperables.

En este artículo, se expone primero la tipología de anclajes al terreno existente en función de la forma de trabajo del bulbo y la distribución de tensiones de adherencia a lo largo del mismo; para después presentar los principales sistemas comerciales de anclajes recuperables disponibles en el mercado, sintetizando las particularidades propias de cada uno.

2. PRINCIPIOS GENERALES

El comportamiento interno de un anclaje al terreno está regulado por la forma en la que trabaja el bulbo, bien

* Autor de contacto: jorgeacebogomez@gmail.com

¹ Ingeniero Geólogo. Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.

² Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones. Máster en Túneles y Obras Subterráneas. Máster en Dirección Empresarial y Marketing.

sea a tracción o a compresión, así como por el mecanismo de transferencia de carga a lo largo del tirante de acero, la lechada de cemento y el terreno circundante durante su puesta en carga y servicio.

2.1. Anclajes de tracción con carga concentrada

Este tipo de anclajes se corresponde con los anclajes convencionales, compuestos por una zona de anclaje (longitud de bulbo), donde se produce la transferencia de carga mediante la adherencia entre los cables de acero, la lechada de cemento y el terreno; y una zona sin adherencia (longitud libre), que permite el movimiento de pretensado durante la puesta en carga del anclaje.

El anclaje convencional es tensado con un gato hidráulico desde el extremo libre, poniendo el bulbo en tensión. Al inicio, la carga se transfiere a la parte superior del bulbo, y mientras la carga continúa, ésta se traslada progresivamente hacia la parte inferior o distal del bulbo. A medida que se produce el incremento de la carga del anclaje y debido a la incompatibilidad general entre el módulo de elasticidad del acero, de la lechada de cemento y del suelo, se produce el fenómeno conocido como pérdida de adherencia progresiva (Fernández Vincent, 2005, 2011). Su ocurrencia está asociada con el hecho constatado de que la distribución de tensiones de adherencia no es uniforme a lo largo del bulbo en todas las fases de carga del anclaje.

La representación de la pérdida de adherencia progresiva en la interfase cable-lechada o lechada-suelo se muestra en la figura 1. Este fenómeno significa que el bulbo no es capaz de movilizar la resistencia máxima del terreno en toda su longitud, sino que se va desplazando a lo largo del

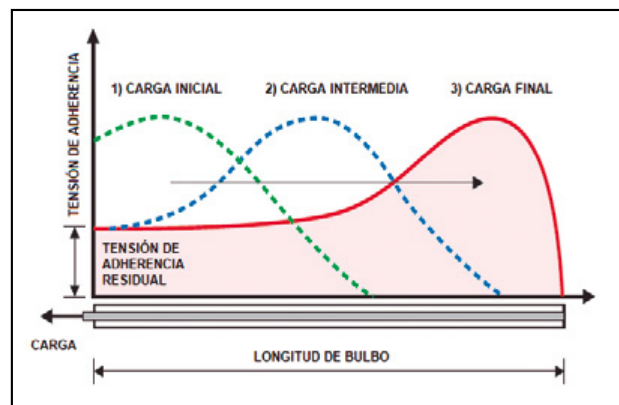


Figura 1. Distribución de tensiones de adherencia a lo largo de la longitud de bulbo de un anclaje convencional (Modificado de Samwoo Anchor Technology 2014).

mismo. Mientras, en el resto de la longitud del bulbo solamente se desarrolla una tensión de adherencia residual, al haberse excedido la resistencia de la interfase cable-lechada o lechada-suelo debido a la deformación impuesta para lograr tal movilización. Esto se traduce en un uso ineficiente de la resistencia del terreno disponible in situ.

2.2. Anclajes de compresión con carga concentrada

Este tipo de anclaje está formado por un cable de acero no adherente cubierto de polietileno (PE) en toda la longitud del mismo, que transfiere el esfuerzo axial generado por el gato de tesado directamente a un elemento estructural situado en el extremo distal del anclaje (figura 2). A diferencia de los anclajes convencionales de tracción, el

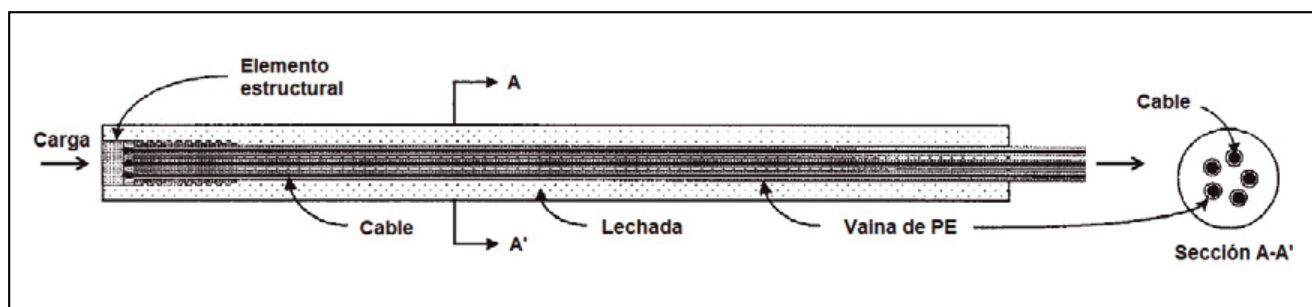


Figura 2. Esquema de un anclaje de compresión (Modificado de Kim, 2003).

bulbo es cargado a compresión. De esta forma, se evita la formación de las clásicas grietas de tracción, consecuencia del comportamiento frágil de la lechada de cemento, aumentando así su durabilidad.

Al poner en carga un anclaje de compresión la tensión de adherencia mayor se desarrolla cerca del extremo inferior del bulbo, al contrario de lo que sucede en los anclajes de tracción. Como resultado, la sección de suelo que se activa es mayor que en un anclaje convencional. Durante la puesta en carga, si esta sigue aumentando hasta un valor elevado, la fricción requerida para mantener la carga concentrada excede la adherencia entre la lechada y el terreno en esa zona, produciendo pérdida de adherencia del bulbo y pérdida de presión de confinamiento del terreno. Entonces, el esfuerzo de adherencia máximo se traslada de la zona distal a la zona proximal del bulbo, mientras que en el resto de la longitud de bulbo se desarrolla la tensión de adherencia residual (figura 3).

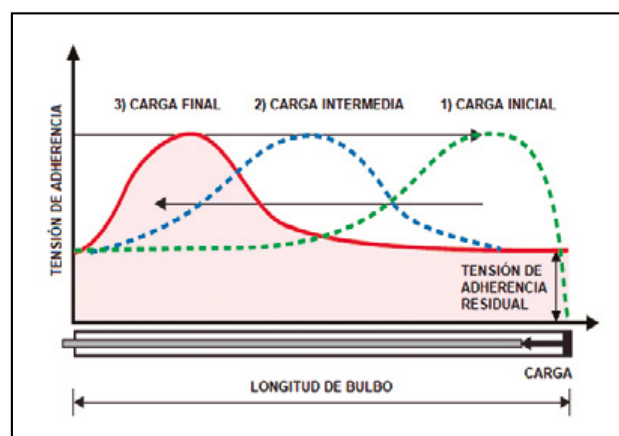


Figura 3. Distribución de tensiones de adherencia a lo largo de la longitud de bulbo de un anclaje de compresión (Modificado de Samwoo Anchor Technology, 2014).

2.3. Anclajes con carga distribuida

Los esfuerzos elevados en anclajes de tracción y de compresión transfieren cargas concentradas al bulbo y al terreno, generando así distribuciones de tensiones muy poco uniformes a lo largo de toda la longitud del bulbo. Esto puede desembocar en el fallo del anclaje debido al fenómeno de pérdida de adherencia progresiva. La máxima tensión de adherencia se concentra en una longitud corta del bulbo mientras que el resto del mismo solo desarrolla la tensión de adherencia residual. Este hecho resulta en un ineficiente uso de la resistencia del terreno circundante.

Como solución a esta problemática se desarrolló un sistema que puede transferir la carga simultáneamente a un determinado número de bulbos diferentes de corta longitud, evitando de esta manera la pérdida de adherencia progresiva. De esta manera, se puede movilizar la resistencia del terreno de forma más eficiente e incrementar considerablemente la capacidad del anclaje. Este sistema es el principio fundamental de los anclajes con carga distribuida o de bulbo múltiple (figura 4). Estos dispositivos están formados por un determinado número de unidades de anclaje dispuestas en serie. Cada unidad de anclaje consta de su propio tendón individual, con su longitud libre y su longitud de bulbo.

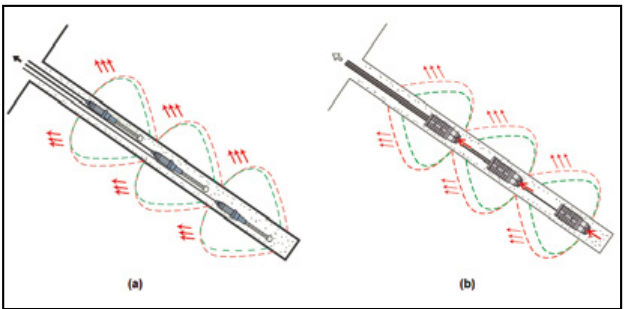


Figura 4. Esquema de anclajes con carga distribuida: (a) anclaje de tracción; (b) anclaje de compresión (Samwoo Anchor Technology, 2014).

El uso de dispositivos con carga distribuida genera una distribución más uniforme de la fuerza de anclaje al terreno a lo largo de sus unidades de anclaje (figura 5). Esta

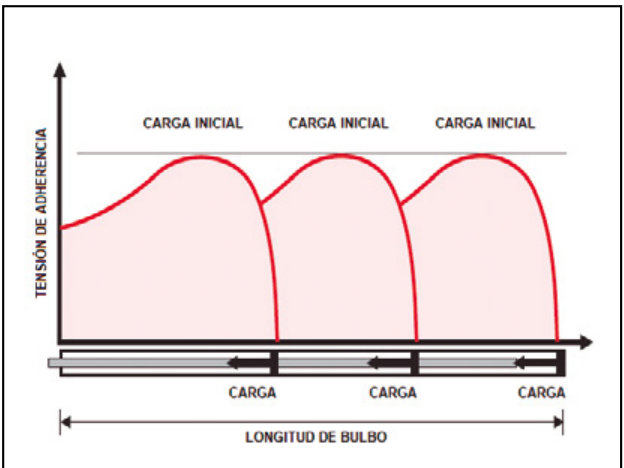


Figura 5. Distribución de tensiones de adherencia a lo largo de un anclaje de bulbo múltiple de compresión (Modificado de Samwoo Anchor Technology, 2014).

distribución permite movilizar de una forma más eficiente la adherencia última del suelo circundante. Por tanto, las exigencias de la resistencia de la lechada se reducen y se evita el fenómeno de pérdida de adherencia progresiva. Como consecuencia final, se minimiza la probabilidad de fallo del sistema, permitiendo al anclaje mantener su carga de diseño inicial además de ser sometido a mayores cargas.

3. SISTEMAS COMERCIALES DE ANCLAJES RECUPERABLES

Un anclaje recuperable es un dispositivo temporal que, además de cumplir su función como anclaje, permite la extracción del tirante del interior del terreno una vez cumplida su finalidad en obra.

Dentro de las restricciones urbanas que prohíben el abandono de tirantes de acero, se suele aceptar que la lechada de cemento como material aglutinante permanezca en el terreno, ya que se comporta de una manera similar al suelo durante la excavación con medios mecánicos. De igual manera, elementos de plástico como vainas, conductos o accesorios de longitud corta no obstaculizan los trabajos de excavación, así como piezas, varillas o tubos reforzados con fibra de vidrio.

La tipología de anclajes recuperables varía en función de hasta qué punto los tirantes o las piezas de acero pueden permanecer en el suelo, lo que depende de la tecnología que utilizan e influye en los costes de producción y en la fiabilidad del sistema.

Desde el inicio de su desarrollo se han propuesto y probado muchos sistemas de recuperación de tirantes de acero. Sin embargo, son pocos los que han llegado a implantarse en el mercado con buenos resultados y garantía de la fidelidad de su sistema. En la tabla 1 se muestra un resumen estructurado de todos los sistemas comerciales disponibles en la actualidad.

Tabla 1. Tipos de anclajes recuperables

Forma de trabajo	Sistema de anclaje	Grado de extracción
Tracción	Anclaje con puntos de rotura	Parcialmente extraíble mediante sobreesfuerzos
	Anclaje con explosivos o material expansible	Totalmente extraíble mediante destrucción del bulbo
	Anclaje con cuña deslizante	
Compresión	Anclaje temporal SBMA	
	Anclaje SW-RCD	Totalmente extraíble mediante mecanismos
	Anclaje QuickEx	

3.1. Anclaje con puntos de rotura

Se trata de un anclaje que trabaja a tracción y es parcialmente extraíble, permitiendo así la recuperación de los cables únicamente en su longitud libre. La longitud de bulbo del tirante permanece en el terreno. Esto puede ser aceptable en situaciones donde el bulbo queda enterrado a gran profundidad y a cierta distancia de la zona de afección subterránea de futuras obras de construcción.

El mecanismo de extracción consiste en someter los cables a una tensión de tracción elevada, aplicada con un gato hidráulico unifilar, hasta que rompen. Una vez se han roto

de manera individual todos los cables por los puntos determinados se pueden retirar completamente mediante el empleo de un cabestrante, una excavadora o un vehículo.

Para asegurar que los cables fallan al final de la longitud libre, durante el proceso de fabricación se crean unos puntos de rotura determinados en la transición entre la longitud libre y el bulbo (figura 6). Los puntos de rotura controlada son aquellos en los que hay cambios en las propiedades del acero o en la sección del cable. Se pueden generar mediante dos métodos: a) calentamiento por

inducción, reduciendo la resistencia del acero aplicando calor de manera localizada; b) procedimiento mecánico, reduciendo la sección de acero útil del cable.

Se trata de un anclaje robusto en lo que respecta al manejo del mismo en obra, ya que no requiere un tratamiento especial durante su instalación. Sin embargo, su principal inconveniente es la reducción de la capacidad de carga del anclaje al tener minorada la resistencia del acero en los puntos de rotura, así como el consumo de tiempo elevado en el proceso de recuperación de los cables.

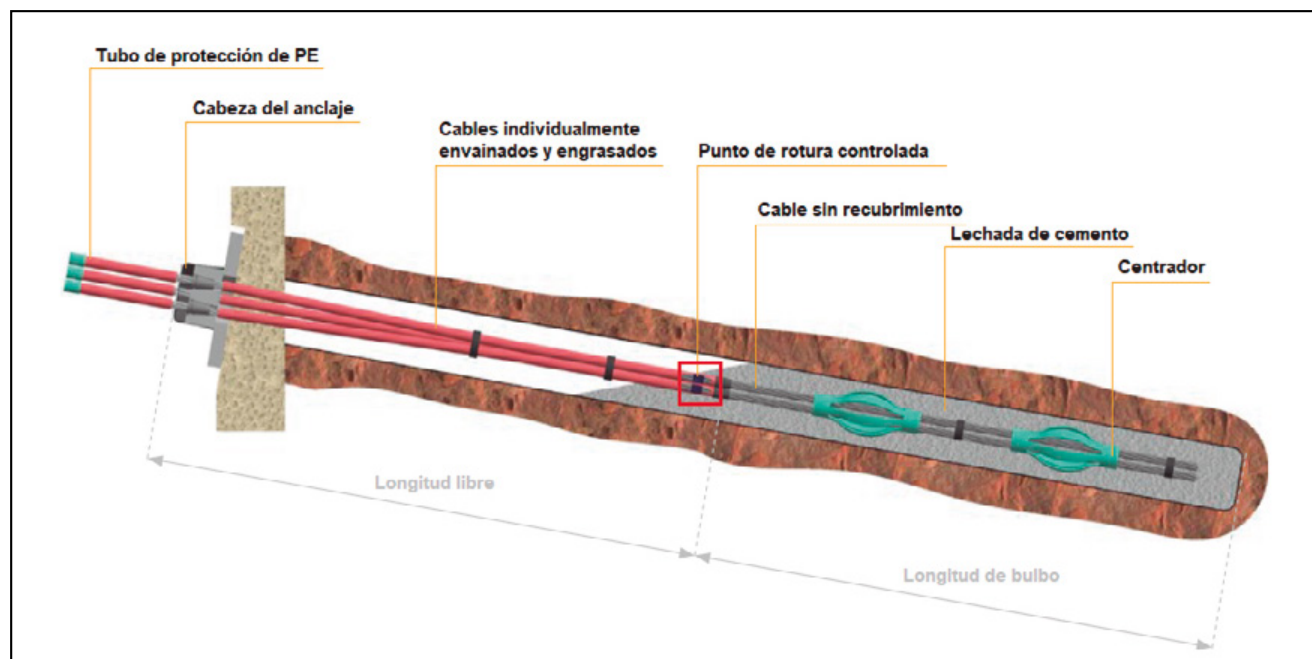


Figura 6. Anclaje con puntos de rotura controlada (Modificado de DYWIDAG-Systems International, 2016).

3.2. Anclaje con explosivos o material expansible

Este sistema de anclaje presenta el comportamiento convencional de un anclaje de tracción. La particularidad del mismo radica en la manera de extraer completamente el tirante de toda la longitud del anclaje. La unión entre la lechada de cemento y los cables se rompe al detonar una carga explosiva a lo largo de la longitud de bulbo o al introducir un material expansible en su interior. Una vez la

lechada se ha destruido y ha perdido la adherencia con los cables de acero, éstos son extraídos.

En el medio de los cables que forman el tirante se instala un tubo hueco de polietileno, sellado en los dos extremos (figura 7). Una vez se ha cumplido la finalidad en obra del anclaje, este tubo se destapa y se introduce en él un cordón detonante con un cantidad adecuada de explosivo por metro lineal. En el momento de la explosión, el anclaje puede estar tensado o destensado. En el primer caso, el

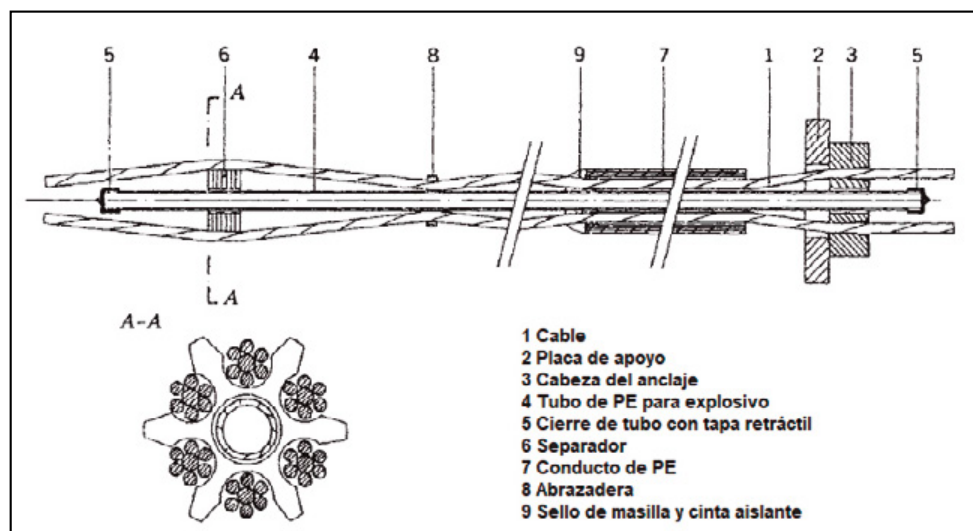


Figura 7. Anclaje con explosivos (Modificado de Rey, 1978, citado por Xanthakos, 1991).

anclaje es expulsado del orificio de perforación de manera súbita. En el segundo caso, cuando el anclaje se destensa primero, los cables se recuperan con un gato hidráulico unifilar desde el extremo libre de la cabeza. Esta operación de extracción es lenta debido a la limitada longitud de carrera del pistón del equipo de tesado.

La principal ventaja de este método es su eficacia para recuperar el tirante. No obstante, el empleo de explosivos requiere de un especialista en voladuras y los permisos correspondientes, lo que encarece su coste. Además, su empleo en entornos urbanos está limitado por las vibraciones que se producen y por su proximidad a edificios o sistemas eléctricos, ya que los efectos del explosivo o el material expansible no se pueden predecir con exactitud. Por lo tanto, se trata de un sistema prácticamente en desuso en la actualidad.

3.3. Anclaje con cuña deslizante

Se trata de un anclaje de tracción con recuperación completa del tirante de acero mediante la destrucción de la lechada de cemento por un elemento en forma de cuña sometido a un sobreesfuerzo de tracción. Su uso se ha desarrollado principalmente en Japón.

Este sistema requiere la instalación de un cable adicional cuyo extremo lleva acoplado un elemento cónico o en forma de cuña que se estrecha en la dirección de extracción del tirante. El cable adicional se ubica en el centro del anclaje y está rodeado del resto de cables que forman el tirante. Además, este cable central va lubricado y recubierto por una vaina lisa de polietileno a lo largo de toda la longitud del anclaje, evitando así el contacto del acero con la lechada. Esta lechada puede contener algunos materiales de relleno de baja rigidez y porosos, como la espuma de poliestireno, con el fin de generar pequeños vacíos o burbujas de aire dentro del bulbo. La cuña está acoplada mediante una tuerca de unión en la parte distal del bulbo (figura 8).

El procedimiento de extracción consiste en tirar del cable central mediante un gato hidráulico en el extremo libre, lo que provoca la movilización de la cuña deslizante acoplada en su extremo fijo. Esta cuña ejerce una fuerza sobre la lechada desintegrándola, provocando así la disociación entre los cables y la lechada. La lechada de cemento falla antes que el cable de acero. Una vez se ha destruido el bulbo se extraen los cables individualmente con un equipo de tensado y después de forma manual. Esta operación conlleva un tiempo de extracción elevado, por lo que hoy en día apenas se utiliza.

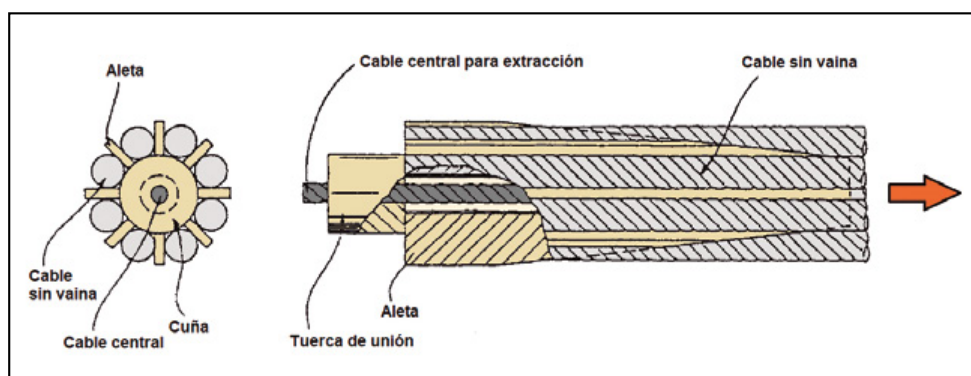


Figura 8. Cuña deslizante en bulbo (Modificado de Yamada, 1978, extraído de Xanthakos, 1991).

3.4. Anclaje temporal SBMA

Se trata de un anclaje recuperable de compresión con distribución de carga, el cual combina un método de recuperación del tirante con el concepto de distribución de la carga a lo largo de todo el bulbo mediante el empleo de varias unidades de anclaje. El sistema se caracteriza por la introducción de varios tirantes formados por cables dentro del mismo orificio de perforación. Cada uno de estos tirantes tiene una longitud libre distinta, de forma que las longitudes de bulbo de cada tirante quedan dispuestas en serie. El conjunto de un tirante, con su propia longitud libre y bulbo encapsulado es lo que se denomina unidad de anclaje. Las unidades se tensan de manera individual mediante un equipo de gatos hidráulicamente sincronizados que aseguran que la carga aplicada en las distintas unidades es siempre la misma. Cada uno de estos bulbos es cargado a compresión. Todas las unidades de anclaje sucesivas a lo largo de la perforación conforman el denominado anclaje de bulbo múltiple.

La carga total del anclaje es la suma de las cargas aplicadas individualmente a todas las unidades de anclajes. Según este concepto de diseño, no existe una limitación teórica

en la longitud de bulbo total utilizada (la suma de todas las longitudes de bulbo), llegando a utilizarse de forma eficaz longitudes totales de entre 10 y 25 m. El mecanismo de transferencia de carga elimina la pérdida de adherencia progresiva, por lo que en un estrato de suelo homogéneo la resistencia máxima del terreno puede ser movilizadora de manera uniforme y simultáneamente a lo largo de todo el bulbo de cada unidad (figura 9).

Cuando las condiciones de la obra requieren que la armadura del anclaje sea extraíble, el anclaje de bulbo múltiple aplica en su diseño un método particular. El método de recuperación del tirante permite la extracción completa del cable de acero y está inspirado en el concepto de recuperación de una cuerda de escalada en un rapel. Los cables están dispuestos en forma de lazo hacia el extremo distal de cada unidad de anclaje, engrasados y envainados en toda su longitud. La carga es transferida en la zona del lazo a un dispositivo metálico en forma de U, donde el cable se dobla 180° (figura 10). Este dispositivo cuenta con un elemento de transferencia de carga a compresión, el cual transmite la fuerza ejercida por el gato hidráulico a la lechada de cemento y ésta a su vez al terreno. Los dos extremos de cada cable salen de la perforación, donde son tensados mediante

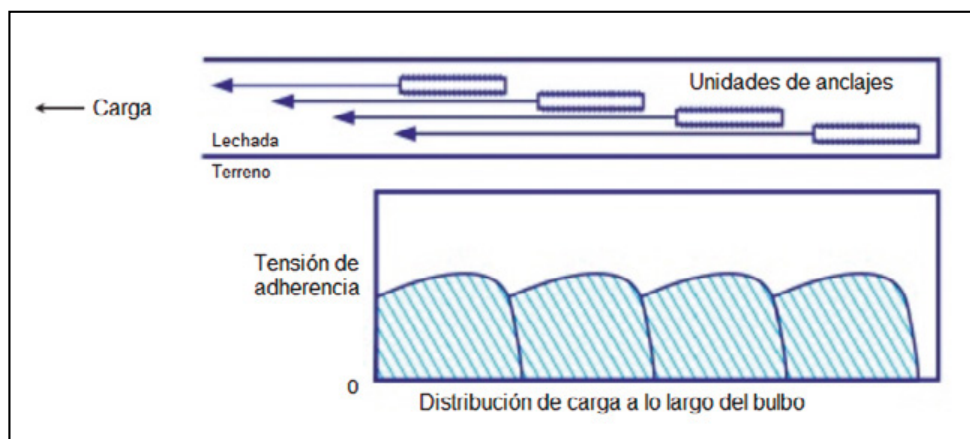


Figura 9. Distribución de tensión de adherencia en un anclaje SBMA (Modificado de www.sbmasystems.com).

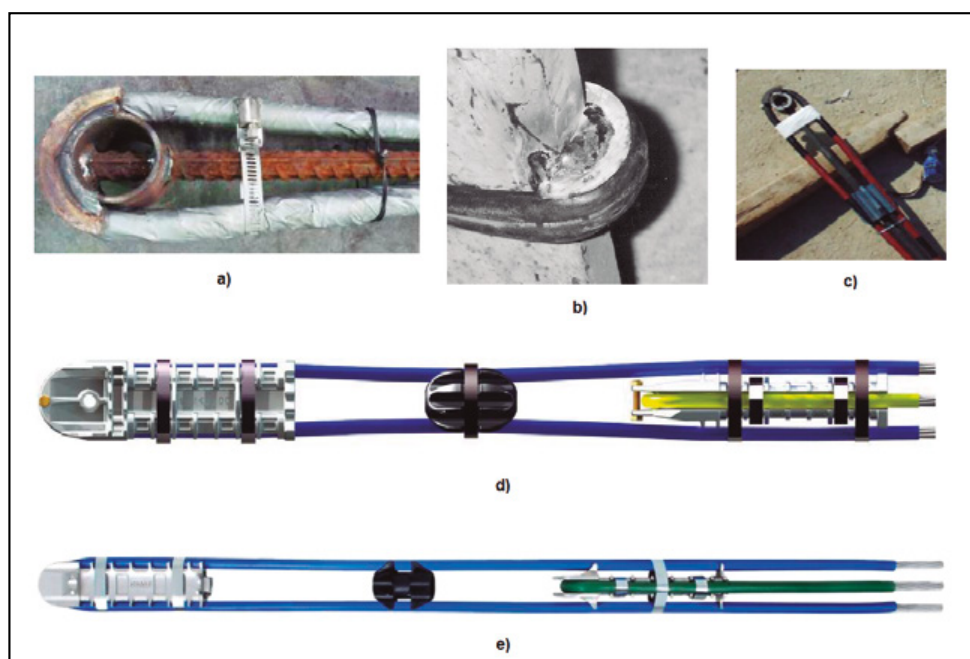


Figura 10. Anclaje SBMA: a) Detalle del lazo en anclaje provisional SBMA (Mothersille, 2012); b) Investigación de dispositivo (Barley, 1989, citado por Barley y Edwards, 2007); c) Detalle del lazo en anclaje provisional SBMA (www.sbmasystems.com); d) Anclaje temporal SW-U Turn Anchor (Samwoo Anchor Technology, 2012); e) Anclaje temporal SAMJ U-Turn (Samjin Steel, 2017).

un equipo de tensado múltiple. La configuración de este sistema es idéntica para cada unidad de anclaje, lo único que varía es la longitud libre y según su diseño la longitud de bulbo.

Una vez la función del anclaje ha terminado, se puede extraer el tirante de acero de cada una de las unidades de anclaje. Para ello, se destensan los dos extremos del cable en forma de lazo. Al estar totalmente engrasado y envainado a lo largo de toda su longitud, este aislamiento de la lechada de cemento permite el deslizamiento del cable en el interior de la vaina cuando se tira de uno de sus extremos con un gato hidráulico unifilar. El tendón se extrae con el gato aproximadamente un metro y después se tira de él con un cabrestante o un vehículo, extrayendo el cable en su totalidad. Durante la recuperación el cable se desliza alrededor del elemento metálico en forma de U en el extremo distal de cada unidad de anclaje. El cable retirado suele presentar una forma helicoidal, consecuencia de la fricción a lo largo del elemento distal en forma de U durante su extracción (figura 11).

Según los resultados de investigaciones en campo y tras miles de unidades de anclaje instaladas, el sistema patentado de anclaje de bulbo múltiple o SBMA es capaz de soportar cargas nominales en un rango de 800 hasta 2000 kN en la mayoría de suelos y rocas blandas. Esto supone una carga dos o tres veces mayor que la que puede soportar un sistema convencional empleando las mismas técnicas constructivas (Barley *et al.*, 2003).

Uno de los contras que se le pueden atribuir a este tipo de anclajes respecto a otros anclajes recuperables es la demora en el tiempo de extracción del cable de cada unidad de anclaje, al tener que retirarse mediante un gato hidráulico con sus correspondientes limitaciones en la carrera del pistón. Otra desventaja es la reducción de la capacidad de carga del cable de acero, debido al pequeño radio de curvatura que presenta el lazo del tirante en el extremo distal de cada unidad de anclaje. Por último, la necesidad de utilizar un sistema de gatos múltiples sincronizados para su puesta en carga limita el número de obras de construcción en las que se utiliza este dispositivo.

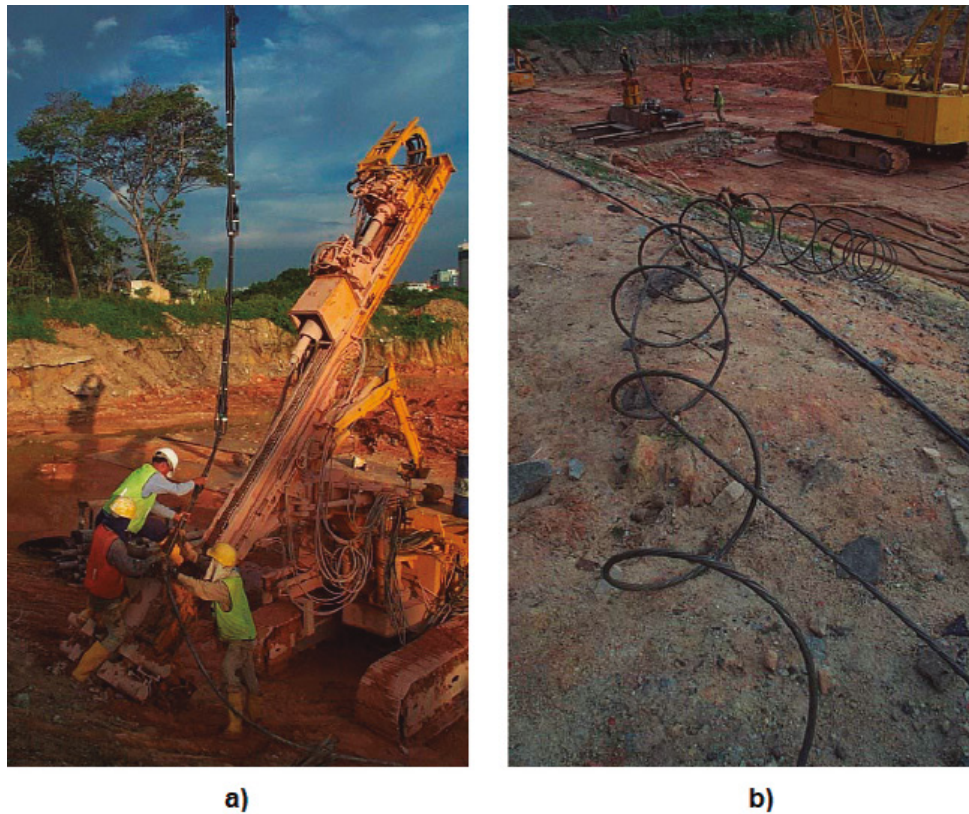


Figura 11. Anclaje recuperable SBMA: a) Tirante en lazo; b) Cable extraído (Barley *et al.*, 2003).

3.5. Anclaje SW-RCD

Se trata de un anclaje recuperable de compresión con distribución de carga. Es decir, el anclaje transfiere el esfuerzo axial del tensado de manera simultánea a un determinado número de elementos estructurales que conforman varios bulbos en serie dentro de la misma perforación. Cada uno de estos bulbos es cargado a compresión. Este tipo de anclajes también se denominan LDCA (Load Distributive Compressive Anchor) o por su nombre comercial SW-RCD Anchor (Removable Compressive and Distributive Anchor) cuando tienen la posibilidad de recuperar el tirante de acero. Han sido desarrollados en Corea del Sur por la empresa Samwoo y se comercializaron por primera vez en 2001.

Los dispositivos SW-RCD están formados por varios cuerpos de aluminio prefabricados dispuestos en serie dentro una misma perforación, con cables de acero enfundados en vainas de polietileno de alta densidad (PEAD) y conectados individualmente a cada cuerpo de anclaje. Según el fabricante, la máxima carga de diseño que se puede lograr es de 2000 kN empleando una combinación de 3 cuerpos de anclaje de 4 cables cada uno (12 cables de 15,7 mm de diámetro).

Cada tirante de un cuerpo de anclaje se pone en carga por el extremo libre de los cables mediante la tracción ejercida por un equipo de tensado especial. El bulbo y el terreno circundante se cargan de manera uniforme a compresión a lo largo de toda la zona de anclaje. Al distribuir la carga en compresión y de una manera más uniforme en todo el terreno a través de varios bulbos, el potencial para que se produzca el deslizamiento entre el acero y la lechada y entre la lechada y el terreno se reduce considerablemente. De esta forma se evita el fenómeno de pérdida de

adherencia progresiva a lo largo de la longitud de bulbo. La figura 12 representa un esquema de la configuración típica de un anclaje de este tipo con dos cuerpos de anclaje (uno doble y uno individual) y tres cables.

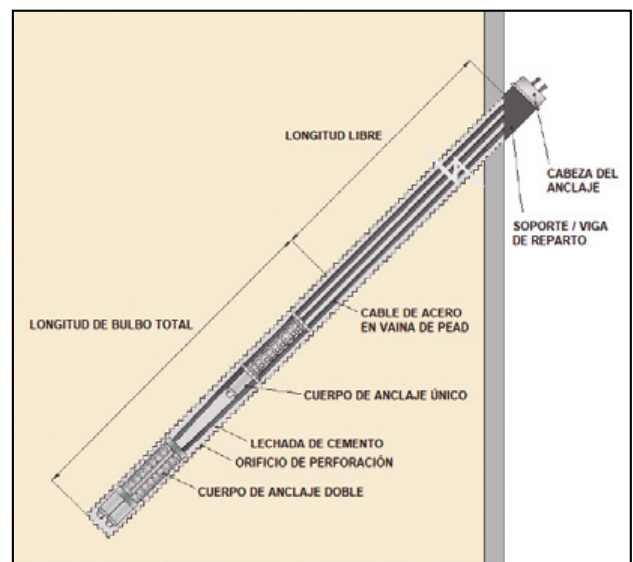


Figura 12. Esquema de anclaje SW-RCD con 2 cuerpos de anclaje y 3 cables (Modificado de Hertz *et al.*, 2015).

Para la instalación de este tipo de anclaje es necesario tensar todos los cables con la misma carga. Como las longitudes libres varían en función del número de cuerpos de anclaje dispuestos, se requiere el empleo de un gato hidráulico multifilar especial para tensar cada cable de manera uniforme. El fabricante ha desarrollado un equipo de tesoado formado por varios cilindros que permite realizar esta operación, denominado SW-Smart Jack.

El sistema de recuperación de un anclaje SW-RCD permite retirar de forma manual los cables de acero durante el desmantelamiento del sistema de sostenimiento temporal de la obra. Para ello, se vale de un sistema de cuñas en los cuerpos de anclaje que retienen los cables durante la vida útil del anclaje y que pueden desacoplarse desde la superficie para recuperar el tirante (figura 13).

El procedimiento de extracción comienza cortando el cable con disco y separándolo de la placa o viga de reparo. También se puede destensar los cables con un puente de tensado y un gato hidráulico. Al destensar el anclaje,

la cuña integrada en el cuerpo de aluminio que retiene el cable se desplaza hacia el extremo distal del cuerpo. A continuación, se gira el cable en sentido horario con una herramienta de mano. La rotación del cable de acero desajusta la cuña del interior del cuerpo del anclaje mediante un sistema de rosca y el cable es liberado. El cable encapsulado en la vaina de PEAD no está adherido a la lechada y por tanto, una vez liberado, se puede retirar tirando del mismo de forma manual. Para el resto de cables de todos los cuerpos que tenga el anclaje se procede de manera análoga (figura 14).

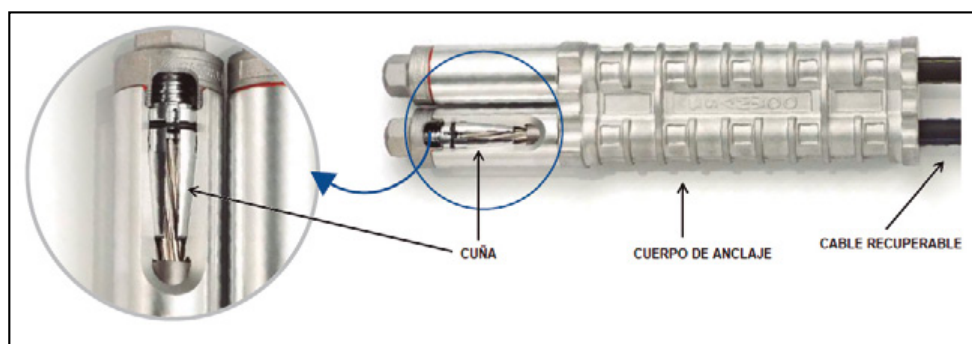


Figura 13. Sistema de cuñas integrado en el cuerpo de anclaje de aluminio doble (Modificado de Samwoo Anchor Technology, 2014).

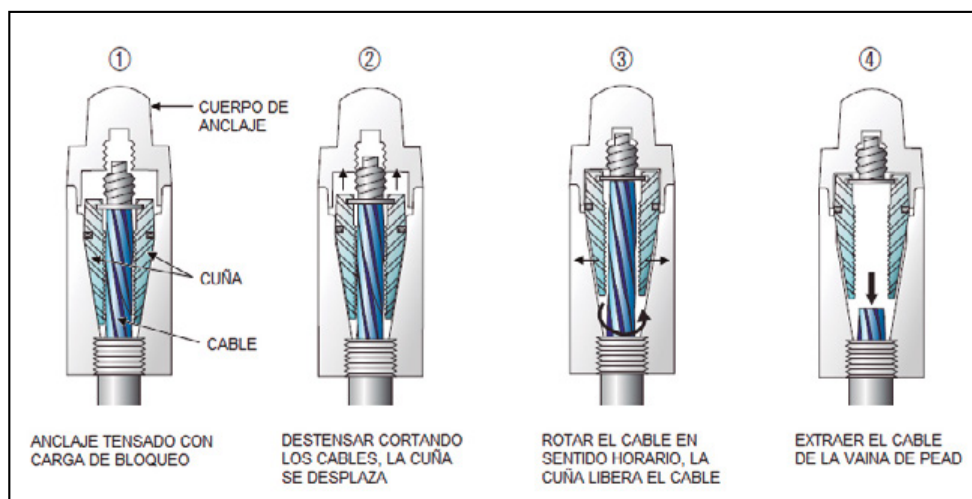


Figura 14. Procedimiento de recuperación del cable de acero en un anclaje SW-RCD (Modificado de Samwoo Anchor Technology, 2014).

3.6. Anclaje QUICK-EX

Este sistema de anclaje combina las cualidades geotécnicas de un anclaje de compresión con un sencillo método de recuperación de la armadura del anclaje. Se trata de un anclaje moderno desarrollado y patentado por la empresa DYWIDAG-Systems International, denominado QuickEx, cuya primera comercialización fue en 2014 (figura 15).

Los cables de acero están envueltos por un tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) a lo largo de toda la longitud del anclaje y están ensamblados en el extremo distal dentro un cilindro metálico con orificios roscados, denominado pie de anclaje. Los cables se integran dentro del cilindro metálico con ayuda de un manguito de extrusión roscado. Sobre éste se coloca un cono de acero para facilitar la extracción del cable, pero sobre todo, para permitir

que la vaina individual deslice sobre el cable y alcance su rosca hembra en el pie de anclaje. La carga se transfiere del cable al pie de anclaje a través de un sistema de rosca interna donde se conecta el manguito de extrusión roscado. Los tubos de PEAD también se enroscan en el pie de anclaje, formando una conexión sellada que evita la entrada de la lechada de cemento.

Al estar recubiertos en su totalidad los cables de acero, el esfuerzo de tracción axial generado por el equipo de tensado se transfiere directamente al pie de anclaje situado en la zona distal del anclaje, siguiendo el funcionamiento típico de un anclaje de compresión. La carga se transfiere de este elemento a unos cuerpos de compresión que tienen una superficie en forma de costilla y cuya función consiste en transferir la carga a lo largo de toda su superficie a la lechada de cemento y ésta a su vez al terreno circundante (figura 16). Los orificios roscados del pie de anclaje se

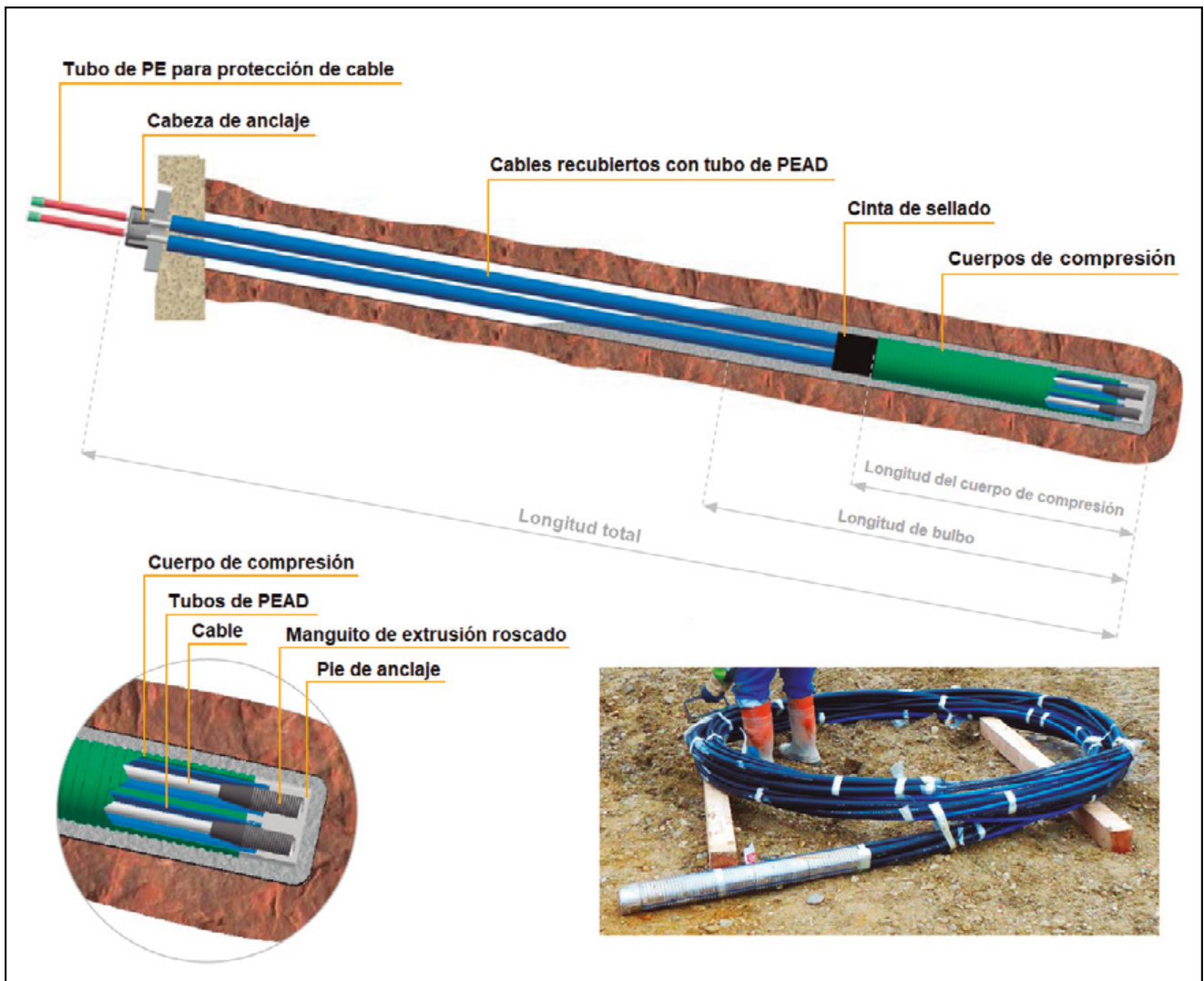


Figura 15. Esquema del anclaje QuickEx y fotografía de un anclaje con 4 cuerpos de compresión enrollado en obra (Modificado de DYWIDAG-Systems International, 2016).

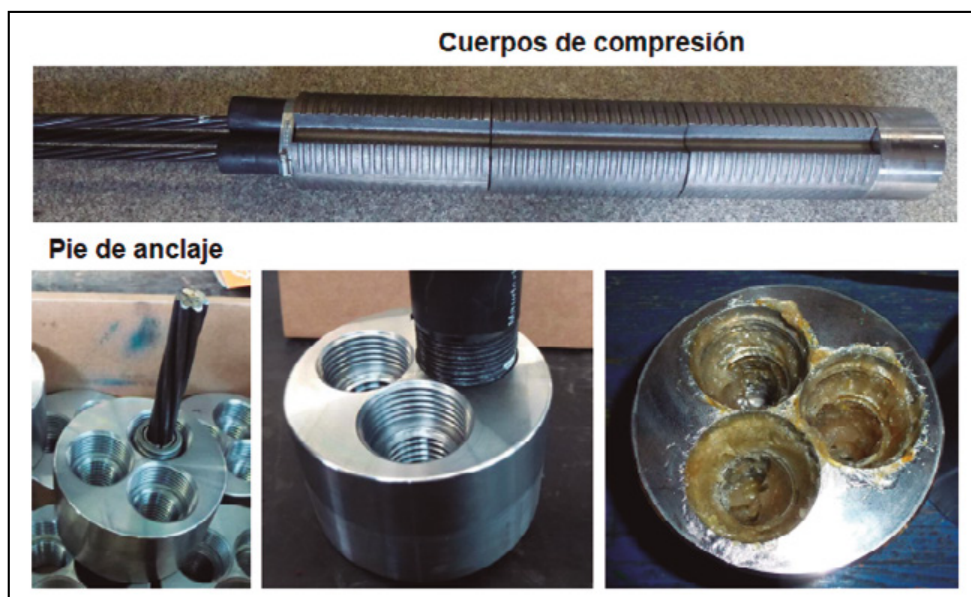


Figura 16. Detalle de 3 cuerpos de compresión y pie de anclaje (Modificado de Wörle, 2014).

engrasan para evitar el agarrotamiento de los cables y facilitar la futura operación de extracción.

Todos los cables tienen la misma longitud libre al estar todos conectados en la parte distal del anclaje. Por tanto, los ensayos de tensado y su puesta en carga se pueden realizar de una forma convencional empleando un gato hidráulico multifilar.

Cuando la vida útil del anclaje ha terminado, este sistema de anclaje permite extraer los cables de forma manual. El primer paso para recuperar el tirante consiste en destensar los cables de acero con la ayuda de un gato hidráulico multifilar convencional, el cual se coloca sobre un puente de tensado. Después se retiran las cuñas desbloqueadas del portacúñas mediante el uso de una herramienta magnética o bien manualmente de manera convencional. A continuación, cada uno de los cables se rota con un taladro de mano y una llave de tubo. Esta rotación hace que el manguito de extrusión roscado del extremo distal del cable se afloje del

pie de anclaje. Una vez el manguito se ha desenroscado por completo, los cables se pueden extraer de forma manual tirando de ellos (figura 17).

En la figura 18 se muestra un esquema del mecanismo interno que permite la recuperación del cable, así como las directrices del procedimiento de extracción.

Según el fabricante, estos anclajes pueden ser fabricados con un máximo de 7 cables, lo que puede traducirse en una capacidad de carga de 1500 kN (7 cables de 15,7 mm de diámetro de acero con carga unitaria máxima no menor que 1860 N/mm²).

Las principales ventajas frente a otros sistemas comerciales son la posibilidad de recuperar el tirante de manera manual, sin maquinaria, cuyo uso en muchas ocasiones es inviable por las condiciones de espacio restringido de la obra; y que las operaciones de instalación y tensado se pueden realizar con equipos convencionales. Todo ello se traduce en un ahorro de tiempo y recursos.



Figura 17. Recuperación del tirante en anclaje QuickEx: a) rotación del cable, b) extracción del cable de manera manual (Bogdan y Wörle, 2018).

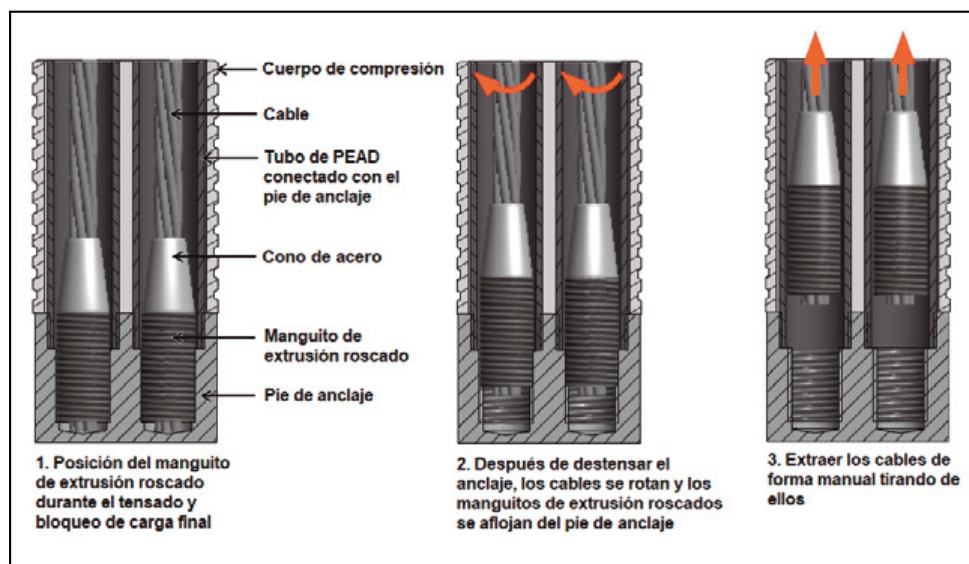


Figura 18. Recuperación de cables en anclaje QuickEx (Modificado de DYWIDAG-Systems International, 2016).

4. CONCLUSIONES

En este artículo se pone de manifiesto la relevancia de los anclajes recuperables en el futuro desarrollo de las grandes ciudades. La utilización de estos dispositivos en las obras de construcción urbanas supone una solución técnica a las restricciones por parte de las autoridades locales respecto al abandono de cables de acero en el subsuelo

de la propiedad adyacente. De esta forma, se mantienen las ventajas del empleo de anclajes al terreno frente a los arriostramientos metálicos en el sostenimiento temporal de excavaciones profundas. Además, el terreno colindante queda libre de obstrucciones a futuras obras subterráneas.

Para enmarcar y entender las virtudes de los anclajes recuperables, se ha descrito el comportamiento tensional interno de los distintos tipos de anclaje al terreno,

identificando las particularidades de cada uno. Los anclajes de tracción convencionales son susceptibles de sufrir pérdida de adherencia progresiva, lo que se traduce en un uso ineficiente de la resistencia del terreno circundante. Los anclajes cuyos bulbos trabajan a compresión tienen una mayor protección frente a la corrosión y en su puesta en carga activan una sección de suelo mayor, de modo que son menos propensos a sufrir pérdida de adherencia progresiva. Los anclajes con carga distribuida presentan a lo largo de su longitud de bulbo total una distribución de tensiones de adherencia más uniforme, por lo que la resistencia del suelo circundante se utiliza de una forma más eficiente, evitando a su vez la pérdida de adherencia progresiva.

En la actualidad, se comercializan distintos sistemas de anclajes recuperables, cada uno con una tecnología y particularidades diferentes. Los más innovadores combinan las cualidades geotécnicas de los anclajes de compresión con varios métodos de recuperación completa de los cables de acero.

Respecto a su comportamiento interno, los anclajes temporales SBMA y los anclajes SW-RCD aplican el concepto de distribución de la carga mediante varios bulbos de corta longitud dispuestos en serie. Esto les permite poder asegurar una carga de anclaje elevada. Por contra, ambos

sistemas requieren del empleo de gatos hidráulicos especiales para las operaciones de tensado. Por otro lado, los anclajes QuickEx transfieren la carga a un elemento estructural en el extremo distal del anclaje. Este sistema tiene la ventaja de poder realizar la instalación y puesta en carga del anclaje con equipos convencionales.

En cuanto a los mecanismos de recuperación de los cables, los sistemas más anticuados emplean tecnologías obsoletas que extraen el tirante de acero mediante sobreesfuerzos o destrucción del bulbo. Los sistemas más modernos permiten extraer completamente el tirante de acero de una manera más ágil mediante el empleo de mecanismos. La fiabilidad de estos sistemas y el éxito de recuperación de los tirantes están avalados por los resultados obtenidos en obras internacionales donde se han utilizado. En la tabla 2 se sintetizan las principales características, así como los pros y contras de los sistemas comerciales modernos.

En relación a todo lo expuesto, cabe destacar que la implantación de los anclajes recuperables en la ingeniería civil moderna es una realidad con una demanda creciente en entornos urbanos. De esta forma, el desarrollo de la técnica junto con el empuje de la industria permite una vez más la optimización del valioso uso del espacio subterráneo.

Tabla 2. Resumen de los principales anclajes de compresión recuperables

Sistema de anclaje	Transferencia de carga	Capacidad de carga (kN)	Pros	Contras
Anclaje temporal SBMA	Carga distribuida	800 – 2.000	Uso eficiente de la adherencia del suelo circundante.	Tiempo de extracción del tirante elevado. Requiere un sistema de gatos múltiples sincronizados para su puesta en carga.
Anclaje SW-RCD	Carga distribuida	450 – 2.000	Extracción manual y rápida de los cables. Uso eficiente de la adherencia del suelo circundante.	Necesidad de utilizar un gato hidráulico especial (SW-Smart Jack) para su puesta en carga.
Anclaje QuickEx	Carga concentrada	200 – 1.500	Extracción manual y rápida de los cables. Instalación y puesta en carga con equipos convencionales	Capacidad de carga menor.

5. REFERENCIAS

Acebo Gómez, J. (2018). *Anclajes recuperables: estado del arte* (Tesis Fin de Máster). Madrid: CEDEX (Ministerio de Fomento).

Barley, A. (1989). Summary of initial saddle tests. *Keller Ground Engineering Confidential Report*.

Barley, A., Bruce, D., Bruce, M., y Lang, J. (2003). High Capacity and Fully Removable Soil Anchors. *The Time Factor in Design and Construction of Deep Foundations. 27th Annual Conference on Deep Foundations, San Diego CA*.

Barley, T., y Edwards, M. (2007). Service Performance of Multiple Anchors in difficult ground conditions for both Permanent Anchors and Temporary Removable Anchor usage. *ICE Ground Anchorages and Anchored Structures in Service*.

Bogdan, L., y Wörle, P. (2018). Innovations in Removable Post Tensioned Strand Ground Anchors. *IFCEE 2018 GSP 297*.

DYWIDAG-Systems International (2016). DYWIDAG Removable Anchor Systems Technical Brochure.

Fernández Vincent, J.M. (2005). Anclajes de Bulbo Múltiple. *5ª sesión Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS, Madrid*.

Fernández Vincent, J.M. (2011). Casos de aplicación del anclaje de bulbo múltiple. *Pan-Am CGS Geotechnical Conference, Toronto 2011*.

Hertz, J.S., Moormann, G., Paquette, M., Shapiro, S.S., y Gallagher, M.J. (2015). Removable Compressive Load Distributive

Strand Anchors: Case History and Lessons Learned. *IFCEE 2015 GSP 256*.

Kim, N.-K. (2003). Performance of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering / ASCE December 2003*, 1138-1150.

Mothersille, D. (2012). Recent applications of the Single Bore Multiple Anchor system. *SEFE7 - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*.

Rey, H. (1978). Extracting of Soil Anchors. *VSL Intra-Co. Symposium*.

Samjin Steel (2016). Technical Brochure.

Samwoo Anchor Technology (2012). Technical Brochure Korean Edition.

Samwoo Anchor Technology (2014). Technical Brochure English Edition.

SBMA Ltd. (s.f.). *SBMA Ltd*. Obtenido de <http://www.sbmasystems.com/page11.html>

Wörle, P. (2014). Removable Strand Anchors. *DYWIDAG Geotechnical Systems*.

Xanthakos, P. (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Yamada, K. (1978). Ground Anchor Market in Japan. *VSL Intra-Co. Symposium*.