

INTEVIA
Instituto Técnico de la Vialidad y del Asfalto

CURSO DE
TALUDES EN OBRAS LINEALES
MADRID, 17 a 19 de Febrero de 2.003

ANCLAJES

Fernando MUZÁS LABAD
Profesor Titular de Mecánica del Suelo y Cimentaciones
E.T.S. de Arquitectura – Universidad Politécnica de Madrid

ANCLAJES

Índice	Pág
Nota Previa	
1. Ampliación de las ideas fundamentales	1
2. Comentarios sobre la capacidad resistente	5
3. Proyecto y ejecución de sistemas anclados	12
4. Principales problemas en laderas y taludes	13
Bibliografía	
Figuras	

NOTA PREVIA

La exposición del tema se realiza tomando como base, en primer lugar, el **Capítulo 13 "Anclajes"** de la obra dirigida y coordinada por el Profesor D. J. A. Jiménez Salas, **Geotecnia y Cimientos III, segunda parte**.

Este capítulo fue redactado en 1980 por F. Muzás Labad, de forma muy resumida por exigencias del espacio disponible, ampliando ahora los conceptos fundamentales relativos a las características y funcionamiento de los distintos tipos de anclaje, así como las ideas para el proyecto de sistemas anclados.

Se hace referencia, también, al documento editado hace unos años en España y titulado **"Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno H.P. 8-96"** que motivó la redacción del artículo de F. Muzás **"La seguridad de los tirantes anclados al terreno mediante inyecciones"** publicado por la Revista de Obras Públicas en Junio de 1.997. Actualmente, estas Recomendaciones se encuentran en un avanzado proceso de revisión.

Con posterioridad la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento elaboró, en Enero de 2001, el documento denominado **"Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras"** y en abril de 2001 AENOR publicó en castellano, como Norma **UNE-EN-1537**, el trabajo redactado por el Comité Europeo de Normalización relativo a **"Ejecución de obras geotécnicas especiales – Anclajes al terreno"**.

1. AMPLIACIÓN DE LAS IDEAS FUNDAMENTALES

Los anclajes, o más propiamente, los **tirantes anclados al terreno** son unos elementos, sometidos a tracción, con los que se trata de mejorar la estabilidad de una estructura, o de una masa de roca inestable, incorporándole un volumen suficiente de terreno. En la Fig.1 pueden observarse las aplicaciones más frecuentes de anclajes.

Las partes fundamentales de un anclaje, según se indica en la Fig.2, son, desde el exterior al interior del terreno:

1. Cabeza y placa de apoyo
2. Zona libre
3. Zona de anclaje

Las cabezas y las placas de apoyo dependen de cada fabricante y son muy similares a las que se utilizan en hormigón pretensado.

La zona libre, según se verá más adelante, es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del anclaje y conviene que tenga una longitud mínima, del orden de 5,0 m, con objeto de que el esfuerzo aplicado se vea poco afectado por los posibles desplazamientos de la cabeza respecto a la zona de anclaje al terreno.

Conviene indicar que **la zona de anclaje**, en la que se transmiten los esfuerzos al terreno, tiene características muy distintas de un tipo de anclaje a otro, según el procedimiento constructivo utilizado por cada empresa, lo cual se traduce no sólo en la distinta forma de transmitir los esfuerzos al terreno, sino también en la resistencia media de dicha zona al deslizamiento.

Por la **forma de trabajar** se distinguen los siguientes tipos de anclaje:

1. Anclajes pasivos
2. Anclajes activos
3. Anclajes mixtos

Los anclajes activos son aquellos que se ponen en tensión antes de que actúen las acciones exteriores y, en general, es preferible construir anclajes de este tipo, ya que con ellos se pone en juego, desde el primer momento, la resistencia del terreno, sin necesidad de que se produzcan movimientos en el mismo.

Los anclajes pasivos entran en carga cuando se desplaza el elemento que deben arristrar y para que funcionen correctamente, deben estar orientados en el sentido del movimiento. Normalmente esto no es posible y, en consecuencia, los anclajes pueden funcionar mal al verse sometidos a movimientos transversales del terreno que provocan esfuerzos indeseables de flexión y esfuerzo cortante en la armadura, o pueden dar lugar a presiones excesivas en el terreno circundante, al intentar desplazar la armadura. Debido a estas presiones, sólo es recomendable coser con barras pasivas macizas de roca de buena calidad.

Los anclajes mixtos, son aquellos en los que la armadura se tensa a un valor inferior a la carga admisible y tienen su aplicación cuando se trata de contener el movimiento de una masa de terreno cuya geometría no se puede definir con precisión. En este caso es muy difícil conseguir que la resultante de los esfuerzos de anclaje pase por el centro de gravedad de la masa inestable, produciéndose, inevitablemente, los oportunos movimientos y reajustes de tensiones hasta que se establezca el equilibrio. El resultado de todo ello puede dar lugar a que ciertos anclajes se descarguen algo y otros se sobrecarguen, por lo que es recomendable dejar un cierto margen de resistencia para hacer frente a estos posibles reajustes.

Los tipos de anclaje, son muy diversos atendiendo a los distintos elementos que los componen, pudiendo diferenciar:

- Características de la armadura (barras, alambres o cordones)
- Cabezas o dispositivos de puesta en tensión
- Formación de la longitud libre
- Forma de constituir la zona de anclaje

En la Fig.3 se recogen algunos tipos de anclaje, que pueden tener, por otra parte **carácter provisional, o definitivo**.

En general se reserva la **denominación de perno o bulón** a los tirantes constituidos por una barra única con la zona de anclaje constituida por un dispositivo mecánico, o mediante productos de endurecimiento rápido tales como resinas o cementos especiales.

En los tirantes de elevada capacidad resistente, la zona de anclaje se lleva a cabo mediante inyección de mortero de cemento para constituir lo que habitualmente se denomina "**bulbo de anclaje**". Debe señalarse que cada empresa constructora utiliza uno o varios sistemas, según se trate de anclajes provisionales o permanentes, no sólo para crear el "bulbo" sino también para transmitir los esfuerzos al terreno. De ello puede depender la resistencia al deslizamiento que cabe considerar en cada caso, no siendo extrapolables, de un tipo de anclaje a otro, los resultados de ensayos efectuados con elementos de prueba.

En la Fig.4 se recogen las características fundamentales de algunos tipos de anclaje, con las cargas de servicio más frecuentes.

La **resistencia al deslizamiento** del bulbo inyectado si bien varía de un terreno a otro, depende en gran manera de la presión con la que se lleve a cabo la inyección de la lechada, siendo conveniente alcanzar valores del orden de 15 a 20 kg/cm². En segundo lugar debe tenerse en cuenta la forma en la que se transmiten las cargas al terreno, bien desde el comienzo del bulbo o bien desde el fondo del mismo, ya que en el primer caso el bulbo estará sometido a tracción, mientras que en el segundo el bulbo queda sometido a compresión.

Se han hecho diversos intentos para estudiar el comportamiento del bulbo tanto en modelos reducidos como en modelos matemáticos de ordenador. El resultado es que en ciertos puntos del terreno el estado tensional resulta brutalmente modificado, alcanzándose el estado de límite plástico que se va propagando a lo largo del fuste conforme se eleva la carga del anclaje.

De un estudio teórico realizado por el autor en 1971 se deduce que es distinto el comportamiento de un bulbo de anclaje si se tira de él en la parte frontal, que si se empuja en la parte dorsal, transmitiendo la fuerza a dicho extremo, ya que se ve

sometido a esfuerzos de tracción o de compresión. El funcionamiento de los dos tipos de bulbo es muy similar a lo que ocurre cuando queremos desplazar un cilindro de goma dentro de un cilindro, que se desplaza mejor si tiramos de él que si empujamos por el otro extremo. Este puede ser el comportamiento de un bulbo de anclaje en roca de buena calidad, pero tratándose de suelos, es inevitable que una masa de terreno alcance el límite de estado plástico, con deformaciones hacia la zona exterior del anclaje y hacia el interior del orificio, acuñando el bulbo.

En la Fig.5 se resume el funcionamiento de un tirante anclado al terreno. Ya se ha indicado que la longitud libre es fundamental para el buen funcionamiento del tirante, de manera que no pueda verse sometido a cambios de tensión apreciables, al producirse movimientos diferenciales entre la cabeza y el bulbo. Al poner en tensión los anclajes van a experimentar, con las tensiones habituales de trabajo, una deformación del orden del 5 por mil, es decir de 5 mm por cada metro que tenga la longitud libre. Con esta zona independizada del terreno se pretende que la armadura se alargue bastante más que lo que pueda deformarse el terreno, es decir que se comporte como un elemento de menor rigidez, a pesar de ser de acero. De esta manera, las acciones adicionales exteriores no pueden producir importantes modificaciones de tensión en el acero; si se dispone un tirante bastante largo. En este caso, el terreno se comporta como un material mucho más rígido que el acero, de manera que, al tirar de la placa de apoyo, únicamente se despegará cuando se rebase la carga de tesado inicialmente aplicada. Por otro lado, pequeños movimientos del terreno no implicarían modificaciones de la carga pues el anclaje muy largo puede considerarse infinitamente flexible respecto al terreno. La idea fundamental que rige el comportamiento de los anclajes suficientemente largos, consiste en que, de manera aproximada, actúen como unos elementos que transmiten una fuerza casi constante al elemento que deben arristrar.

2. COMENTARIOS SOBRE LA CAPACIDAD RESISTENTE

En el Capítulo del libro citado, se indica un procedimiento para fijar la capacidad resistente de los anclajes definiendo los tres conceptos siguientes:

1. Carga límite del acero: $T_L = A \times \sigma_e$
2. Carga de utilización, o admisible, del acero: $T_U = \alpha \times T_L \quad (\alpha < 1)$
3. Resistencia media del terreno en el bulbo: $T_T = \beta \times T_L \quad (\beta > 1)$

En el Cuadro nº 1 se recogen unos valores orientativos para la resistencia media del terreno y, por tanto, para el cálculo y dimensionamiento del bulbo, debiendo señalar la conveniencia de disponer en cada caso particular de terreno y de tipo de anclaje de resultados de lo que se denominan **ensayos de adecuación**, efectuados con anclajes de prueba, cuyos resultados pueden ser distintos al variar la forma de constituir el bulbo.

No obstante, en los anclajes inyectados, se ha comprobado que la resistencia del terreno es, en general, bastante mayor que la que habitualmente se tiene en cuenta, como resistencia de fuste, en los pilotes, donde no se admite un valor superior a 1,0 kg/cm². En anclajes construidos en el suelo de Madrid, se han medido resistencias del orden de 7,0 kg/cm² y en gravas se puede llegar a una resistencia media de 10,0 kg/cm².

Cuando se efectúan **ensayos de adecuación**, según aparece en la Fig.6, los resultados permiten ver cómo la longitud libre del anclaje se va incrementando a medida que aumenta la carga, como consecuencia del deslizamiento de la armadura dentro de la lechada del bulbo. Para interpretar los resultados, se establecen dos límites de la deformación, uno correspondiente a la longitud inicial de la zona libre y otro correspondiente a esta longitud libre inicial más la mitad de la longitud del bulbo. Esto no es válido para los anclajes que transmiten los esfuerzos al fondo del bulbo por lo que conviene señalar que los gráficos de la Norma DIN que, habitualmente, se utilizan para la interpretación de los resultados, pueden resultar inadecuados en este tipo de anclajes.

Un aspecto no suficientemente tratado es el hecho de que la resistencia media del bulbo no es una constante pues se ha comprobado que la fuerza total que produce el deslizamiento no es proporcional a la longitud del bulbo. Según parece esta resistencia media va decreciendo, pudiendo llegar al 60% del valor correspondiente a bulbos de reducida longitud. En este sentido al final de las Notas que aparecen como complemento del **Cuadro nº 1**, se propone una fórmula con la que se podría tener en cuenta este efecto.

CUADRO Nº 1

RESISTENCIA MEDIA AL DESLIZAMIENTO DE BULBOS INYECTADOS

TIPO DE TERRENO		RESISTENCIA MEDIA (kg/cm ²)
ROCAS	Duras: Granitos, Gneis, Calizas, etc.	10,0 a 25,0
	Blandas: Margas, Esquistos, pizarras	3,0 a 10,0
SUELOS GRANULARES	Gravas y Arenas gruesas	7,0 a 10,0
	Arenas medias y finas, Arenas limosas o arcillosas	3,0 a 6,0
ARCILLAS SATURADAS	$q_u \geq 4,0 \text{ kg/cm}^2$	> 8,0
	$q_u = 1,0 \text{ a } 4,0 \text{ kg/cm}^2$	4,0 a 8,0
	$q_u = 0,5 \text{ a } 1,0 \text{ kg/cm}^2$	2,5 a 4,0

NOTAS

1. Es importante que la inyección del bulbo se efectúe a presión del orden de 15,0 a 20,0 kg/cm²
2. El valor más alto de la tabla corresponde a la resistencia a tracción de la lechada de inyección 20,0 a 25,0 kg/cm²
3. En suelos granulares puede estimarse aproximadamente la resistencia por la expresión $\tau \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 10,0 \cdot \text{tg}\phi$
4. En arcillas saturadas la resistencia puede estimarse aproximadamente por la

expresión $\tau = K \cdot q_u$, siendo K un coeficiente que toma valores decrecientes de 5,0 - 4,0 - 3,0 ó 2,0 conforme aumenta la resistencia a compresión simple.

5. La resistencia debe afectarse de un coeficiente reductor, en función de la longitud del bulbo L (m), dado por la expresión

$$K = 1,0 - 0,65 \cdot \exp\left[\frac{-4,0}{L - 4,0}\right]$$

Recientemente al publicar las **Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno H.P.8-96** se hizo una propuesta de coeficientes de seguridad siguiendo en líneas generales los criterios utilizados en las Normas de Hormigón Armado y Pretensado. Cuando se elaboró el Capítulo 13 de Geotecnia y Cimientos III, ya existía una propuesta similar en las Normas Suizas, muy parecida a otro intento elaborado por el autor y que no se creyó oportuno incorporar en el texto.

Examinado el contenido de estas Recomendaciones H.P.8-96, pareció oportuno remitir a la Revista de Obras Públicas el artículo que se cita en la Nota Previa, exponiendo una serie de comentarios sobre la seguridad de los anclajes, por entender que la propuesta recogida en las Recomendaciones conduce a valores globales de seguridad algo bajos, pues resultan inferiores a los que habitualmente se utilizan en el diseño de estructuras de hormigón. En dicho artículo se hizo una revisión de los criterios y valores utilizados tanto en la Instrucción de Hormigón EH, como en las Recomendaciones sobre Anclajes, señalando, por otro lado, que la adopción de coeficientes de mayoración de acciones y de minoración de resistencias tiene interés cuando se trata de combinar distintas hipótesis de carga, pero no lo tiene cuando la carga, como es el caso de los tirantes anclados al terreno, tiene un único valor y no se obtiene de distintas combinaciones de carga.

Por otro lado es evidente que el terreno, aunque pueda tener un tratamiento similar al hormigón, difiere bastante de éste ya que no se trata de un producto obtenido en un proceso de fabricación y que sus propiedades pueden tener un cierto grado de variabilidad, según el tipo de material.

Como consecuencia de todo ello, para el caso de los anclajes inyectados en el terreno se propusieron en su día otros coeficientes similares, sustituyendo los tres niveles de control del hormigón por tres tipos de terreno, en función del mayor o menor grado de dispersión que pueden presentar sus propiedades mecánicas:

- Terreno "A", con grado de dispersión: bajo
- Terreno "B", con grado de dispersión: medio
- Terreno "C", con grado de dispersión: alto

Esta propuesta es la que se recoge en el **Cuadro Nº 2**. Los coeficientes que aparecen en el Cuadro, conducen a otros coeficientes simplificados, similares a los indicados al comienzo de este apartado, cuyos valores se recogen a continuación en el **Cuadro Nº 3**, de más fácil aplicación, en la mayoría de los casos, pues, según ya se ha indicado, normalmente no existen varios supuestos que permitan considerar varias combinaciones de hipótesis de carga.

CUADRO Nº 2.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

COEFICIENTE		VALOR DEL COEFICIENTE	
MINORACIÓN DEL ACERO γ_s		1,10	
MINORACIÓN DEL TERRENO γ_t	Terreno "A"	1,60	
	Terreno "B"	1,80	
	Terreno "C"	2,00	
MAYORACIÓN DE CARGAS γ_f	Nivel de riesgo	Anclajes permanentes	Anclajes provisionales
	Daños mínimos	1,50	1,20
	Daños medios	1,60	1,30
	Daños máximos	1,80	1,50

TERRENO	DESCRIPCIÓN
"A"	Rocas Suelos granulares de compacidad alta ($N \geq 40$) Suelos coherentes con índice de fluidez ($I_f \leq 0,2$)
"B"	Suelos granulares de compacidad media ($40 > N \geq 20$) Suelos coherentes con índice de fluidez ($0,2 < I_f \leq 0,4$)
"C"	Suelos granulares de compacidad baja ($20 > N \geq 10$) Suelos coherentes con índice de fluidez ($0,4 < I_f \leq 0,6$)

CUADRO Nº 3

COEFICIENTES DE SEGURIDAD SIMPLIFICADOS

1. CARGA LÍMITE DEL ACERO $T_L = \text{Sección de Acero} \times \text{Límite Elástico}$
2. CARGA DE UTILIZACIÓN $T_U = \alpha \times T_L$ $\alpha = \text{Coeficiente de utilización} =$ $\alpha = 0,60 \text{ a } 0,75 \text{ para anclajes provisionales}$ $\alpha = 0,50 \text{ a } 0,60 \text{ para anclajes permanentes}$
3. RESISTENCIA DEL TERRENO EN LA ZONA DE ANCLAJE $T_T = \beta \times T_L$ $\beta = \text{Coeficiente minoración} = 1,4 \text{ a } 1,8$

COEFICIENTE		VALOR DEL COEFICIENTE	
UTILIZACIÓN DEL ACERO α	Nivel de riesgo	Anclajes permanentes	Anclajes provisionales
	Daños mínimos	0,60	0,75
	Daños medios	0,55	0,70
	Daños máximos	0,50	0,60
MINORACIÓN DEL TERRENO β	Terreno "A"	1,40	
	Terreno "B"	1,60	
	Terreno "C"	1,80	

En los **Cuadros Nº 4 y Nº 5** pueden verse los coeficientes globales de seguridad a que conducen ambas propuestas.

CUADRO Nº 4

COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD

Partiendo de los coeficientes γ_s , γ_t y γ_f

TIPO DE MATERIAL	ANCLAJES PROVISIONALES			ANCLAJES PERMANENTES		
	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos
ACERO	1,32	1,43	1,65	1,65	1,76	1,98
TERRENO "A"	1,92	2,08	2,40	2,40	2,56	2,88
TERRENO "B"	2,16	2,34	2,70	2,70	2,88	3,24
TERRENO "C"	2,40	2,60	3,00	3,00	3,20	3,60

CUADRO Nº 5

COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD

Partiendo de los coeficientes α y β

TIPO DE MATERIAL	ANCLAJES PROVISIONALES			ANCLAJES PERMANENTES		
	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos
ACERO	1,33	1,43	1,67	1,67	1,82	2,00
TERRENO "A"	1,87	2,00	2,33	2,33	2,55	2,80
TERRENO "B"	2,13	2,29	2,67	2,67	2,91	3,20
TERRENO "C"	2,40	2,57	3,00	3,00	3,27	3,60

3. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE SISTEMAS ANCLADOS

En el Capítulo 13 del Libro de Geotecnia y Cimientos III, varias veces citado, se indica que en el proyecto de cualquier sistema anclado es preciso efectuar no sólo las oportunas comprobaciones de estabilidad sino, también, analizar el tipo de anclaje más conveniente y la disposición más adecuada de los distintos elementos, así como el proceso constructivo.

Los aspectos fundamentales que deben considerarse en el **proyecto de un sistema anclado** pueden ser en principio los siguientes:

1. Recopilación de la información básica y definición de los problemas a los que se debe hacer frente.
2. Determinación de los esfuerzos necesarios para conseguir la estabilidad con el adecuado coeficiente de seguridad, considerando tanto la situación final, como el proceso constructivo que haya de utilizarse.
3. Elección del tipo de anclaje más adecuado para el caso concreto, principalmente si los tirantes han de tener carácter permanente.
4. Distribución de anclajes y orientación tanto en planta como en alzado de acuerdo con criterios técnicos, económicos o constructivos.
5. Determinación de la longitud que debe tener la zona de anclaje.
6. Definición de la longitud que debe tener la zona libre, partiendo de un mínimo del orden de 5,0 m, para conseguir que los bulbos queden situados en una masa de terreno suficientemente estable.
7. Comprobar la estabilidad del conjunto con alguno de los métodos recogidos en la bibliografía como el de Kranz, u otro que sea de aplicación, suponiendo que la resistencia del bulbo se sustituye por una fuerza concentrada en el punto medio.

Dentro de esta comprobación, hay que incluir el estudio del posible efecto de grupo

de los anclajes, suponiendo, por ejemplo, que las tensiones de cada bulbo se distribuyen, a partir del fondo, según un cono de semi-abertura igual a $2/3 \varphi$. En general puede admitirse que no hay variación en la resistencia de cada bulbo siempre que la separación sea igual o superior a 10 veces el diámetro de los mismos.

8. Definición del proceso constructivo, tanto en cuanto a la disposición de anclajes como al orden de tesado.
9. Definición de la tensión de blocaje con objeto de tener en cuenta las posibles pérdidas de tensión.
10. Establecimiento del control de obras, definiendo las pruebas oportunas a llevar a cabo, y las observaciones posteriores que permitan comprobar el correcto funcionamiento, si procede.

4. PRINCIPALES PROBLEMAS EN LADERAS Y TALUDES

En geotecnia vial, los principales problemas que se plantean en las laderas y taludes y que pueden resolverse con bulones o anclajes, se refieren en general a:

- Estabilidad de bloques aislados o cuñas
- Pandeo de estratos
- Inestabilidad por cabeceo o vuelco de estratos (toppling)
- Inestabilidad general con riesgo de deslizamiento de masas de roca o de suelo.

En la Fig. 7, adjunta, se recogen distintos procedimientos para hacer frente a posibles deslizamientos. Igualmente la Fig.8 presenta diversos problemas de estabilidad por

cabeceo de estratos.

Respecto a estos posibles problemas, cabe decir que el **deslizamiento** de un bloque se produce cuando la inclinación del plano de apoyo supera el valor del ángulo de rozamiento interno. El **vuelco** tiene lugar cuando el peso del bloque se sale de la base de sustentación. El **pandeo de estratos** cuando se ejecuta una excavación de gran altura adoptando como talud el plano de estratificación. Se puede producir también la caída de bloques cuando se erosiona un estrato por debajo de otro más resistente. La mayoría de estos problemas pueden resolverse disponiendo anclajes, siendo conveniente disponerlos antes de que con las labores de excavación se provoquen los problemas de inestabilidad.

Cuando se trata de contener bloques que pueden deslizar sobre un plano, la bibliografía aconseja como orientación óptima de los anclajes aquella que forma un ángulo con el posible plano de deslizamiento igual al ángulo de rozamiento interno, tal como se recoge en la Fig.9. En la Figura 10 se recoge un cálculo de estabilidad más general, pudiendo observar que esa dirección corresponde a aquella en la que se requiere el mínimo esfuerzo de anclaje, F_0 pero no es la dirección más económica. Si los anclajes se orientan en sentido perpendicular al plano de deslizamiento, se obtiene el esfuerzo F_1 , mayor que el anterior, con una longitud mínima, H , de los mismos. Con otra orientación β de los anclajes, respecto a la normal al plano de deslizamiento, se obtiene una fuerza intermedia F_β y una longitud también intermedia si se quiere llevar el bulbo a la misma profundidad respecto al plano de deslizamiento. Admitiendo que el precio de un anclaje es igual a una cantidad fija más otra proporcional al esfuerzo y a la longitud necesaria, el cálculo conduce al resultado de que el coste mínimo se obtiene cuando la dirección del anclaje forma con la normal al plano de deslizamiento un ángulo β igual a $(45^\circ - \varphi/2)$.

En la bibliografía existen diversos métodos de cálculo para estudiar o hacer frente a problemas de **cabeceo de estratos** y a este respecto creemos conveniente volver a indicar que, en geotecnia vial, el ideal es prever los problemas que pueden aparecer en las laderas naturales con la excavación de taludes, antes de acometer dicha excavación, ya que las medidas oportunas son siempre más económicas si se actúa antes de que en

el terreno se inicie cualquier tipo de movimiento.

Como ejemplo de aplicación de los anclajes, en las Figuras 11, 12 y 13, adjuntas, se recoge un caso real ocurrido en la zona de “La Pañoleta”, en Sevilla, en el que al excavar el talud de la Autovía se produjo la inestabilidad de la ladera en una gran extensión. Para corregir el problema, a posteriori, hubo necesidad de disponer un muro anclado, con mayor altura que el talud excavado para poder disponer los distintos elementos. Este caso, con utilización de anclajes mixtos, fue presentado al IX Congreso de Mecánica del Suelo (Tokio, 1977).

BIBLIOGRAFÍA

- JIMÉNEZ SALAS, J.A. y MUZÁS, F. : Geotecnia y Cimientos III, Cap. 13 Anclajes. Edit. Rueda, 1980.
- COMTE, Ch.: Technologie des Tirants. Pub. n° 17 de la Fundación Kollbrunner-Rodio, Zurich 1971.
- HOBST y ZAJIC: Anchoring in Rock. Edit. Elsevier Scientific, 1977.
- BUREAU-SECURITAS: Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage. Edit. Eyrolles, 1972, 1977.
- NORMA DIN 4125:Parte 1. 1972. Anclajes provisionales inyectados en el terreno. Boletín N° 1 de la S.E. de Mecánica del Suelo, 1973.
Parte 2. 1976. Anclajes permanentes inyectados en el terreno.. Boletín N° 34 de la S.E. de Mecánica del Suelo, 1978.
- LOGEAIS, L. y BUSTAMENTE, M.: Nouveauté en Matière de tirants d'ancrage. ANNALES n° 447, Sept. 1986.
- BUSTAMENTE, M.: Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados. Boletines N° 81 y 82 de la S.E. de Mecánica del Suelo, 1986.
- MOPU D.G.C.: Desmontes. Estado actual de la técnica. (V. Escario, 1987)
- ATEP: Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno. H.P.8-96.
- ALONSO, E.: Anclajes. Ponencia 4.1 del Simposio sobre Estructuras de Contención de Terrenos. Santander, 1996.
- ENDERLI, M., LLORCA, J. y MUZÁS, F.: Estabilización de un deslizamiento mediante anclajes. Comunicación al IX Congreso Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, Tokio 1977. Boletín nº 35 de la SEMS, 1978.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD: Landslides. Investigation and Mitigation. (Special Report 247, 1996)

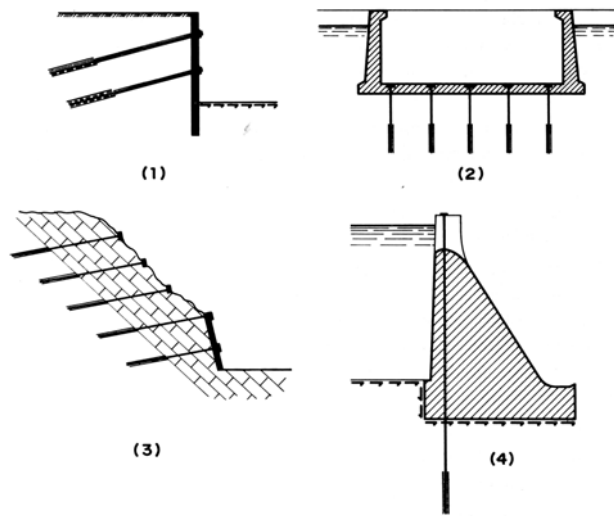


FIG.1. Aplicaciones de los anclajes

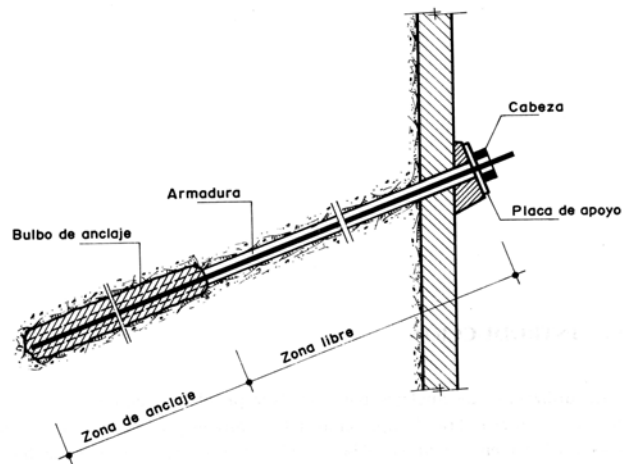


FIG.2. Partes fundamentales de un anclaje

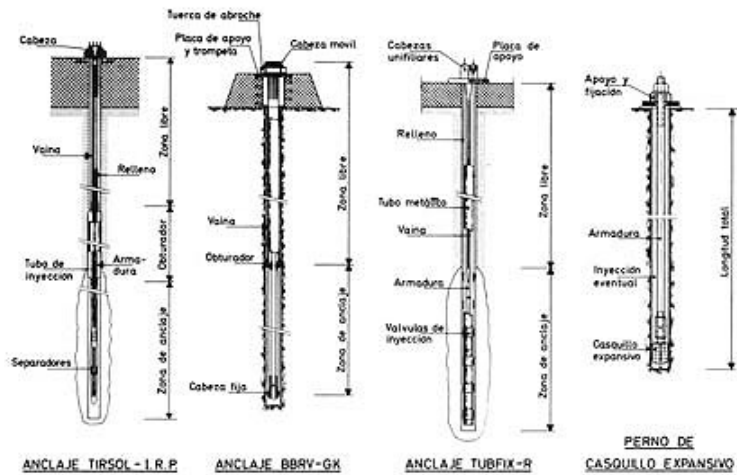


FIG.3. Algunos tipos de anclajes

Tipo de anclaje	Ø Perforación mm.	Carga límite T.	% Cargas servicio en T		
			60	75	80
1T 0,5"	90	17	10	13	14
2T 0,5"	90	34	20	25	27
3T 0,5"	100	51	31	38	41
4T 0,5"	100	68	41	51	54
5T 0,5"	100	85	51	64	68
6T 0,5"	100	102	61	77	82
8T 0,5"	110	136	81	102	109
10T 0,5"	110	170	102	127	136
12T 0,5"	110	204	122	153	163
10T 0,6"	120	231	139	174	185
12T 0,6"	120	277	165	208	222

FIG.4. Características de anclajes

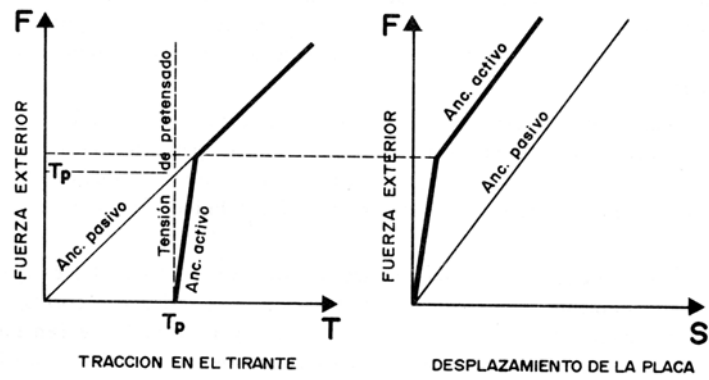


FIG.5. Comportamiento esquemático de un anclaje

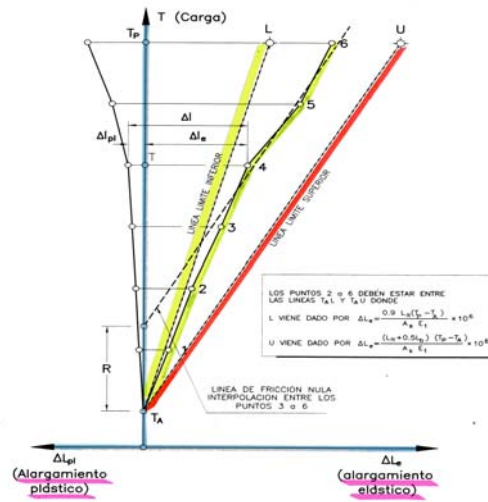


FIG.6. Ensayo de adecuación de un anclaje

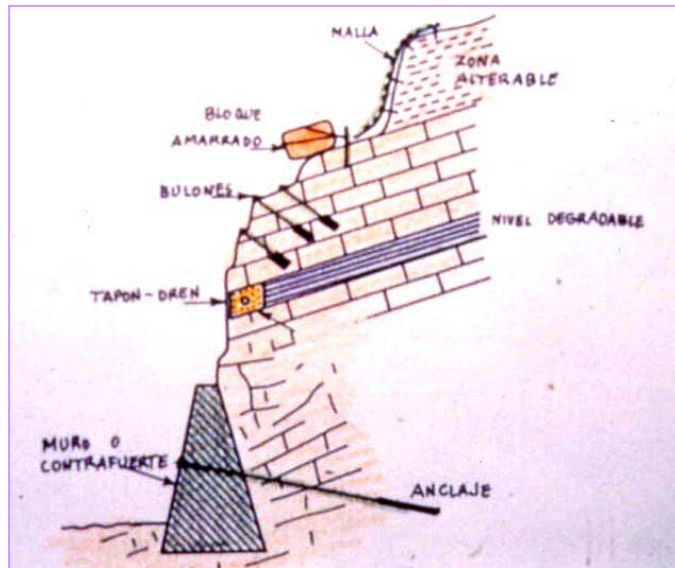


FIG.7. Prevención de desprendimientos por distintos procedimientos

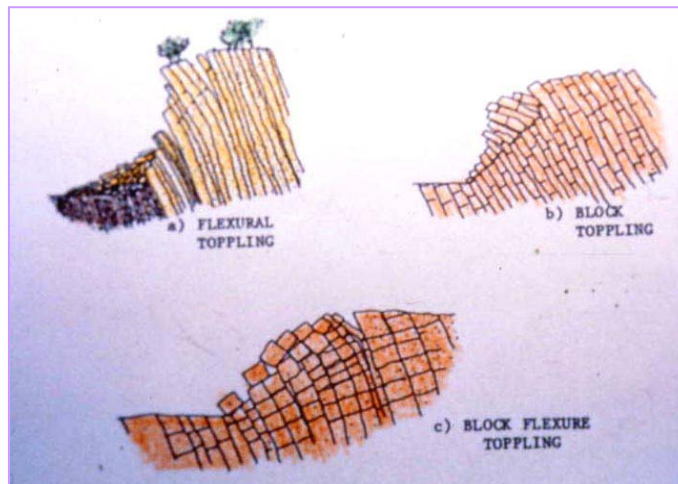


FIG.8. Problemas de estabilidad por cabeceo de estratos

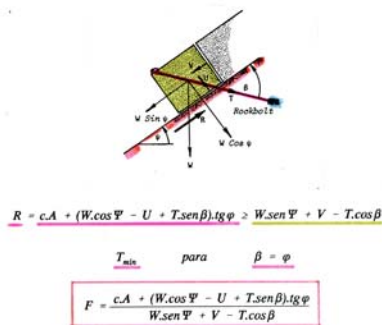


FIG.9. Estabilización de un bloque de roca

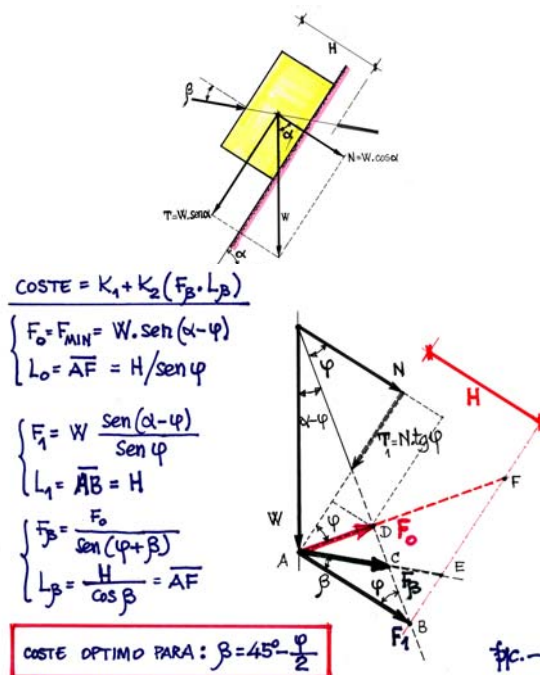
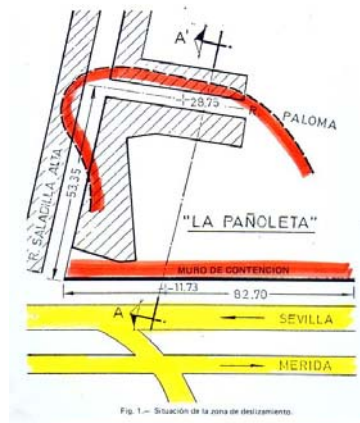
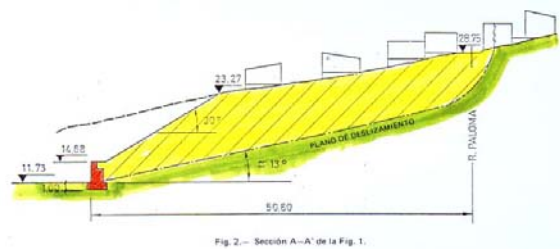


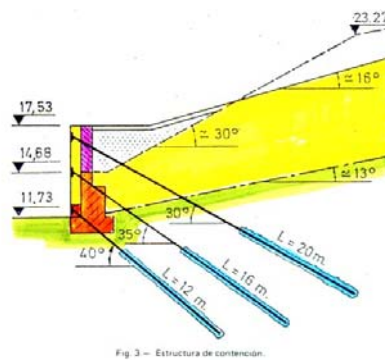
FIG.10. Estabilización óptima de un bloque de roca



FIGS.11. Deslizamiento de la Pañoleta. Planta



FIGS.12. Deslizamiento de la Pañoleta. Perfil



FIGS.13. Deslizamiento de la Pañoleta. Detalle