

# ANCLAJES Y BULONES



Luis Ortuño Abad & Tomás Murillo Pérez  
Uriel & Asociados, S.A.

[lortuno@urielyasociados.es](mailto:lortuno@urielyasociados.es)

[tomasmurillo@urielyasociados.es](mailto:tomasmurillo@urielyasociados.es)

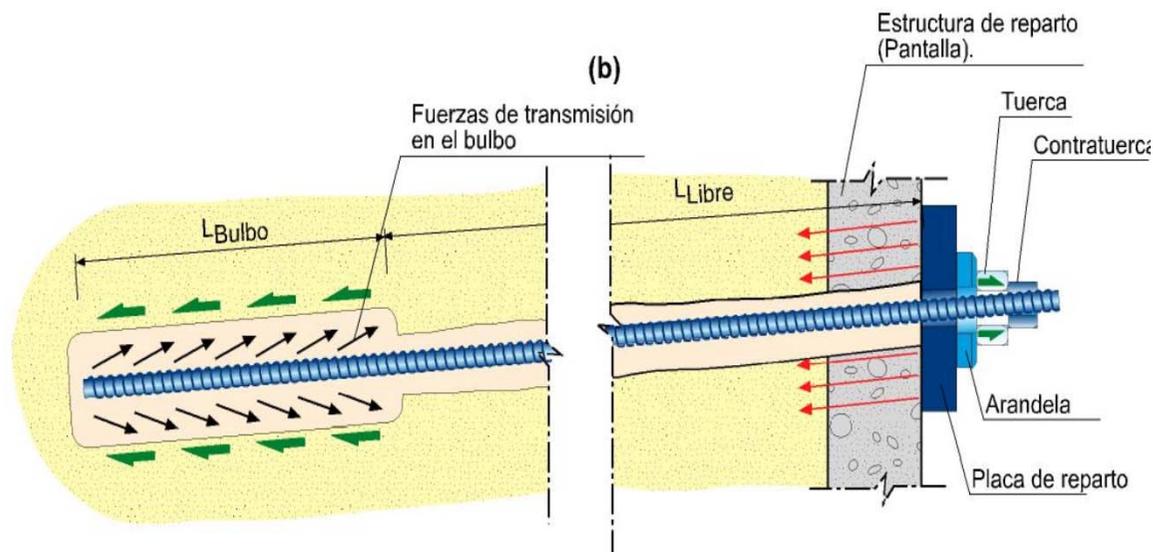
# INDICE

- 1.- Introducción. Definición, partes de un anclaje y aplicaciones
- 2.-Tipos de anclaje
- 3.- Aspectos prácticos sobre la ejecución
- 4.- Diseño
- 5.- Pruebas de carga
- 6.- Durabilidad y corrosión

# INTRODUCCIÓN. DEFINICIÓN.

(UNE-EN 1537:2001. Ejecución de trabajos especiales. Anclajes)

**“Dispositivo capaz de transmitir las fuerzas de tracción que le son aplicadas a un lecho de terreno resistente”.**



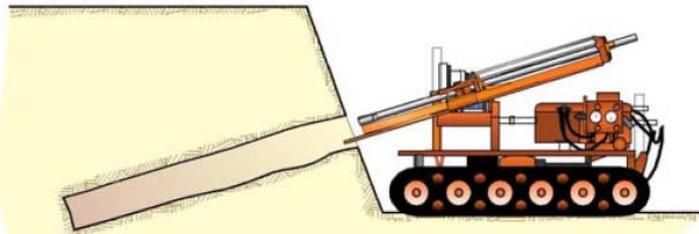
- Tirante (barra o cable) introducido en el terreno, concebido para trabajar a tracción
- Se fija al exterior mediante una “cabeza”, que transmite la carga a una estructura de reparto
- Se fija al interior del terreno a lo largo de un “bulbo”
- Entre ambas fijaciones puede disponerse una “longitud libre”.

# INTRODUCCIÓN. INSTALACIÓN

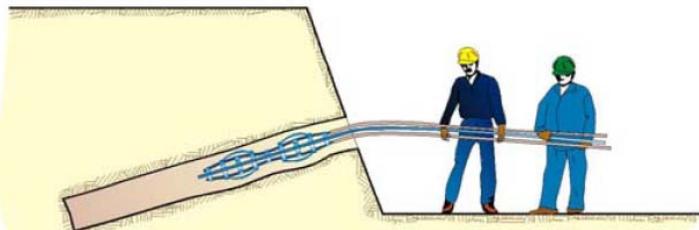
1. FABRICACIÓN DEL ANCLAJE



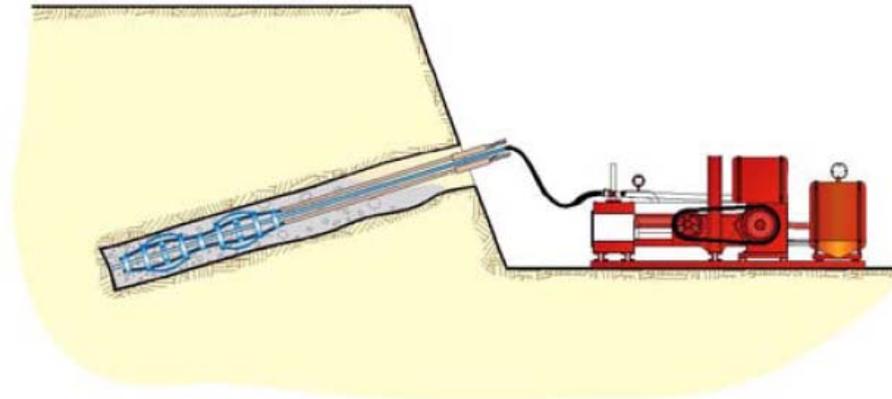
2. PERFORACIÓN



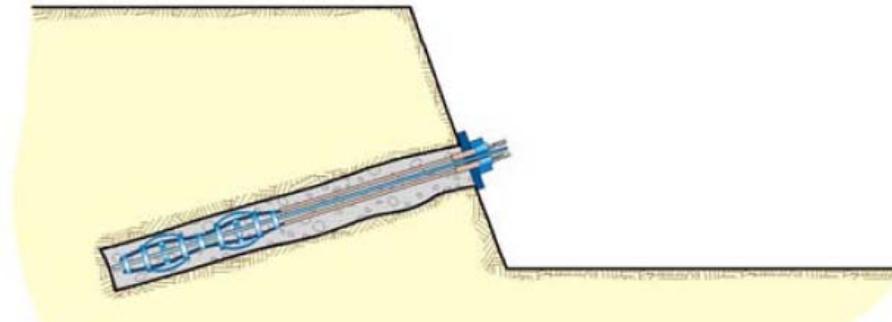
3. COLOCACION DEL ANCLAJE



4. INYECCIÓN

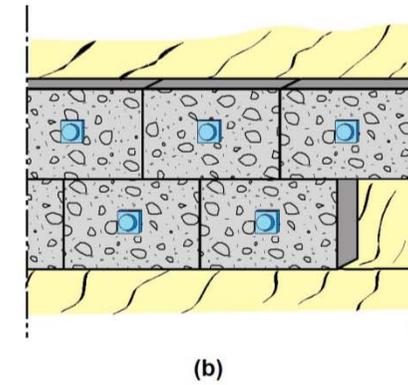
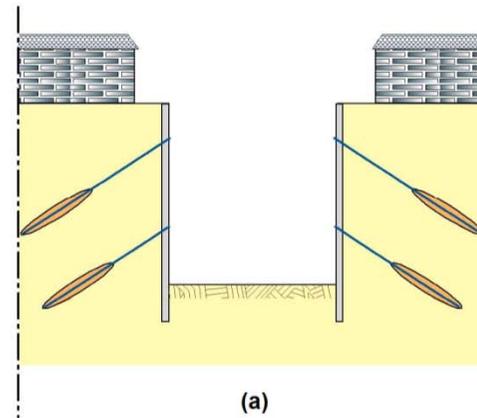
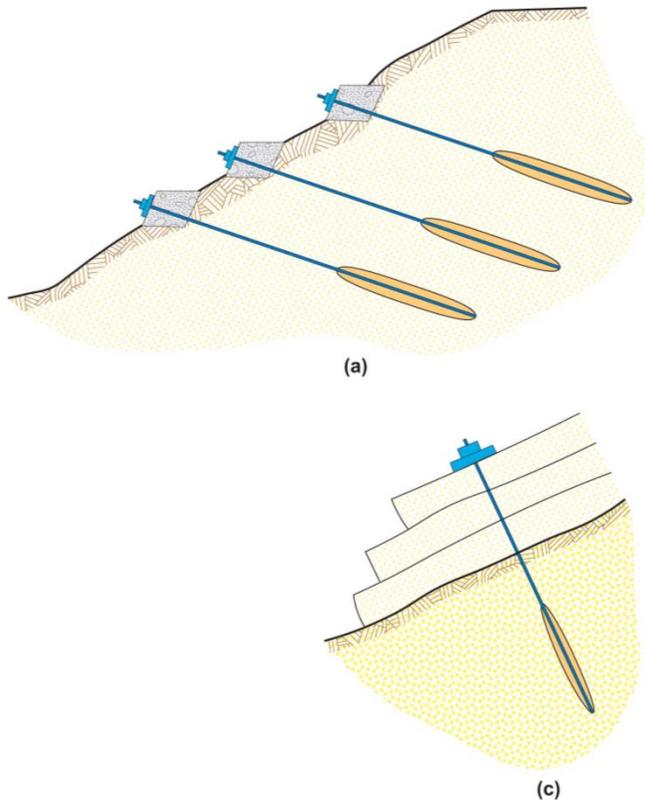


5. COLOCACIÓN DE CABEZA Y TESADO



**Proceso de instalación típico para anclajes perforados e  
inyectados con lechada**

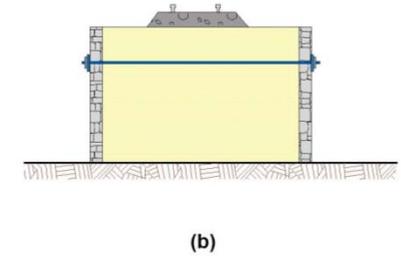
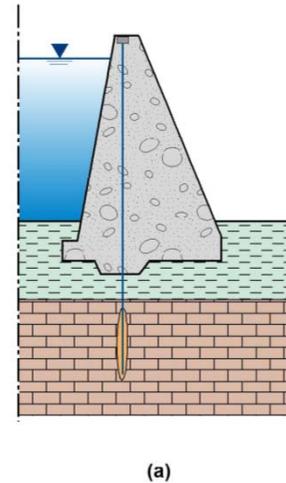
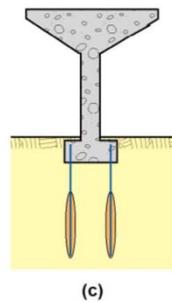
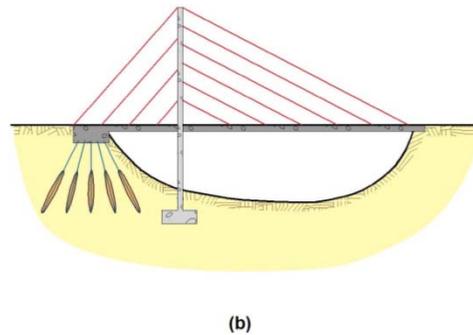
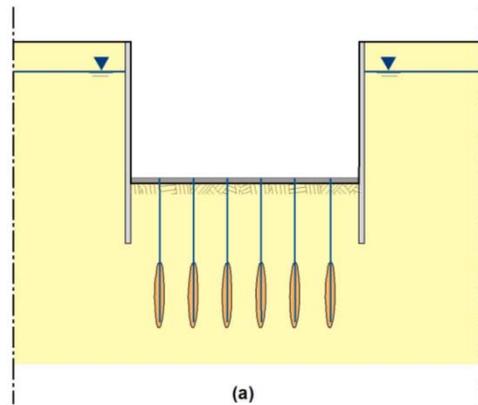
# INTRODUCCIÓN. APLICACIONES



## Arriostramiento de estructuras de contención

## Estabilización de taludes

# INTRODUCCIÓN. APLICACIONES



## Refuerzo de estructuras

## Absorción de esfuerzos en cimentaciones

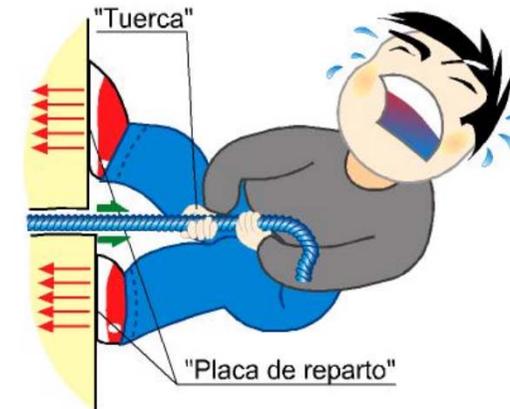
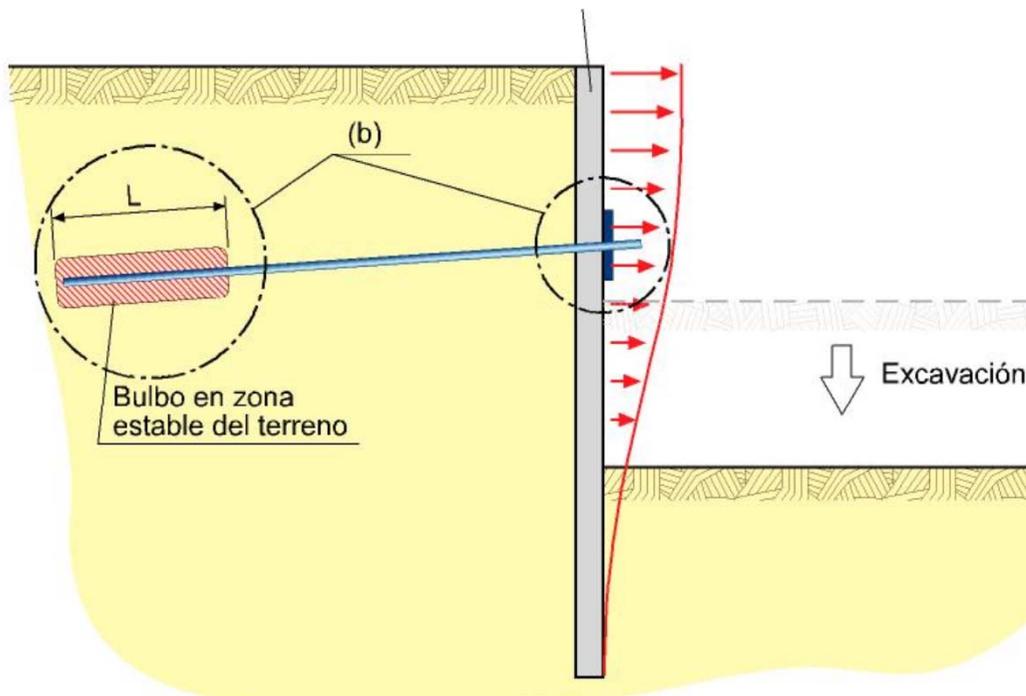
# TIPOS DE ANCLAJE. Clasificaciones

- 1.- Según la armadura o tirante
- 2.- Según la vida útil
- 3.- Según su puesta en carga
- 4.- Según la formación del bulbo (inyección)
- 5.- Según su capacidad de modificar la carga actuante

# TIPOS DE ANCLAJE. FORMA DE TRABAJO

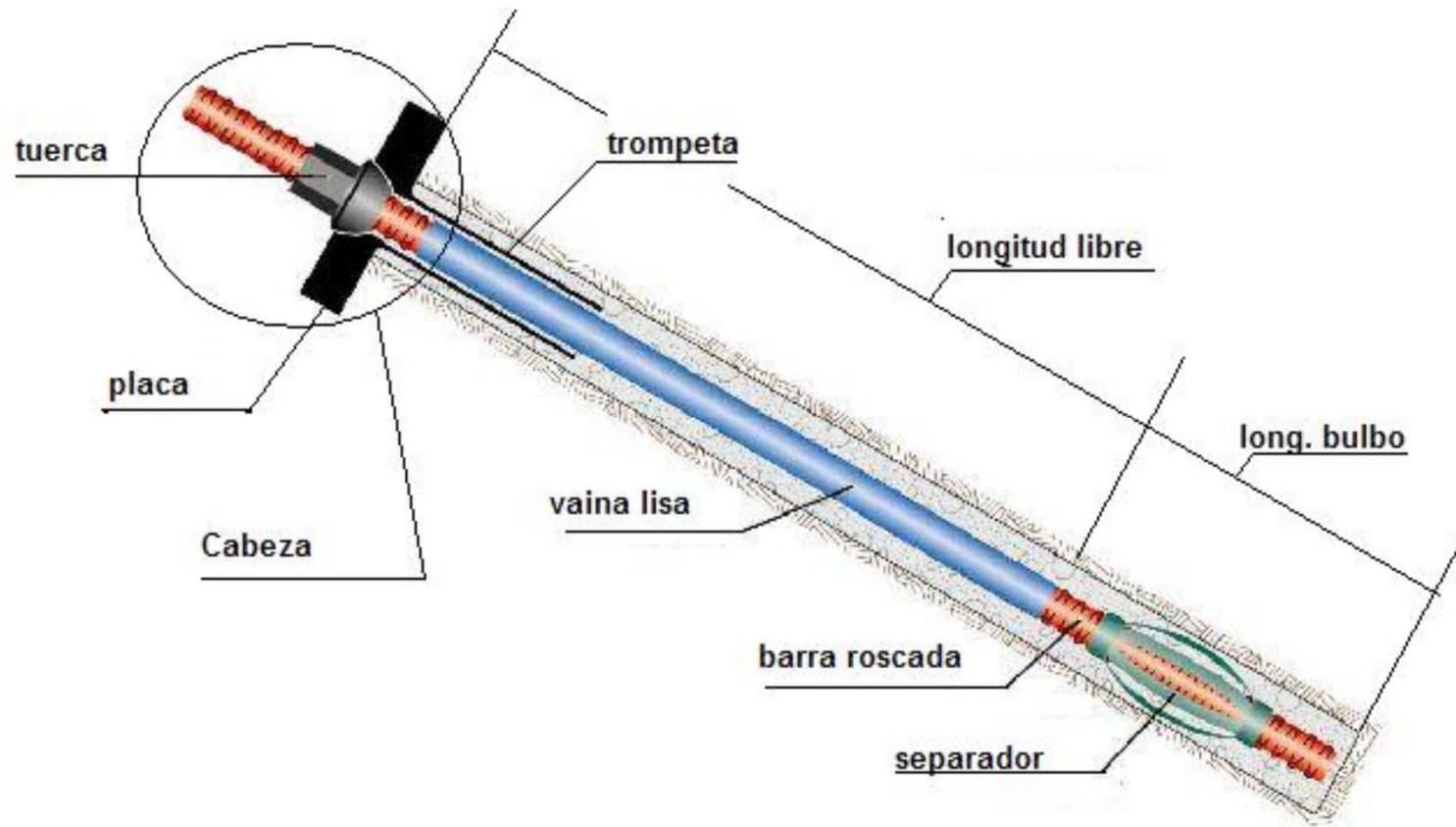
**Pasivos:** No se tesan inicialmente. Requieren la producción de movimientos relativos entre las fijaciones de la cabeza y bulbo para traccionarse

**Activos:** Se ponen en carga mediante un procedimiento de tesado (gato), tras lo cuál se fijan a la cabeza.



# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE.

## Anclajes de barra (pasivos o activos)



-Roscadadas: Facilidad de empalme y fijación

- Corrugadas: Precisan tornejar rosca para fijación o empalme. Peor calidad (corrosión, debilidad)

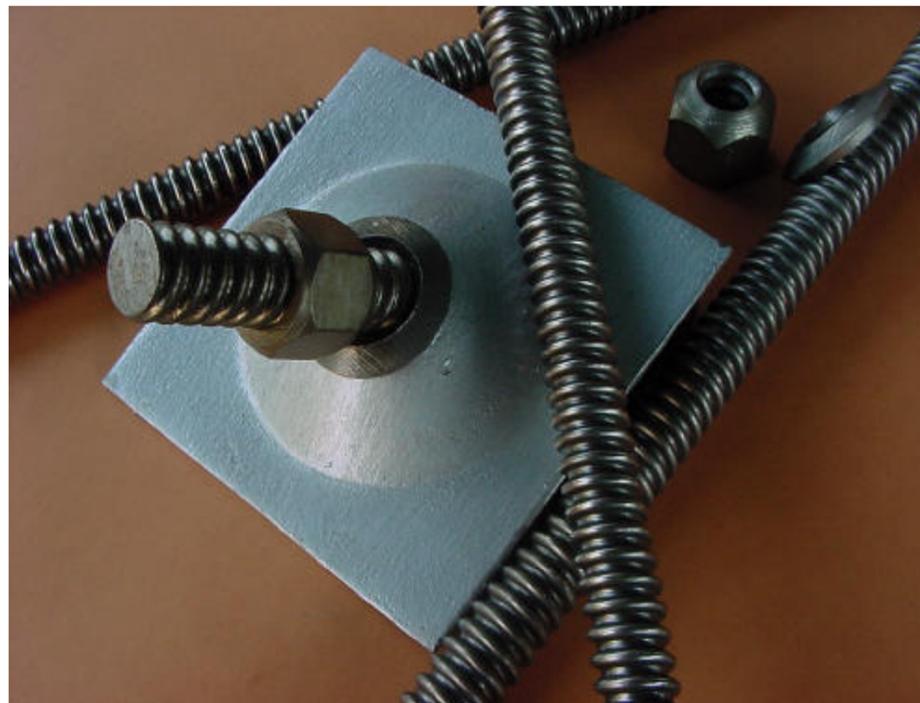
- Vidrio

# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE.

## Anclajes de barra (25, 32, 40, 50 y 63 mm)

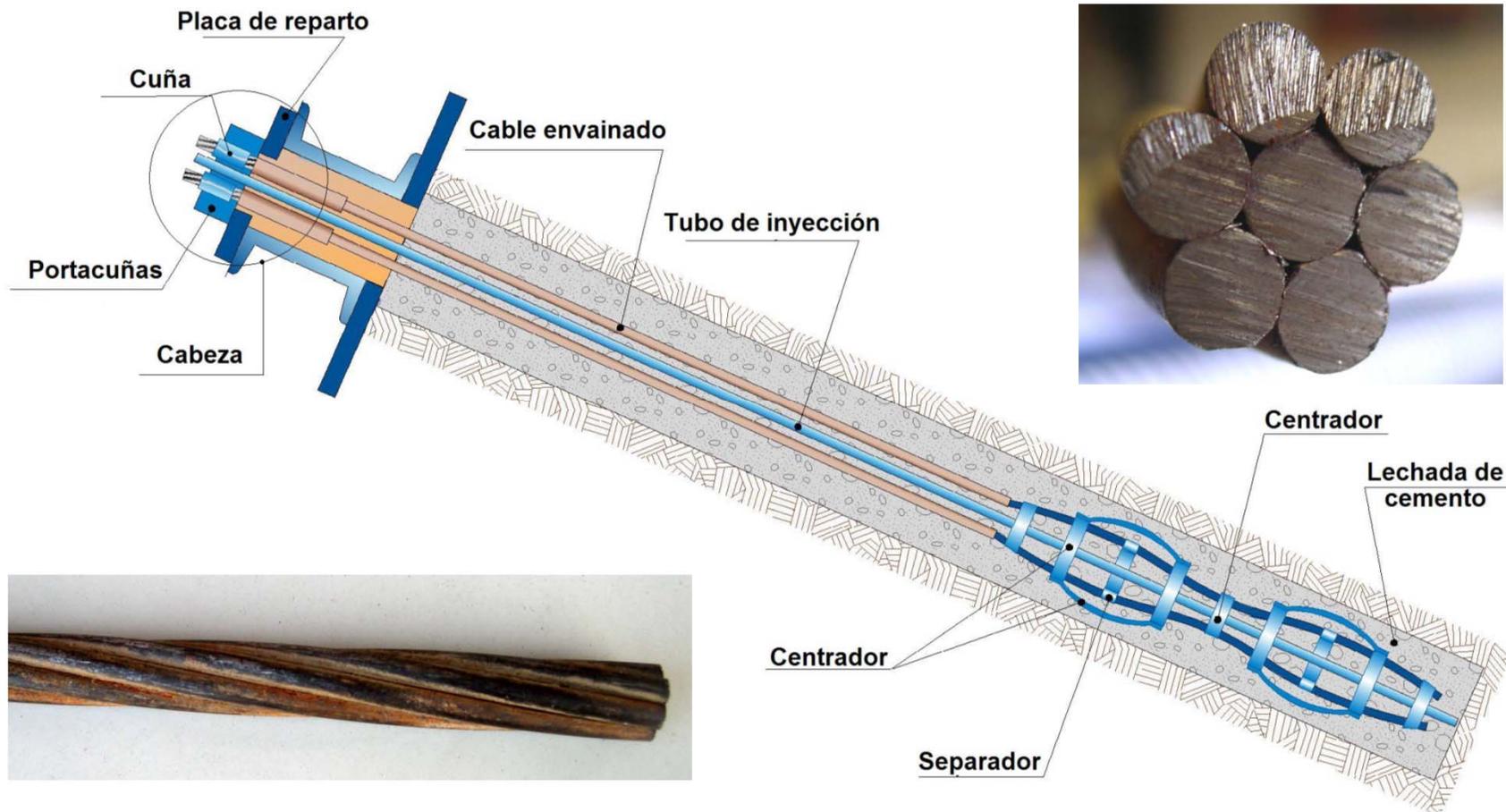
**TABLA 1: Características de las barras de anclaje más habituales.**

Tipo de barra	Límite elástico (MPa)	Carga de rotura (MPa)
Corrugada, Gewi o similar	500	550
Dywidag	850	1.050



# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE

## Anclajes de cable (siempre activos)



- Armadura constituida por uno o varios cables (cordones o torones)
- Cables compuestos por un conjunto de alambres de acero (habitualmente 7)

# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE

## Anclajes de cable

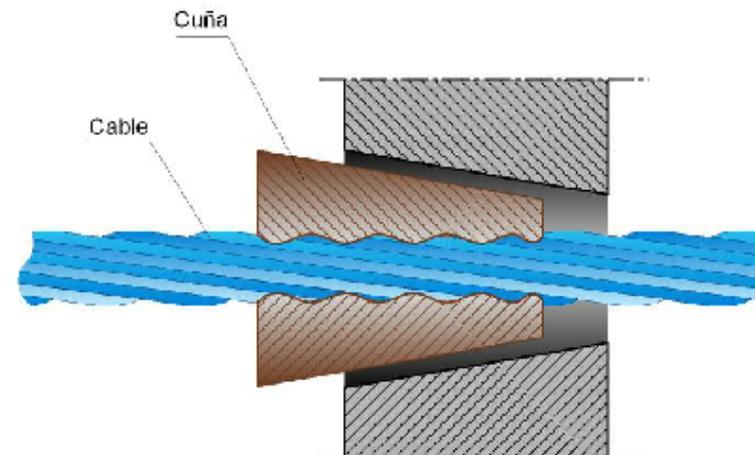
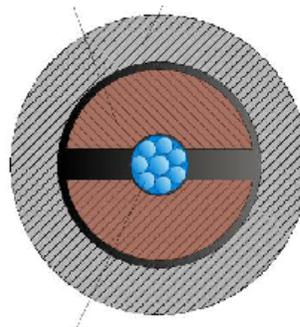
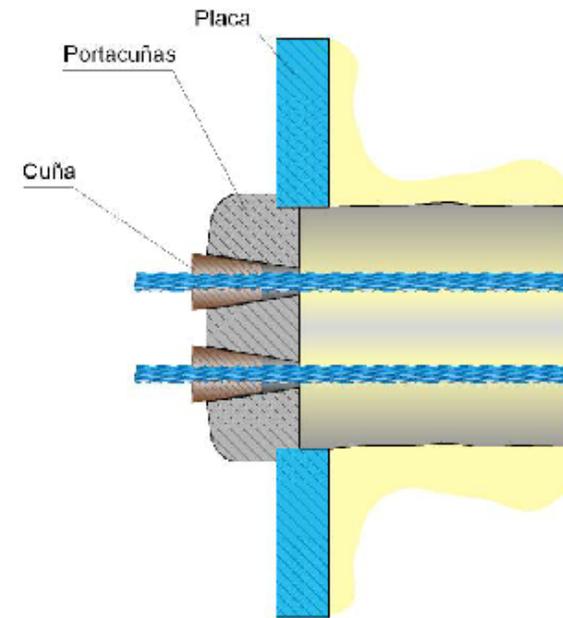
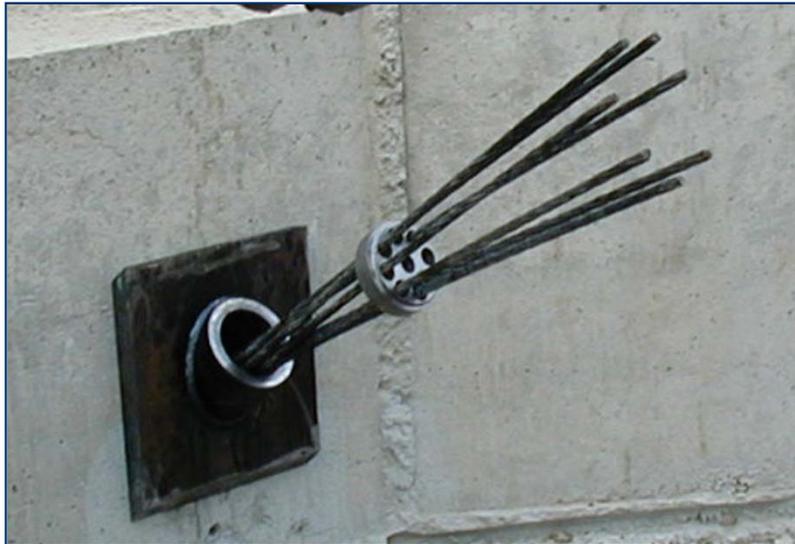
### Características de los cables más empleados actualmente (Y 1860 S7 15.20)

Límite elástico (MPa)	1670
Carga de rotura (MPa)	1860
Nº de alambres	7
Diámetro nominal (pulgadas - milímetros)	0.6 – 15.2
Área (mm <sup>2</sup> )	140
Límite elástico unitario (kN)	229
Carga de rotura unitaria (kN)	260
Módulo de deformación (N/mm <sup>2</sup> )	200.000

# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE

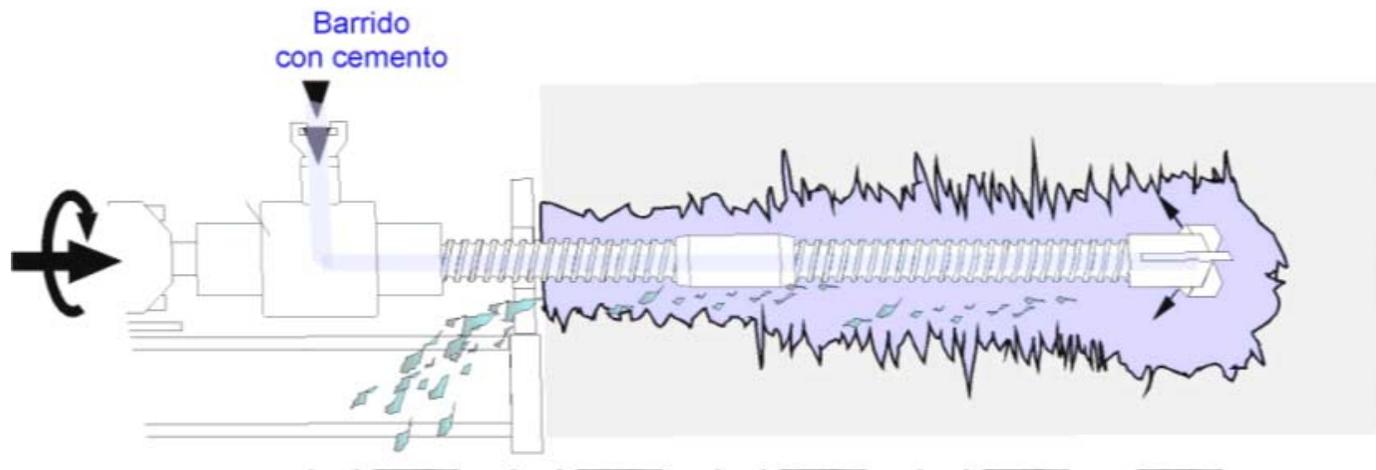
## Anclajes de cable

### Cuñas y portacuñas



# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE.

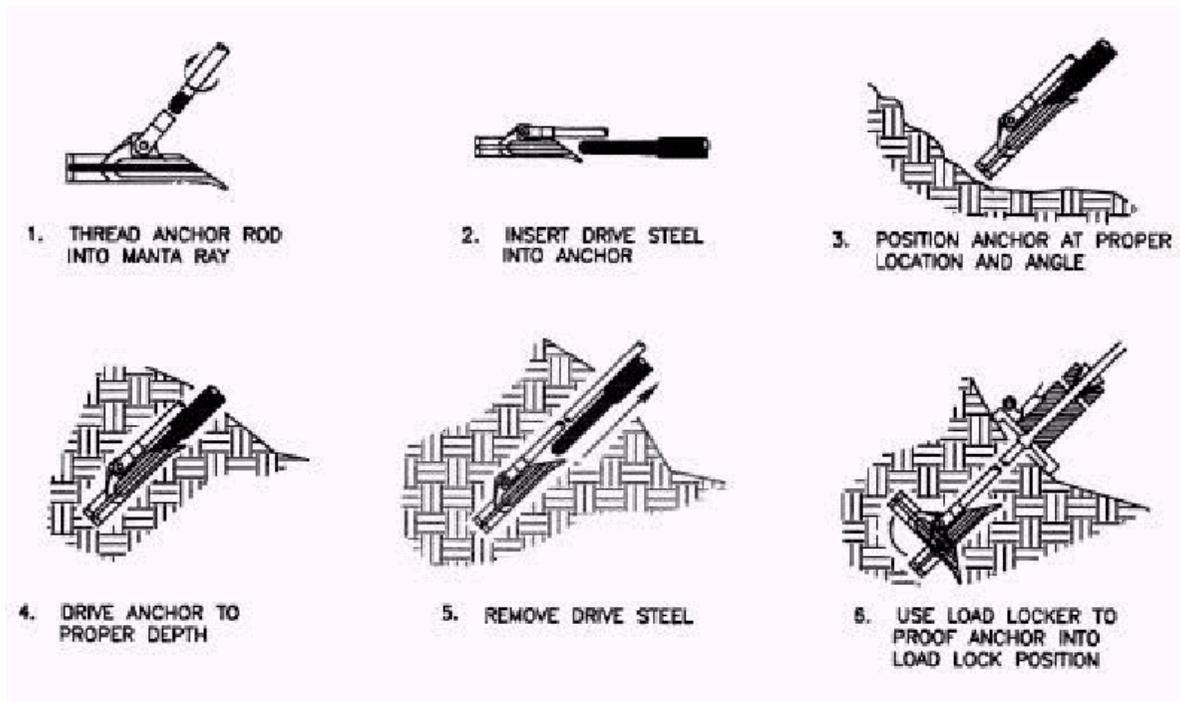
## Otros tipos: autoperforante



- La armadura es hueca → se usa como varillaje de perforación perdido.
- La ventaja es que no requiere revestir para después introducir el anclaje → Puede ser útil donde sea dificultosa la perforación por desprendimiento de las paredes.
- Pero, es caro. Además, perforar con lechada encarece aun más.

# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE.

## Otros tipos: “Manta-ray”



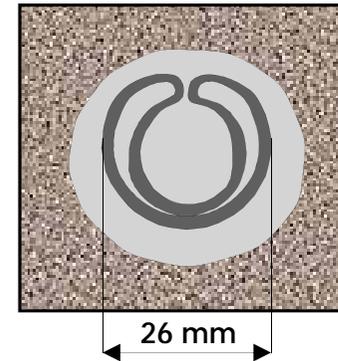
- Útil en suelos blandos.
- Se emplea en centroamérica

# TIPOS DE ANCLAJE. TIRANTE.

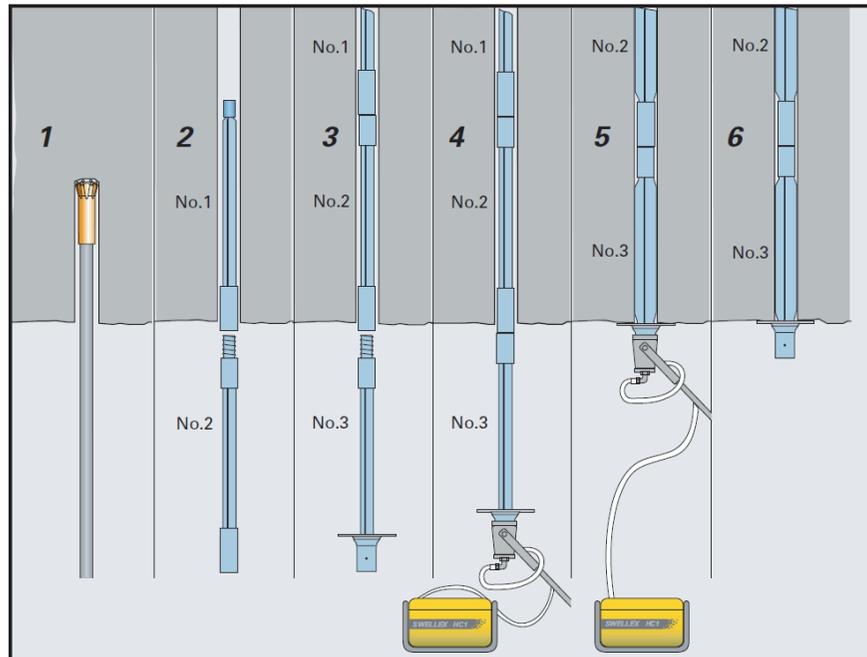
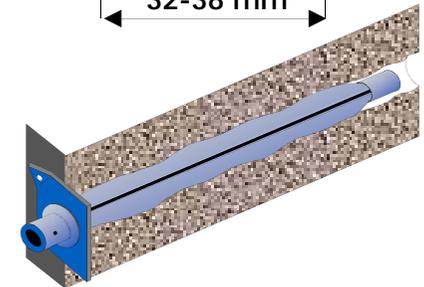
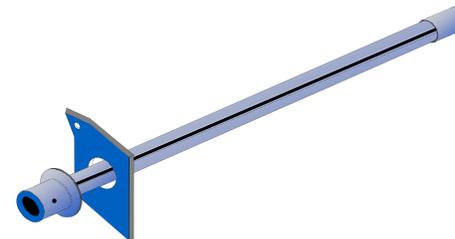
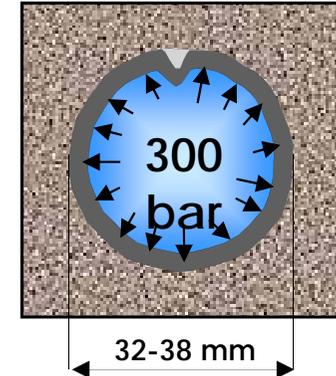
## Otros tipos: expansivos



Antes de hinchar



Expandido



- No necesitan inyección
- Trabajan de inmediato

⇒ Túneles

- Económicos
- Cargas de rotura de 12 a 24 t.

# TIPOS DE ANCLAJE. VIDA ÚTIL

## PROVISIONALES:

Vida de servicio limitada en el tiempo

Depende de las Normas: 9 meses , 2 años, durante la obra

## PERMANENTES:

Más allá del tiempo de los provisionales. Durante la vida útil de la obra.

Exigen mayores coeficientes de seguridad y mayores controles en general (cargas, movimientos, etc).

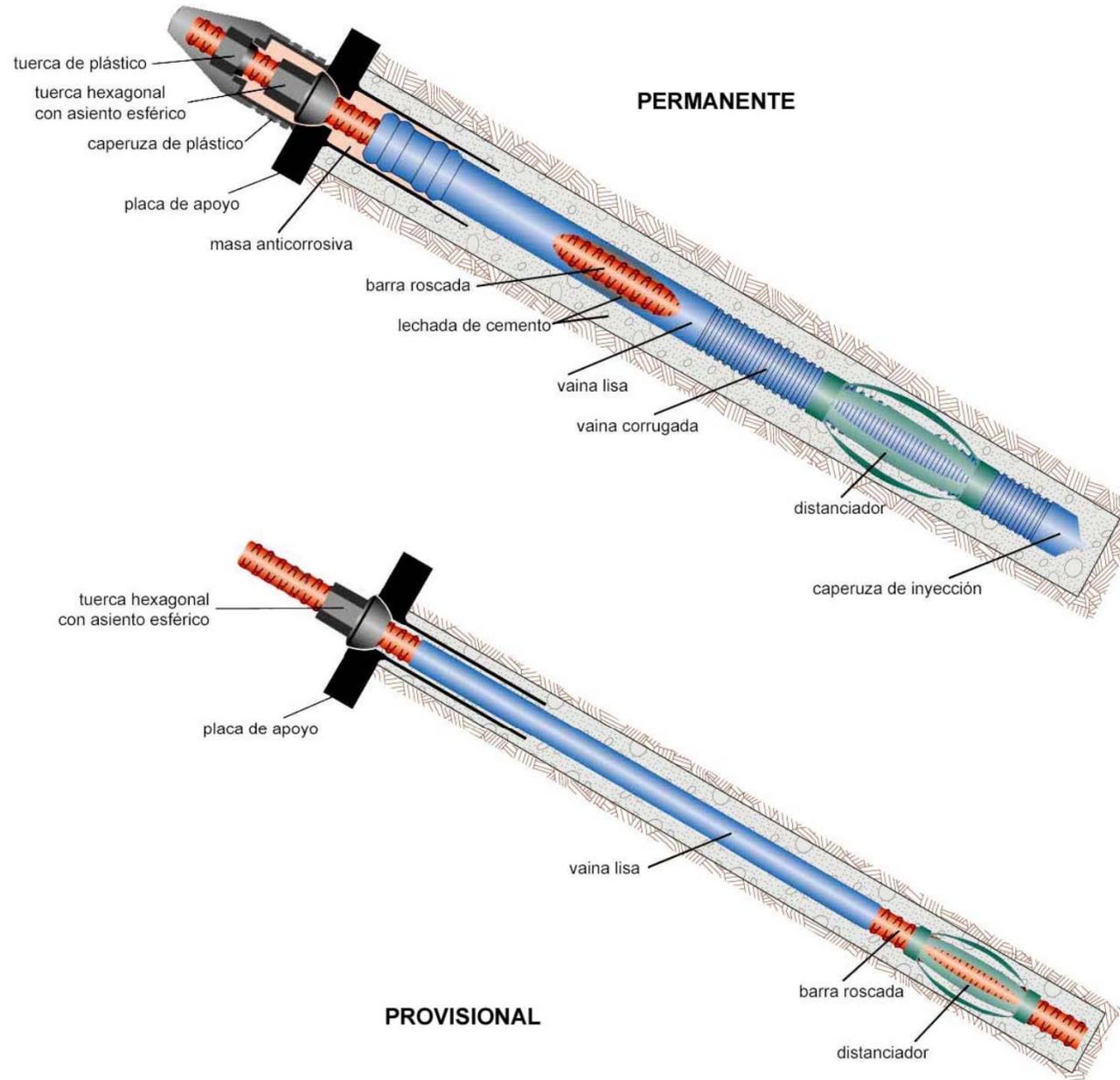
Exigen más protecciones contra el deterioro (corrosión)

(La Norma suiza SIA, indica que los anclajes permanentes han de cumplir una serie de requisitos, entre los que se cuenta su "replaceability". En este sentido prescribe que

*" la estructura se debe diseñar de forma que en cualquier momento sea posible reemplazar cualquier anclaje que falle con anclajes nuevos o implementar medidas equivalentes")*

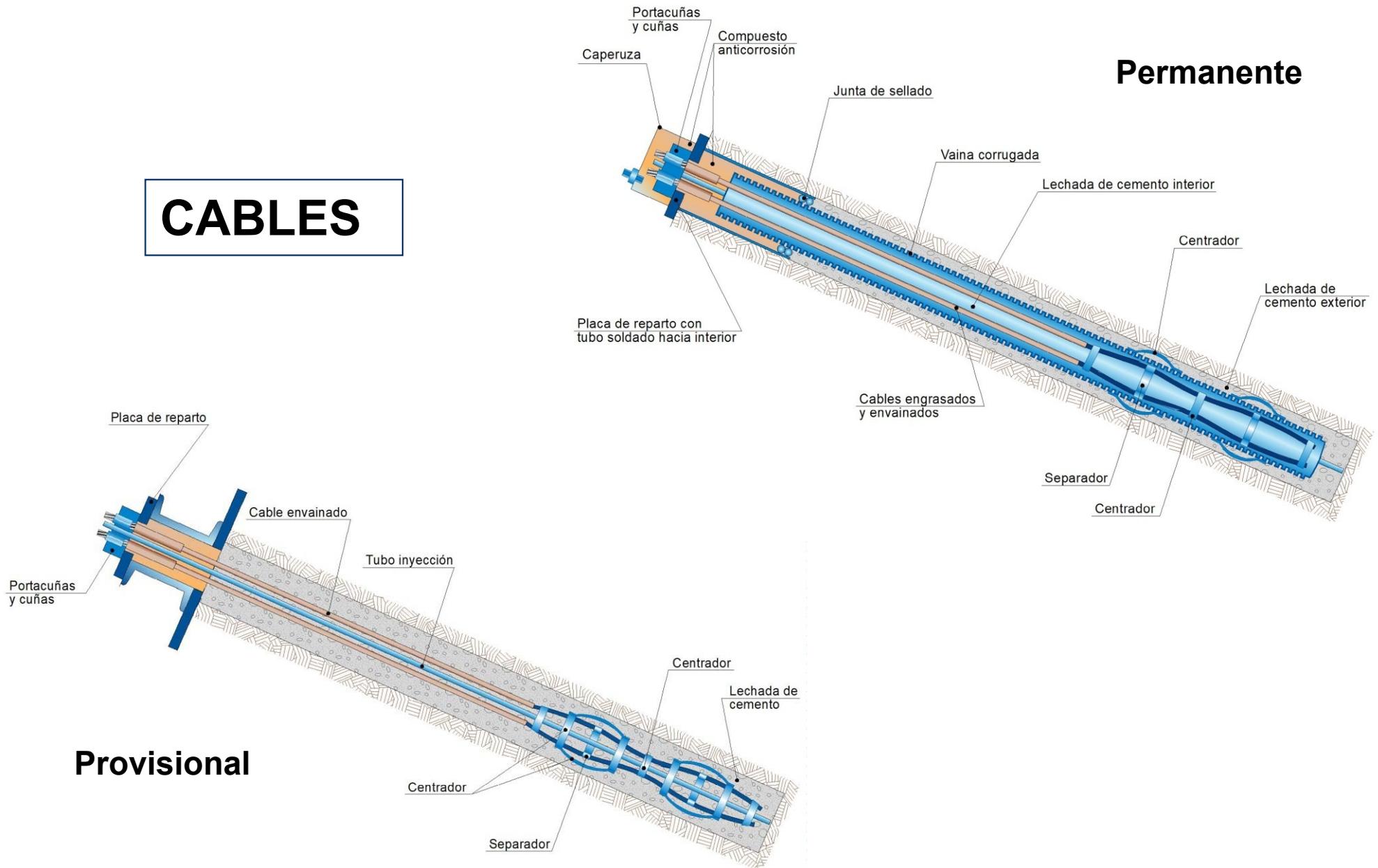
# TIPOS DE ANCLAJE. VIDA ÚTIL

## BARRAS



# TIPOS DE ANCLAJE. VIDA ÚTIL

## CABLES



## INYECCIÓN

**Anclajes con inyección única global (IU) ó (IGU):** Se realiza de una sola vez, rellenando el taladro a baja presión mediante un conducto que llega hasta el fondo.

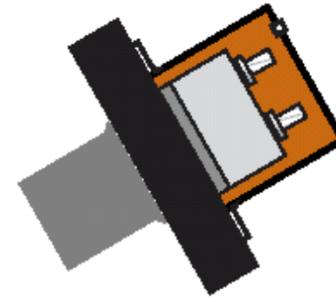
**Anclajes con inyección repetitiva (IR):** Se inyecta en varias fases y a través de varios puntos. Previamente se realiza una inyección IU.

**Anclajes con inyección repetitiva selectiva (IRS):** La inyección se ejecuta en varias fases y a través de varios puntos, pudiendo controlar en cada uno de ellos la presión y volumen alcanzados en cada fase de inyección. Previamente se realiza una inyección IU.

## Otros bulbos

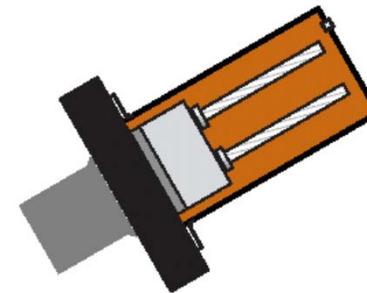
**Ej. Bulbo múltiple. Anclajes IU o IR con 4 a 6 tirantes de varios cables cada uno (2 ó 3). Cada tirante con longitud libre distinta para formar bulbos “en serie”, uno tras otro.**

## NO RETESABLE

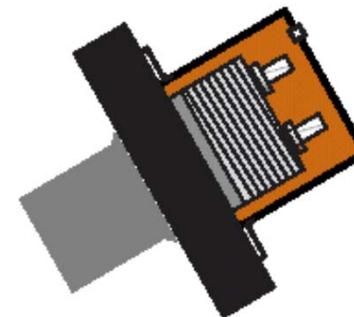


## RETESABLE DE “RABOS” LARGOS

En bulones, 5 cm para manguito de empalme  
En cables, 40 cm para acoplamiento del gato

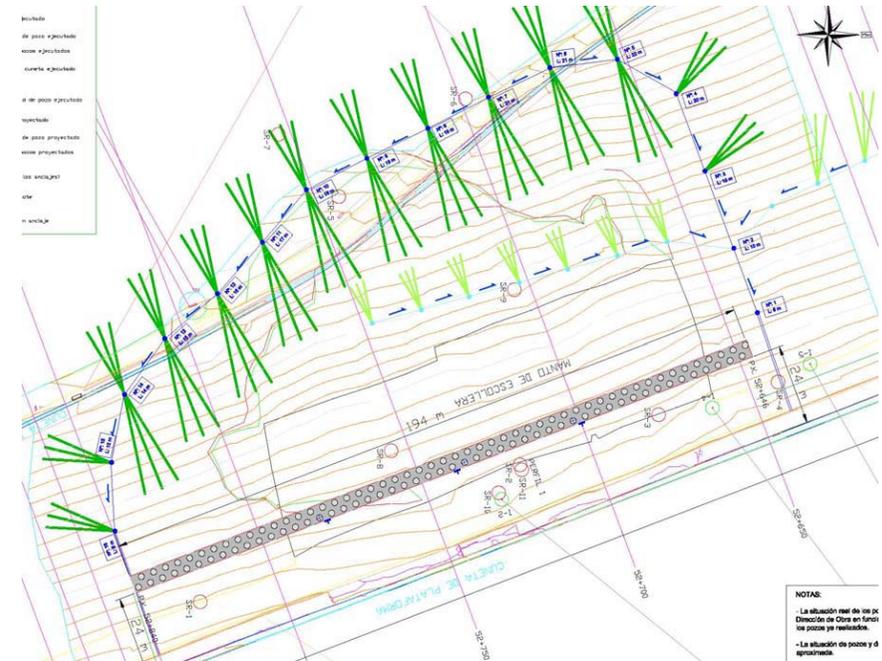
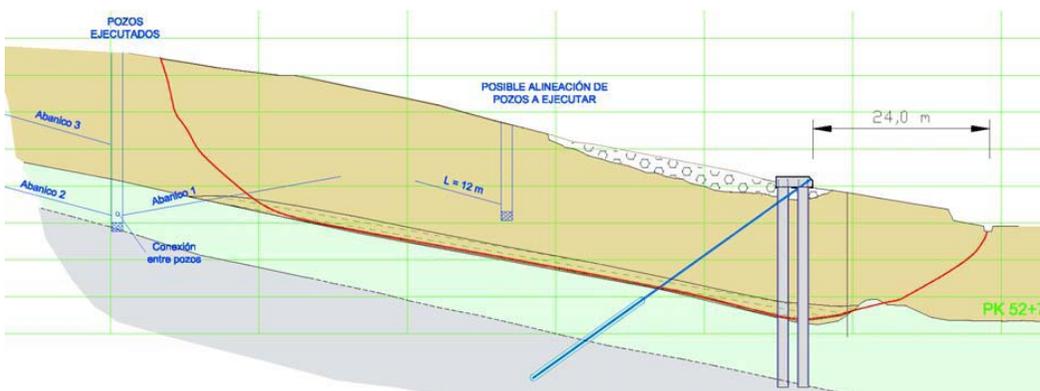
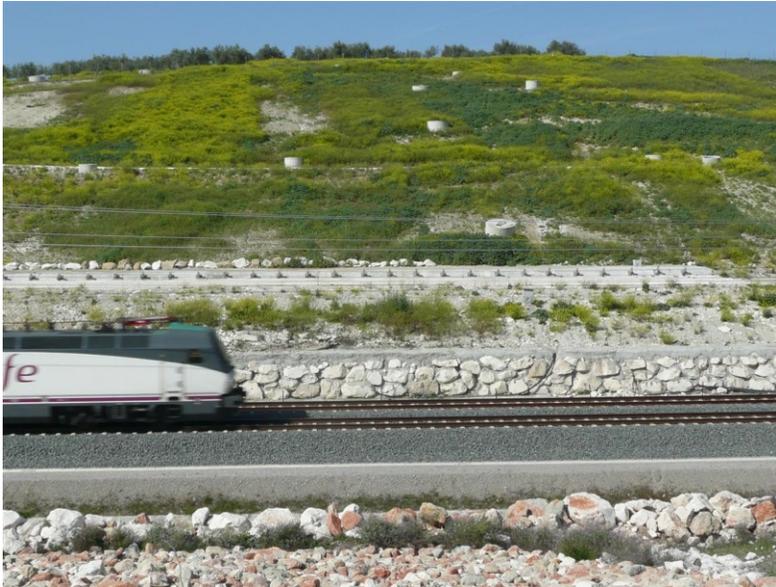


## RETESABLE CON CABEZA ESPECIAL



# TIPOS DE ANCLAJE. MODIFICACIÓN DE CARGA

## RETESABLE DE "RABOS" LARGOS



# TIPOS DE ANCLAJE. MODIFICACIÓN DE CARGA



# TIPOS DE ANCLAJE. MODIFICACIÓN DE CARGA

## RETESABLE CON CABEZA ESPECIAL



# EJECUCIÓN

- 1.- Fabricación del anclaje (montaje)
- 2.- Perforación
- 3.- Introducción del tirante
- 4.- Inyección
- 5.- Colación de cabeza y tesado
- 6.- Acabados

# EJECUCIÓN. FABRICACIÓN

- ❑ Cada fabricante posee sus elementos (vainas, centradores, separadores, etc)
- ❑ Los anclajes permanentes con doble protección se montan siempre en un taller especializado
- ❑ El resto puede montarse en obra, lo que permite modificar la longitud “sobre la marcha” (ya no es habitual).

**No es una fase crítica, pero se debe comprobar:**

- Existencia y correcto posicionamiento de centradores y separadores (manejo, envuelta de lechada (corrosión, adherencia en bulbo))
- Los conductos de inyección, si existen, deben llegar al final del anclaje
- Las uniones con manguitos (barras). Contratuercas para evitar el aflojamiento. Recubrimientos anticorrosión (termorretráctil)
- Vainas sin roturas por manipulación (corrosión)

La perforación de un anclaje presenta un gran número de variables.

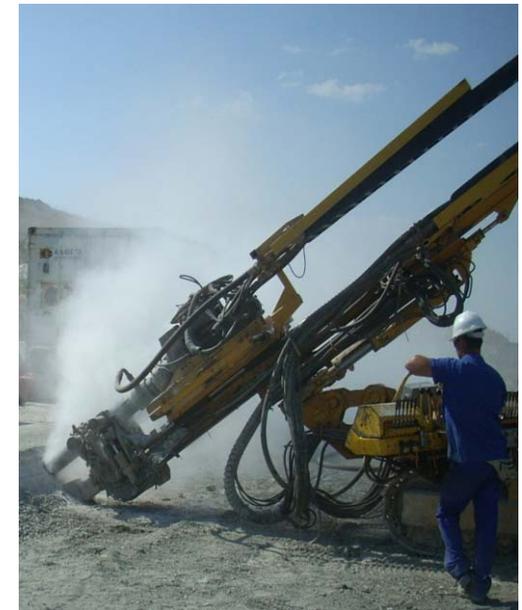
**Diámetros:** desde 68 mm para barras de 25 mm, hasta más de 200 mm para anclajes más complejos. “*Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras*”, D.G.C.).

## Sistemas de perforación (a destroza):

- Mediante rotación o rotopercusión. Adicionalmente, dentro del sistema de rotopercusión, la percusión puede ser en cabeza o en fondo.
- Con o sin revestimiento (estabilidad, deformación, “escape” de fluido)
- Con aire o agua como fluido de barrido (para eliminar el detritus)

## Otras variables:

- La velocidad de avance y de rotación
- La combinación de rotación y percusión, tanto para el revestimiento como para la maniobra interior
- La presión y caudal del fluido de barrido
- Las secuencias de barrido del taladro



## Sobre el fluido de perforación:

- El aire penetra más por los huecos intergranulares y las fisuras del terreno. Además, no está sometido a la gravedad, por lo que tiene más facilidad para ascender hacia la superficie, donde suelen situarse las cimentaciones próximas.
- El agua es menos penetrante, pero plantea el problema de introducir agua donde posiblemente antes no había, o no había en tanta cantidad. En general, la alteración de las paredes del taladro es mayor cuando se emplea agua
- El efecto nocivo del fluido empleado depende también del trabajo del maquinista, que puede actuar controlando la presión y el caudal, y evitando “tapones” durante la perforación, que hacen que el fluido en vez de retornar hacia la boca del taladro intente salir hacia el terreno.
- El empleo de aire no está recomendado en suelos en los que exista nivel freático, o suelos cohesivos “húmedos”, ya que su eficacia al barrer disminuye, la perforación queda menos limpia de detritus, y por tanto el bulbo puede tener menos adherencia.
- Ambos fluidos presentan inconvenientes al entorno de la obra (polvo y agua)

# EJECUCIÓN. PERFORACIÓN



# EJECUCIÓN. INTRODUCCIÓN DEL TIRANTE

- Tras la perforación y las maniobras de limpieza del taladro, se procede lo antes posible a la introducción del anclaje, que debe llegar sin problemas hasta su posición prevista.
- Los anclajes de barra se empalman a medida que se van introduciendo. Para los empalmes se emplean manguitos con contratuercas.
- Conviene mantener los anclajes limpios, evitando que se arrastren por el suelo al introducirlos.



# EJECUCIÓN. INYECCIÓN



## Funciones:

- Elemento de transferencia de carga entre el tirante y el terreno en la zona de bulbo.
- Barrera frente a la corrosión del tirante.

## Tiempo de ejecución:

- Lo antes posible para minimizar la alteración y decompresión de las paredes del terreno (FHWA < 8 a 12 horas tras la perforación).
- En realidad, el tiempo debería depender del tipo de terreno perforado.
  - En rocas, sin agua, hasta 24 horas (al día siguiente)
  - En suelos con agua o excesiva humedad, debería inyectarse cada anclaje antes de perforar el siguiente
  - En casos intermedios puede ser suficiente con inyectar al final de la jornada los anclajes perforados durante la misma

## Tipos de inyección.      ÚNICA GLOBAL (IU) Ó (IGU)

La inyección se hace de una sola vez. Sus características y detalles principales son los siguientes:

- La lechada se introduce siempre desde el fondo de la perforación. Al inyectar de “abajo a arriba”, la lechada desaloja tanto el agua como el detritus, e incluso puede arrastrar parte del que haya quedado en las paredes del taladro Si no se hace así, se corre el riesgo de que quede agua en el fondo el taladro, o bien se acumule más detritus.
- Siempre se inyecta toda la longitud del anclaje.
- El proceso de inyección suele acabar cuando la lechada sale por la boca del taladro con el mismo color y consistencia que la lechada inyectada, lo que sirve para controlar que el taladro se ha rellenado satisfactoriamente.
- A menudo se cree que con este procedimiento (inyección única IU), el bulbo se inyecta a presión, pero no es cierto.

## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA (IR)

Comienza con una inyección global tipo (IU) desde el fondo del taladro. A las pocas horas se vuelve a inyectar en varias fases y a través de varios puntos.

Dependiendo de los tubos “extra” de inyección con que se haya equipado al anclaje, se pueden distinguir a su vez dos variantes.

- Con varios tubos de inyección de varias longitudes, que se inyectan uno tras otro. Este método resulta muy sencillo y se puede implementar fácilmente en obra simplemente añadiendo a los anclajes acopiados conductos de polietileno adicionales, de unos 2 cm de diámetro.
- Con un único conducto de inyección, dotado de varias válvulas en la zona de bulbo. Al inyectar por el interior del conducto, las válvulas se abren de forma más o menos simultánea, en función de la resistencia que encuentre cada una.

# EJECUCIÓN. INYECCIÓN.

## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA IR



# EJECUCIÓN. INYECCIÓN

## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS

Permite inyectar en varias fases y a través de varios puntos, pero controlando la presión alcanzada y el volumen inyectado en cada una de ellos.

La técnica más extendida para estas inyecciones IRS consiste en emplear una tubería equipada con válvulas antirretorno (tubos-manguito), situadas en general cada metro de longitud.



Anclajes y bulones



## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS

Por el interior de la tubería se introduce un varillaje o conducto de inyección dotado de un obturador doble en su extremo, que permite aislar una determinada válvula antirretorno o manguito, e inyectar a presión de forma localizada a través de la misma. Al recibir la lechada a presión, el manguito se dilata y deja salir la lechada de forma localizada. Cuando finaliza la operación, el manguito vuelve a cerrarse e impide el retorno de la lechada



Obturador deshinchado



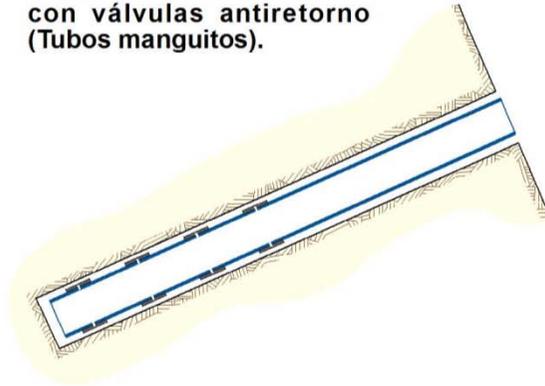
Obturador hinchado (posición de inyección)

# EJECUCIÓN. INYECCIÓN

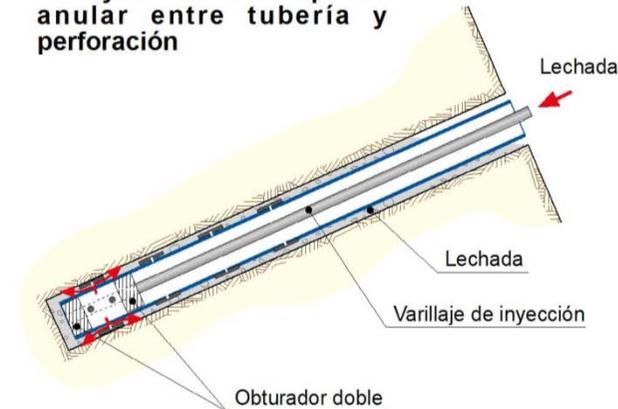
## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS

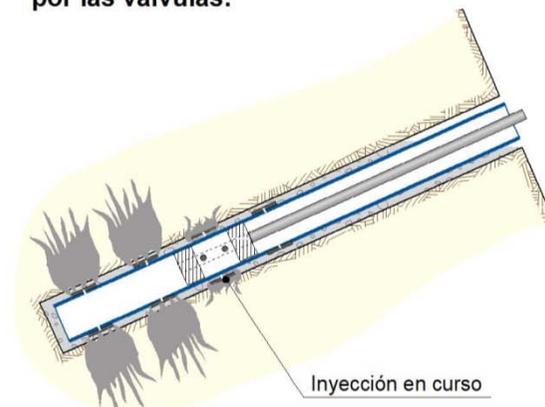
1. Introducción de la tubería con válvulas antirretorno (Tubos manguitos).



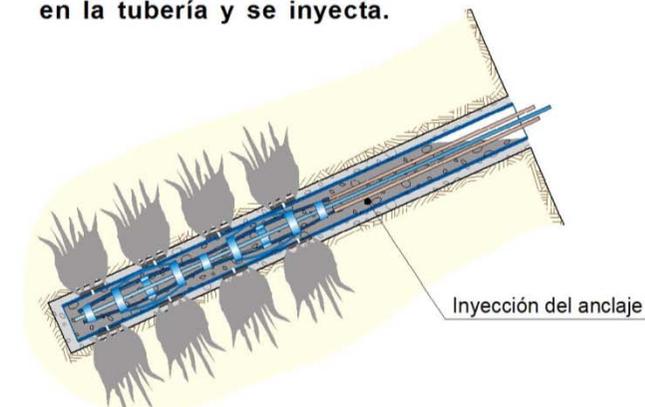
2. Inyección del espesor anular entre tubería y perforación



3. Inyecciones repetitivas por las válvulas.



4. Finalizada la inyección del terreno se introduce el anclaje en la tubería y se inyecta.

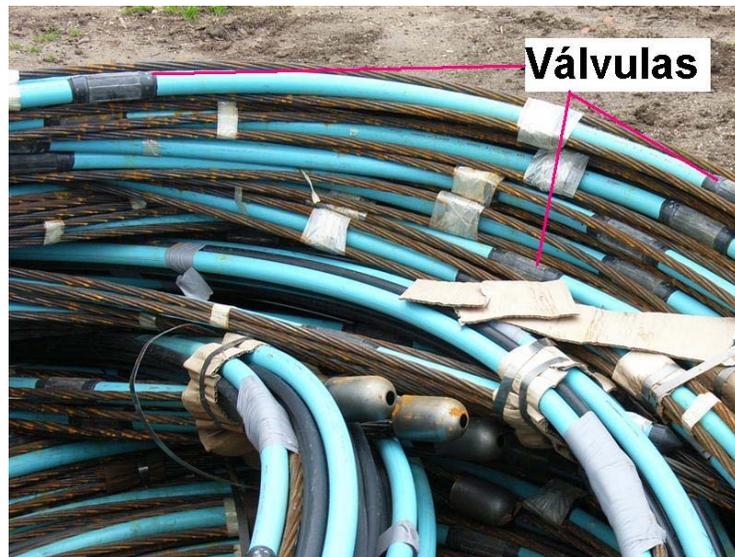


# EJECUCIÓN. INYECCIÓN

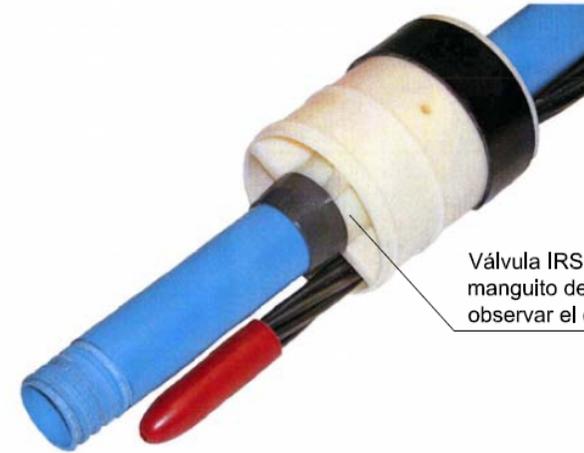
## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS

**Tubo flexible** para inyección IRS.  
**Anclajes provisionales**



**Válvula antirretorno. Anclaje permanente.**  
**INYECCIÓN IRS. TUBERÍA FLEXIBLE.**



# EJECUCIÓN. INYECCIÓN

Tipos de inyección.

INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS



**Obturador doble de membrana para inyección IRS por el interior de tuberías de pequeño diámetro. Salida de lechada en tramo en espiral**

## Tipos de inyección.

## INYECCIÓN REPETITIVA SELECTIVA IRS

**Se puede repetir las veces que sea preciso, dando lugar a un bulbo de inyección de gran calidad**

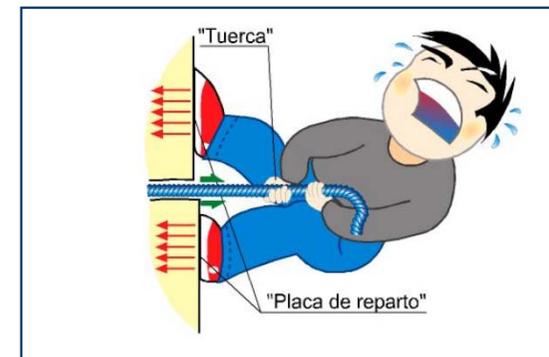
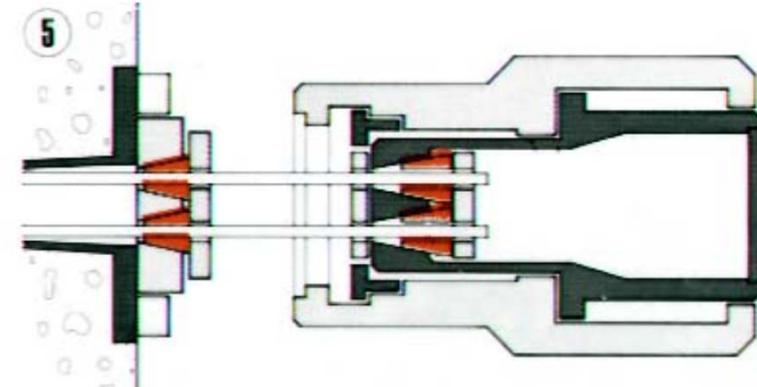
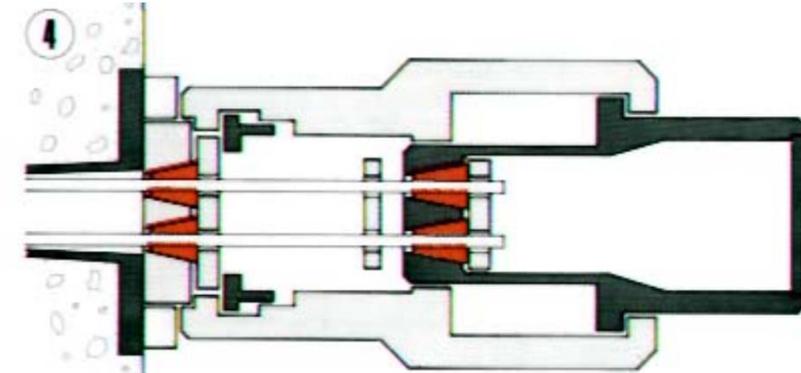
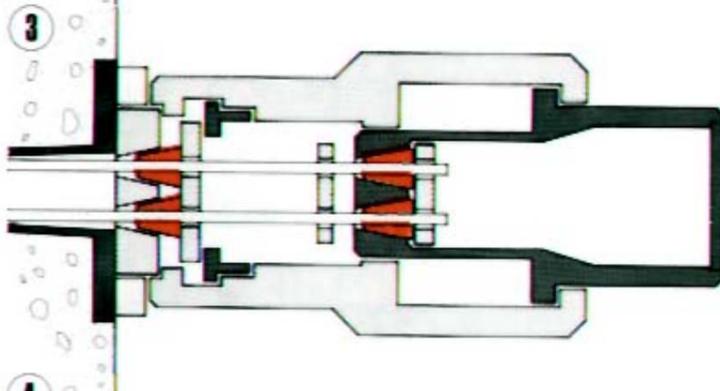
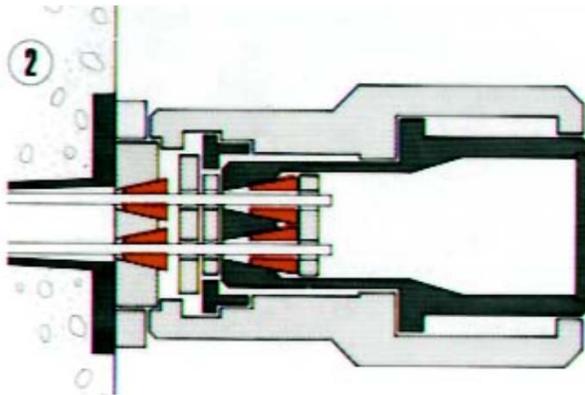
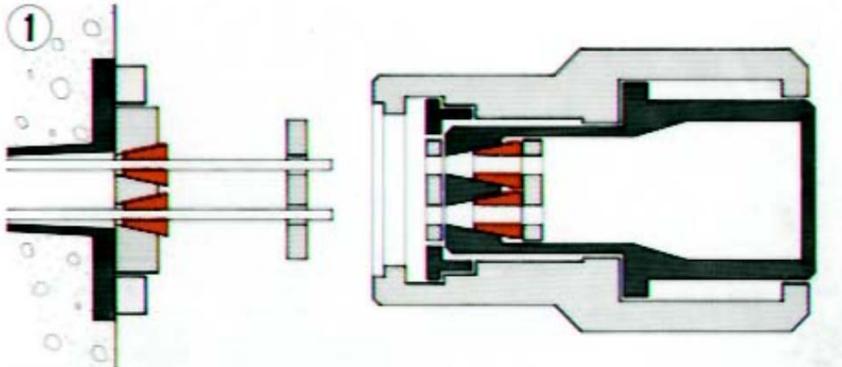
**Finaliza cuando se alcanza presión suficiente en cada válvula, limitándose también el volumen en cada válvula por cada fase de inyección. El número de fases de inyección suele ser de al menos dos.**

**El volumen que se inyecta en cada fase no suele ser superior a unos 50 litros por cada válvula. Las presiones de cierre a alcanzar tras la última fase son siempre mayores de 1 MPa.**

- **Relación a/c entre 0.4 y 0.6 (0.4 para sellado entre la armadura y las vainas anticorrosión). Es necesario el uso de aditivos.**
- **La importancia de conseguir lechadas tan espesas radica en la protección frente a la corrosión.**
- **Pueden emplearse también morteros, que pueden ser útiles para evitar pérdidas de lechada en los taladros.**
- **Las lechadas para las reinyecciones en los métodos (IR) e (IRS) son más fluidas. Para ellas se emplean dosificaciones a/c del orden de 1.**
- **Salvo en bulbos muy cortos en rocas duras, el fallo del bulbo se producirá por el terreno, y no por la lechada, por lo que en este sentido la resistencia de la lechada no es decisiva.**
- **Fraguado de 3 a 7 días.**

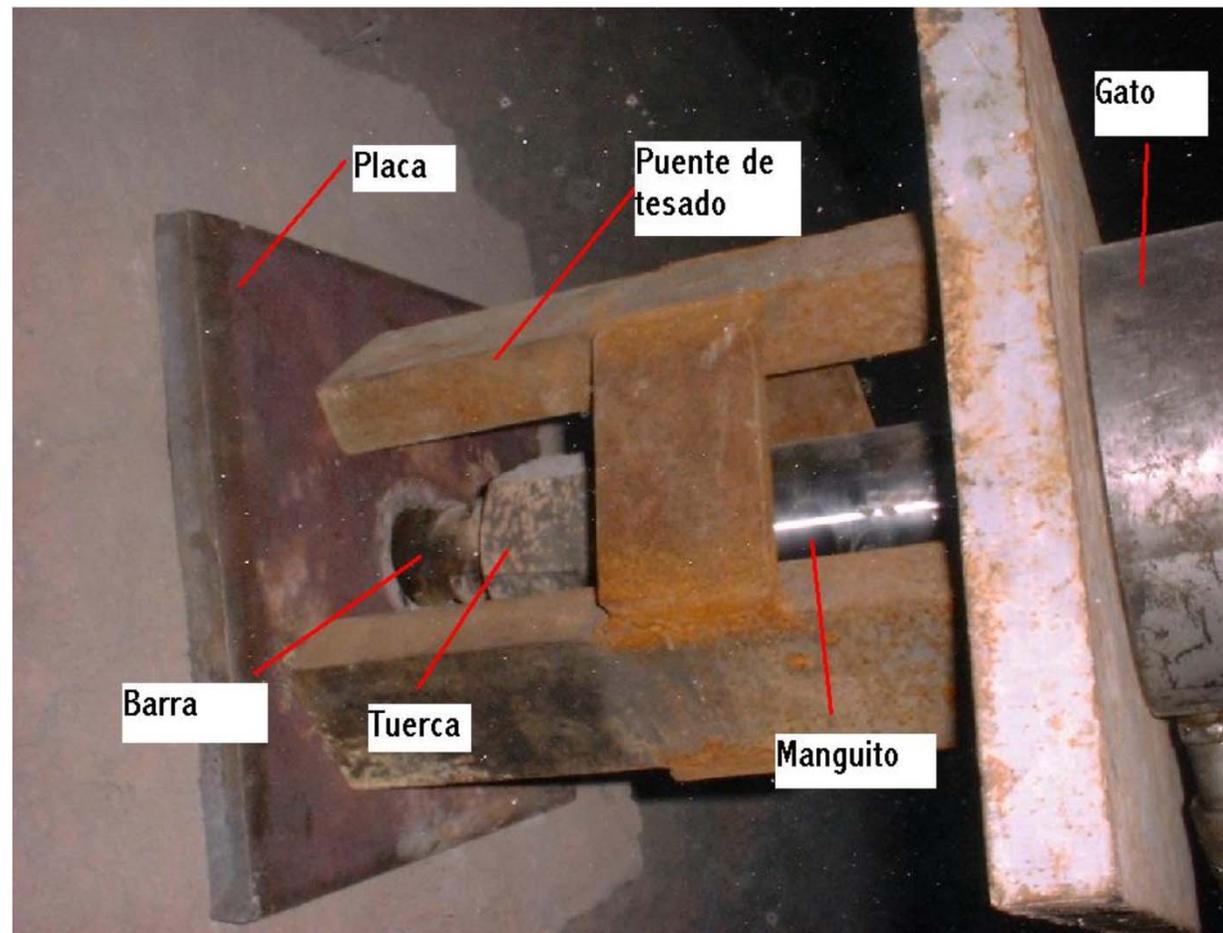
# EJECUCIÓN. CABEZA Y TESADO.

## CABLES



## BARRAS

- En los anclajes de barra pasivos se aprieta con una llave la tuerca contra la placa, de forma que la armadura quede tensa desde el primer momento.



## MULTIBULBO

- En los anclajes de bulbo múltiple cada gato tesa un tirante (de tres cables en la foto)

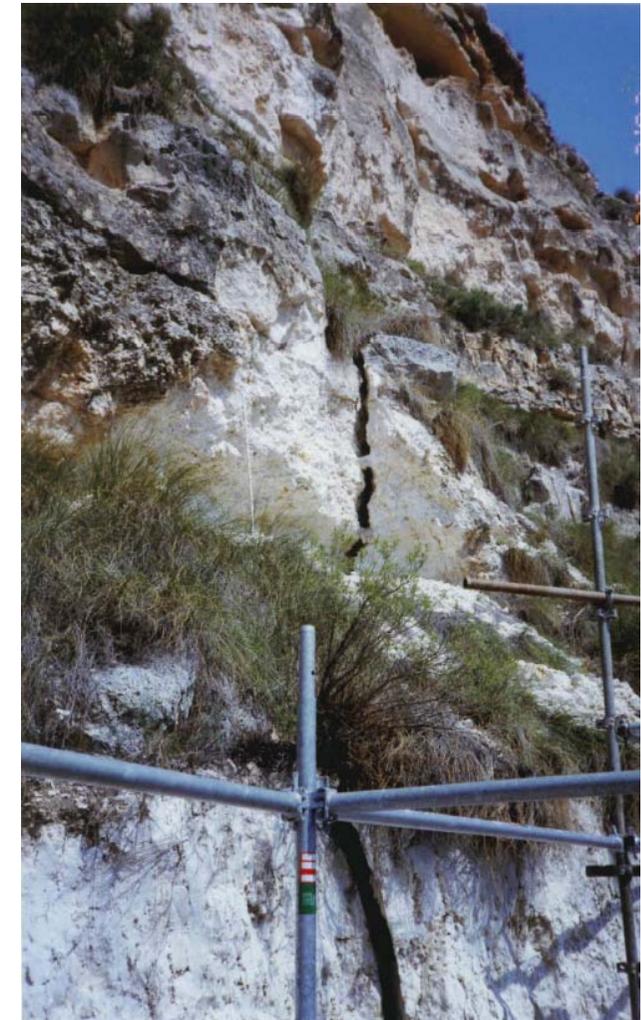


# EJECUCIÓN. Acabados.

- Corte de rabos si es preciso
- En anclajes permanentes, relleno con lechada o con un producto anticorrosivo de la parte de taladro que pudiera quedar hueca bajo el apoyo de la placa.
- Colocación de la caperuza de protección y sus elementos
- Relleno de la caperuza con algún producto anticorrosión.



# EJECUCIÓN. Condiciones especiales de ejecución



# EJECUCIÓN. Condiciones especiales de ejecución



- Corte de rabos si es preciso
- En anclajes permanentes, relleno con lechada o con un producto anticorrosivo de la parte de taladro que pudiera quedar hueca bajo el apoyo de la placa.
- Colocación de la caperuza de protección y sus elementos
- Relleno de la caperuza con algún producto anticorrosión.

**Una vez determinadas las cargas de anclaje necesarias, las variables a definir son al menos las siguientes (dependientes unas de otras):**

- 1.- Inclinación y separación entre anclajes. Estructura de reparto.
- 2.- Tipo de anclaje
- 3.- Material y sección del tirante
- 4.- Longitud y diámetro del bulbo
- 5.- Longitud libre
- 6.- Otros (condiciones de perforación)

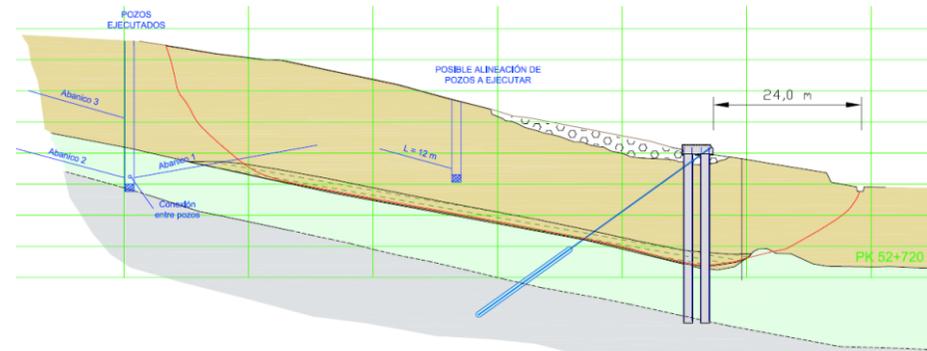
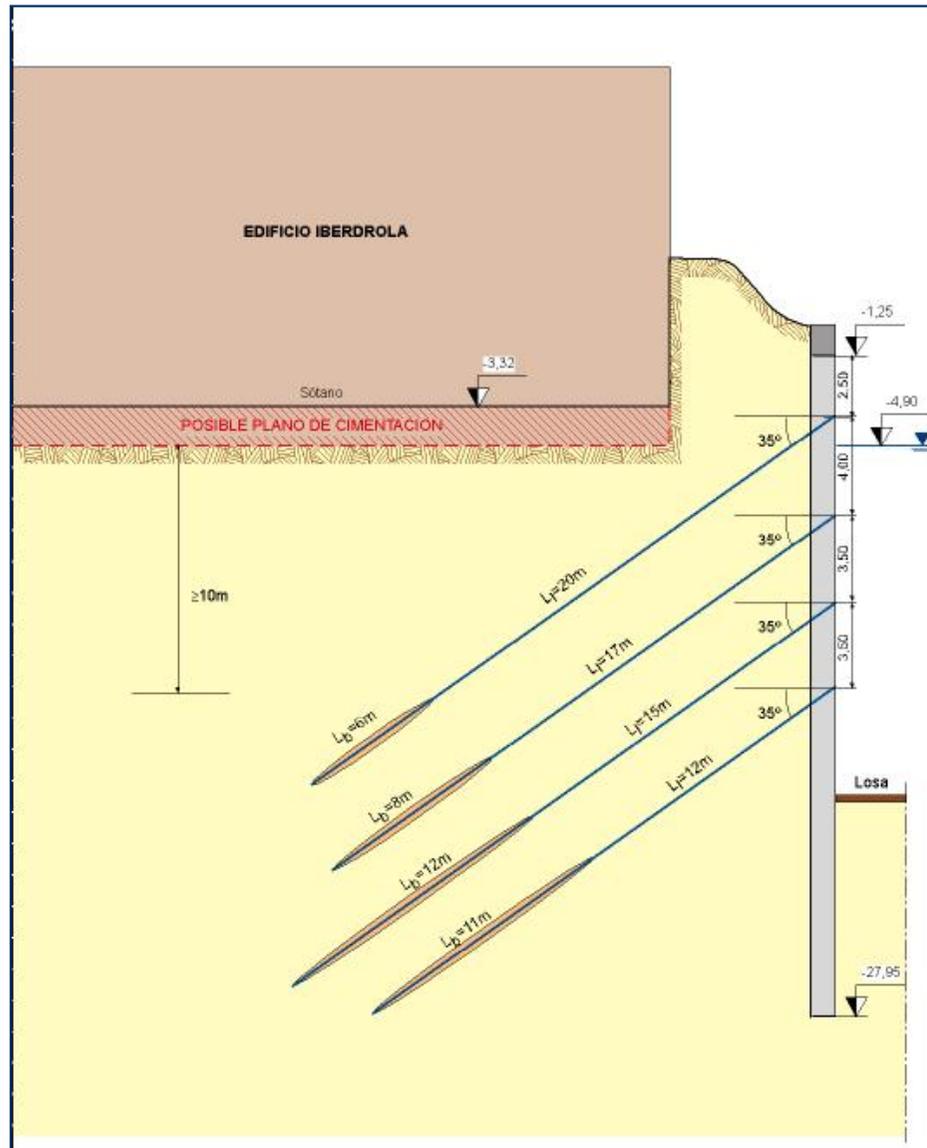
## Habitualmente descendente para:

- Alcanzar niveles de terreno más profundos, normalmente más resistentes, suficientemente alejados de la estructura y del volumen de terreno a contener, para alojar el bulbo en ellos con la menor longitud de anclaje posible.
- Facilitar el proceso de inyección, evitando la necesidad de obturar la boca del taladro y colocar tubos de salida del aire.
- Alejar la perforación de cimentaciones o estructuras enterradas cercanas.

## La inclinación depende de cada problema (pantallas, taludes, subpresión, etc).

- Para taludes y estructuras de contención, 15 a 35°
- A partir de 45°, poco aprovechamiento de la fuerza horizontal en el caso de pantallas

# DISEÑO. Inclinación.



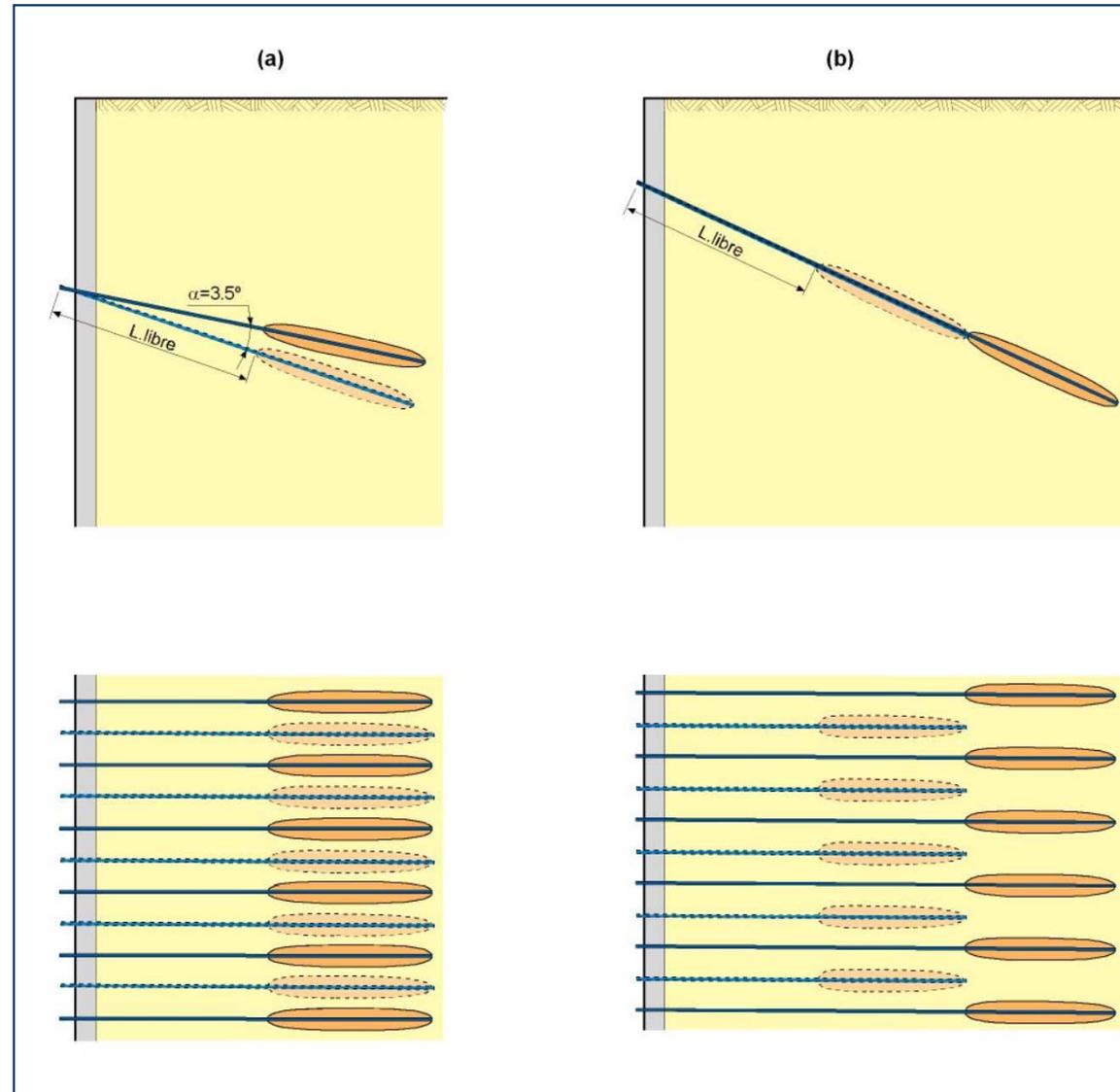
## Separaciones máximas. Se debe considerar que:

- Al aumentar la separación disminuye el número total de anclajes necesarios, pero aumenta la carga de trabajo de cada uno de ellos (y su armadura, longitud de bulbo, etc).
- Cuanto más separados se dispongan los anclajes, mayor será la concentración de cargas en la estructura de reparto o en la superficie del talud.
- En taludes, condiciones de estabilidad de posibles superficies de rotura que puedan desarrollarse entre alineaciones de anclajes.

## Separaciones mínimas:

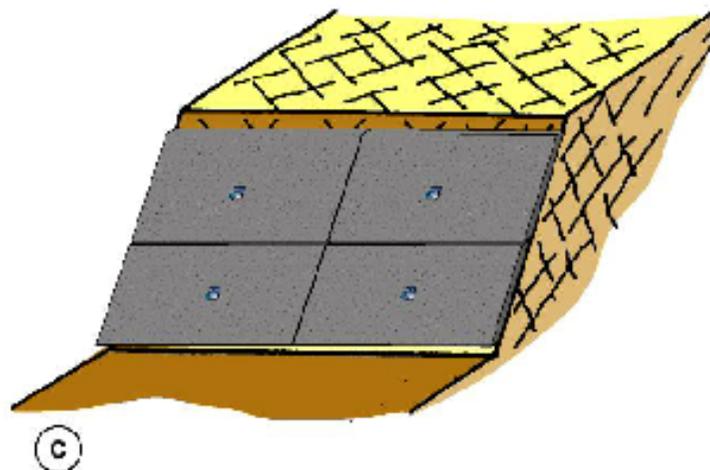
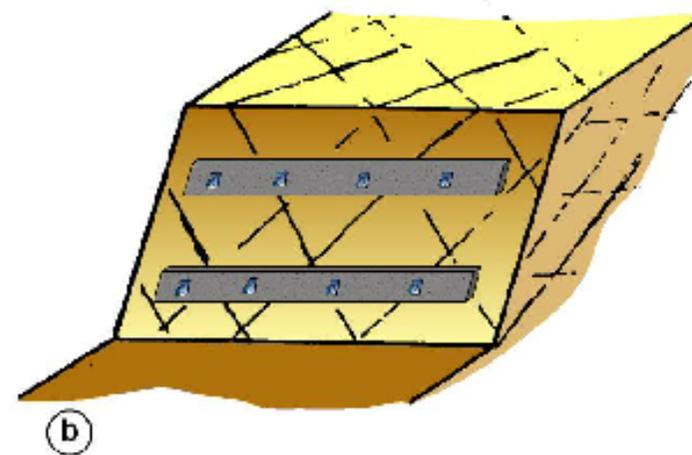
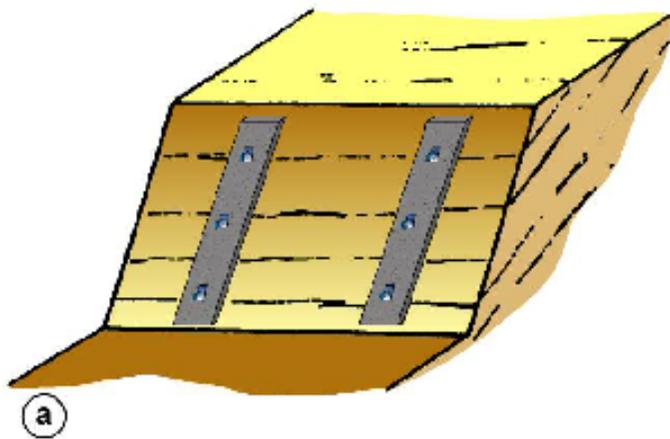
- Por eventual interacción entre bulbos: 1,5 a 2 m (1 m en BSI)
- Aumentar separación con anclajes largos (desvío)
- Aumentar separación con inyección IRS
- Alternativamente, disponer cambios de longitud libre o inclinación

## Modificaciones geométricas para distanciar bulbos



# DISEÑO. ESTRUCTURAS DE REPARTO.

Muchas posibilidades en función del tipo de terreno, carga de anclaje, separación, proceso constructivo, etc.



# DISEÑO. Estructuras de reparto.



URIEL & ASOCIADOS  
S.A. DE INGENIERIA GEOTECNICA



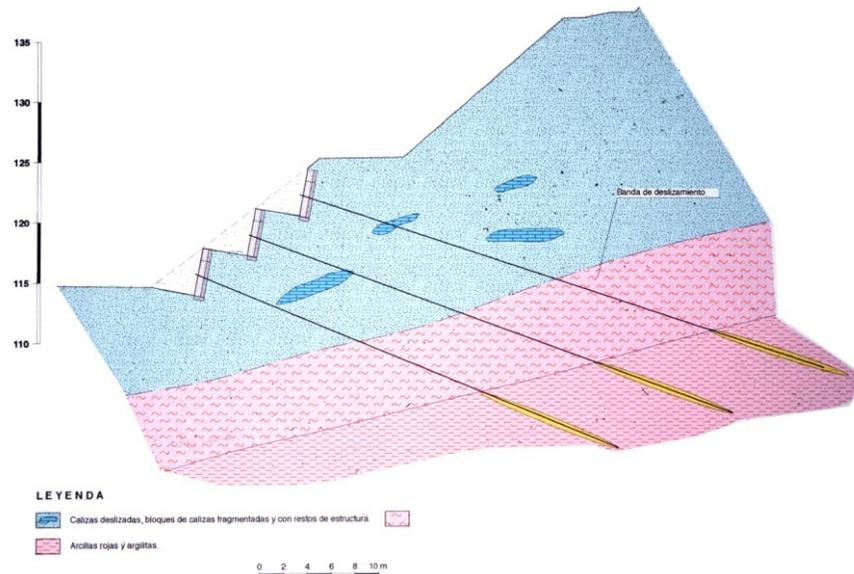
# DISEÑO. ESTRUCTURAS DE REPARTO.



# DISEÑO. ESTRUCTURAS DE REPARTO.



# DISEÑO. ESTRUCTURAS DE REPARTO.



# DISEÑO. Estructuras de reparto.



# DISEÑO. Estructuras de reparto.



## Método tradicional:

- En anclajes provisionales,  $F_w < 0,75 f_{yk}$  (Factor de seguridad de 1.33)
- En anclajes permanentes,  $F_w < 0,60 f_{yk}$  (Factor de seguridad de 1.66)

## En la actualidad

- Coeficientes de seguridad parciales, mayorando la acciones y minorando la resistencia de los materiales. Permite considerar vida útil, importancia de la obra, consecuencias de un fallo, etc).
- D.G.C: 1,33 y 1,72 (provisionales y permanentes)
- H.P.p-96; 1,4 a 1,8 y 1,6 a 2.0

# DISEÑO. CARGA EN TIRANTE

**TABLA 3: Cargas en servicio para algunas barras habituales  
(expresadas en kN)**

Diámetro (mm)	Acero convencional (500/550)		Acero tipo 900/1030	
	Provisional	Permanente	Provisional	Permanente
25	184	142		
26.5			372	288
32	302	233	543	420
36			687	531
40	471	364		
50	737	570		

# DISEÑO. CARGA EN TIRANTE

**TABLA 4: Cargas en servicio para anclajes de cable (expresadas en kN)**

nº de cables	Provisional	Permanente
2	344	266
3	515	398
4	687	531
5	859	664
6	1031	797
7	1202	930
8	1374	1063
9	1546	1195
10	1718	1328
11	1889	1461
12	2061	1594

NOTA: Cables tipo 1860 S7 15.20 (0.6 pulgadas)

## TIPO DE ARMADURA

### **Barras:**

- Anclajes activos y pasivos: (mayor rigidez axial y transversal)
- Menor carga que con cables .
- Ejecución algo más sencilla
- Para cargas discretas (<500 kN) y longitudes cortas, quizás más económicas.

### **Cables:**

- Siempre activos.
- Admiten grandes cargas de diseño

## SISTEMA DE INYECCIÓN

### Función del tipo de terreno y de la carga requerida

- Las (IR) o (IRS) mejoran la adherencia del bulbo:
  - Suelos de bajas características geotécnicas
  - Grandes cargas que den lugar a bulbos IU “excesivamente largos”.
  - Incertidumbre de que IU rellene la zona de bulbo en toda su longitud (suelos granulares flojos, rocas con fracturas abiertas u oquedades). Para estos casos suele ser suficiente emplear el método de inyección repetitiva (IR).
- La mejora con inyecciones repetitivas en suelos duros o densos puede ser reducida.

## CÁLCULO

**1.- Se supone una tensión tangencial última uniforme en el contacto bulbo-terreno.**  $P_{Nd} / (\pi D_N L_b) \leq a_{adm}$

$P_{Nd}$  : Carga nominal mayorada

$D_N$  : Diámetro nominal o de perforación del bulbo

$L_b$  : Longitud del bulbo

$a_{adm}$  : Adherencia o tensión de transferencia admisible en el contacto lechada-terreno.

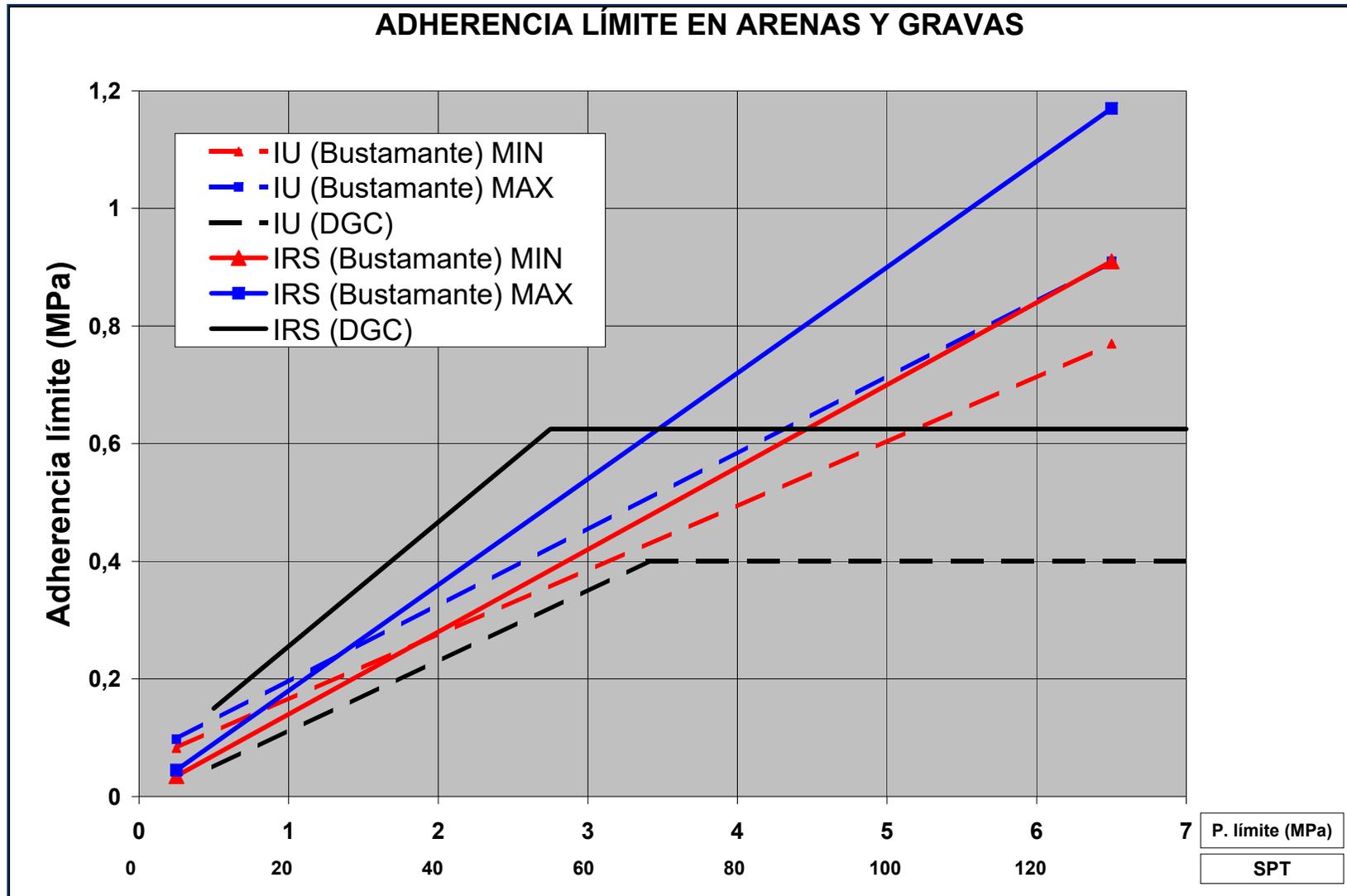
**2.- Se selecciona un diámetro de bulbo en donde se pueda alojar la armadura.** (no necesariamente igual a diámetro de perforación inicial)

**3.- Se determina o se estima la adherencia última:**

- Ensayos de investigación\*\*\*\*
- Estimación bibliográfica en función del tipo y resistencia del terreno\* (tablas y ábacos).
- Estimación “teórica” a partir de parámetros de resistencia básicos

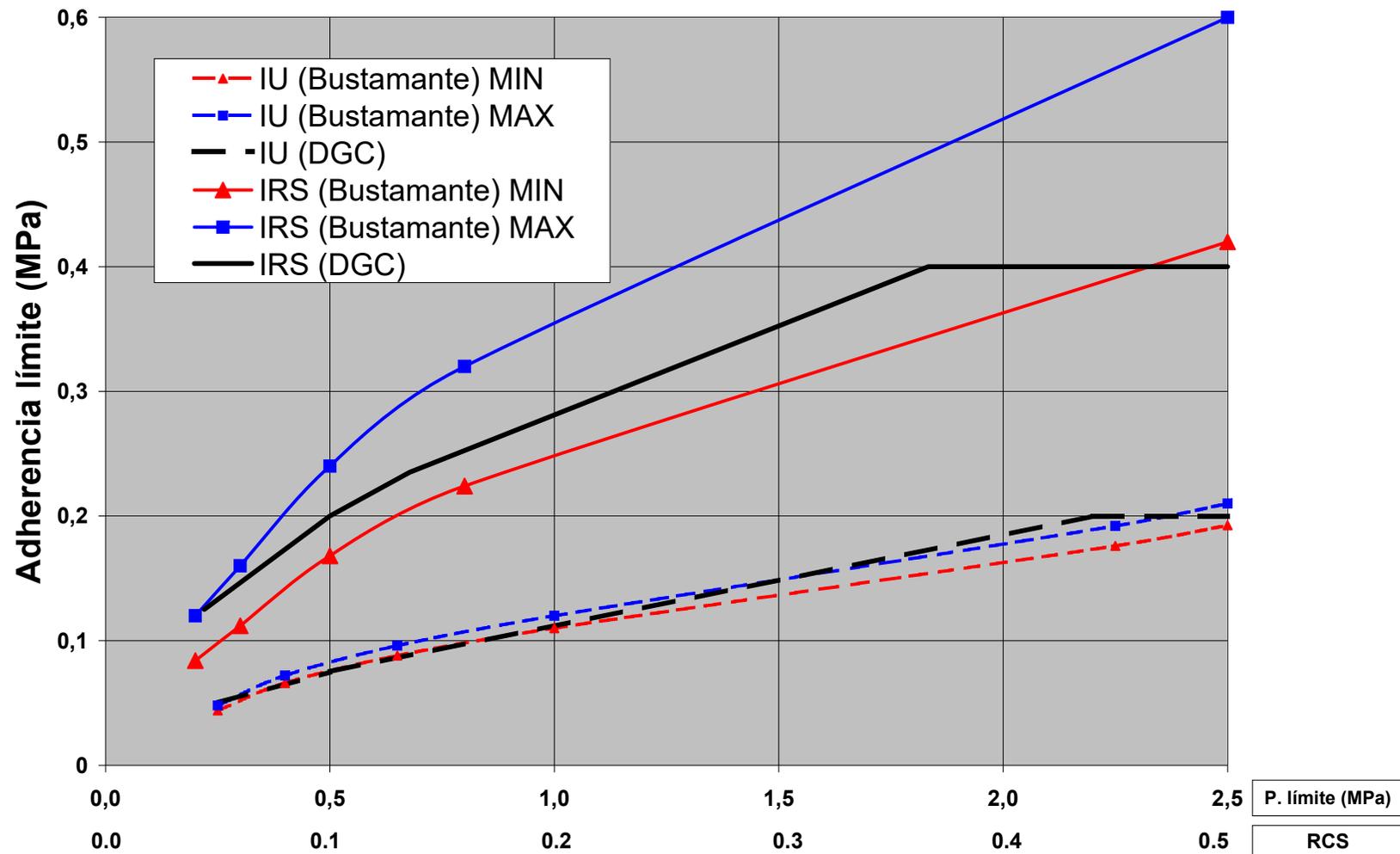
# DISEÑO. LONGITUD Y DIÁMETRO DE BULBO

## CÁLCULO



## CÁLCULO

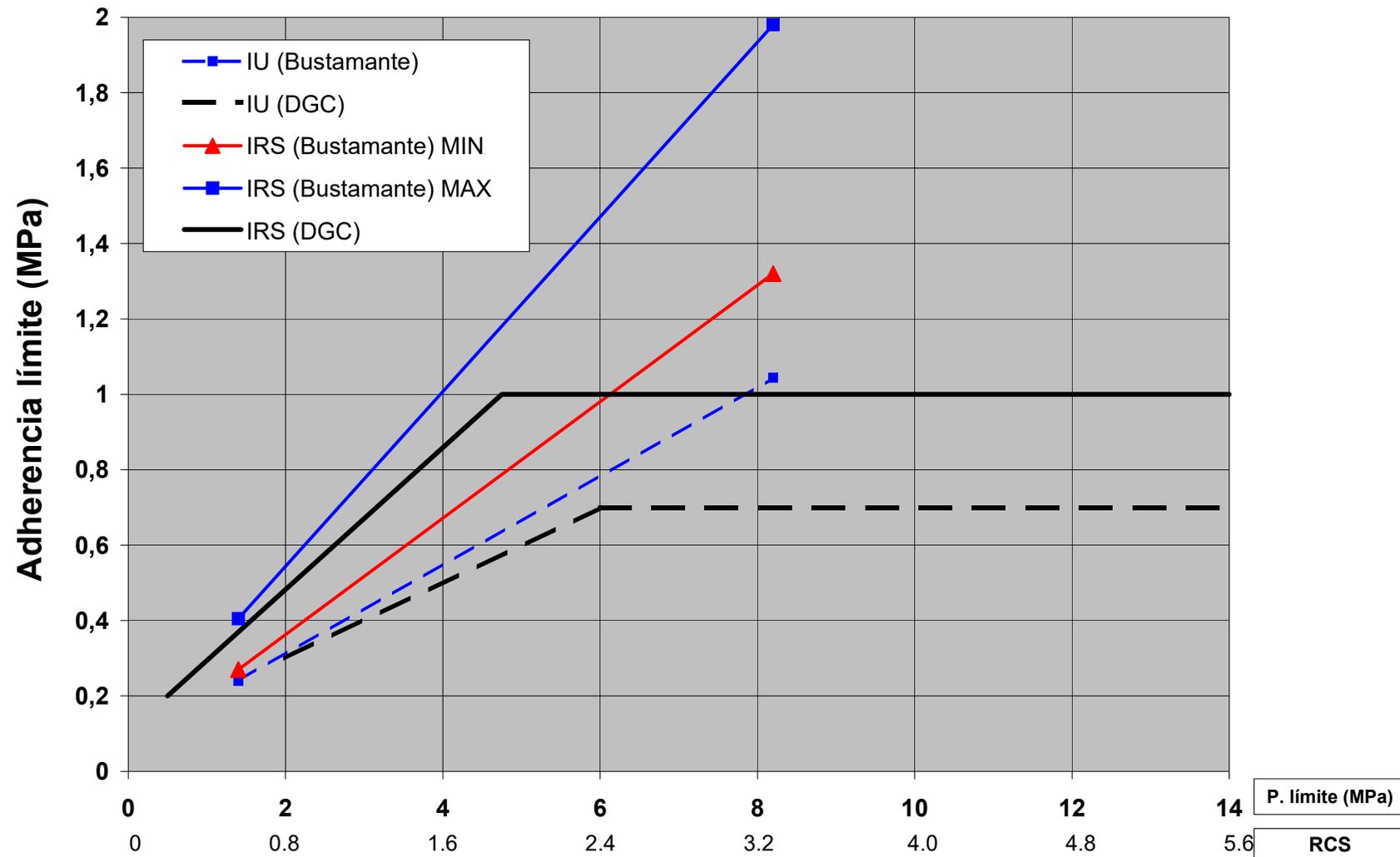
### ADHERENCIA LÍMITE EN ARCILLAS Y LIMOS



# DISEÑO. LONGITUD Y DIÁMETRO DE BULBO

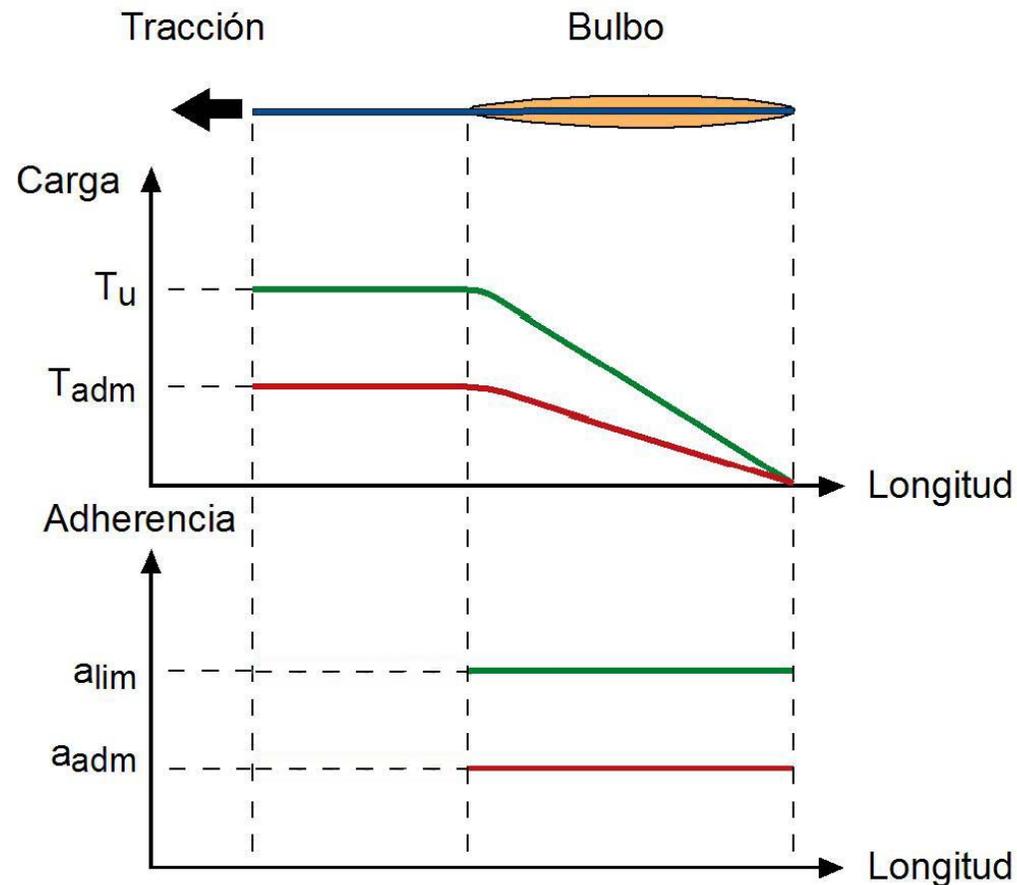
## CÁLCULO

### ADHERENCIA LÍMITE EN ROCA ALTERADA (GRADO IV O V)



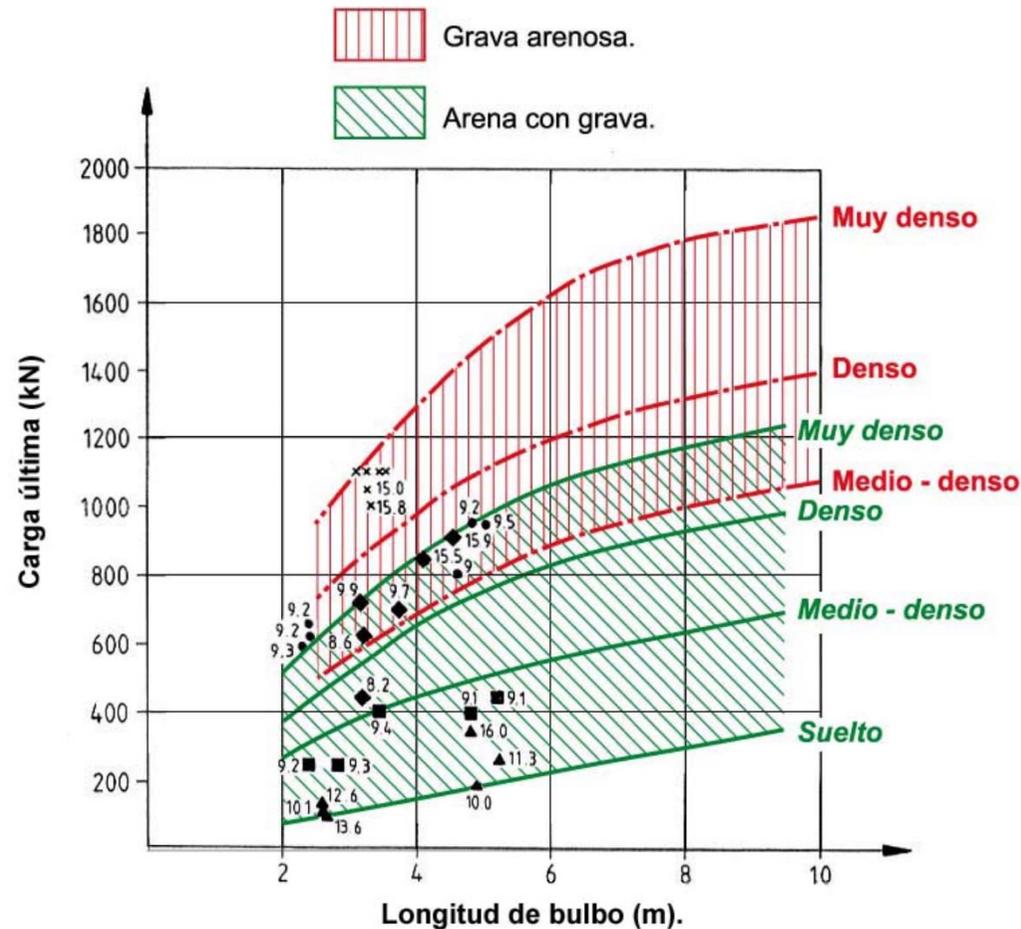
## Sobre la uniformidad de la adherencia y la longitud de bulbo

**Hipótesis de uniformidad**



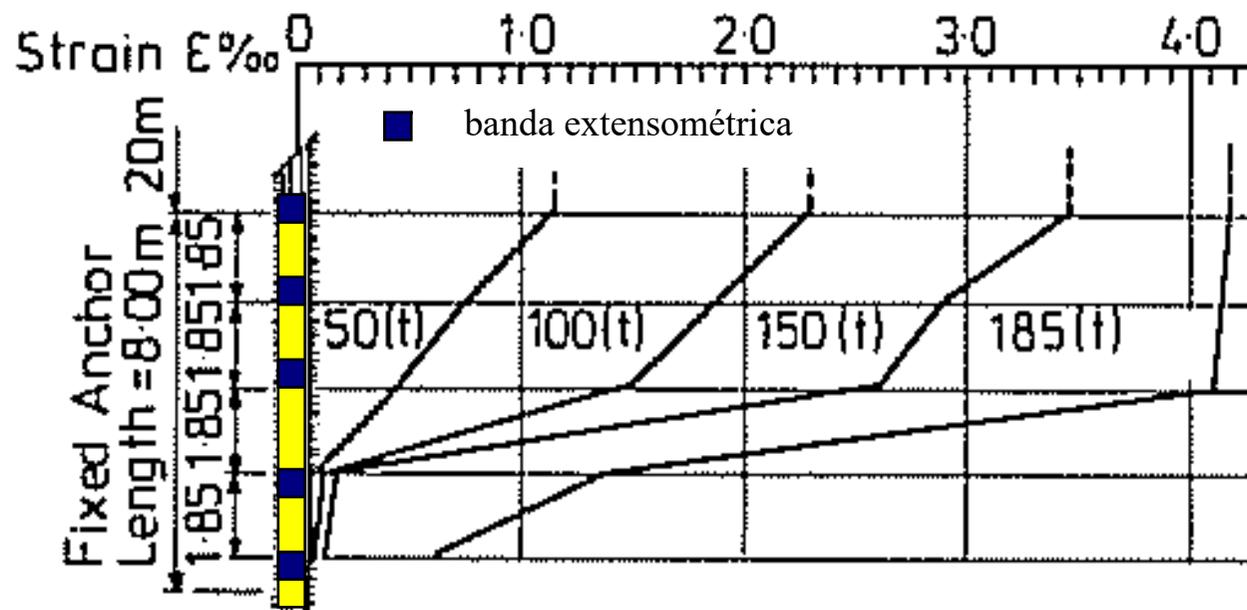
# DISEÑO. LONGITUD Y DIÁMETRO DE BULBO

Ostermayer: Limita los bulbos “razonablemente económicos” a 7 m



Bustamante: No observa caídas de adherencia en sus pruebas reales con bulbos de hasta 18 m.

# DISEÑO. LONGITUD Y DIÁMETRO DE BULBO

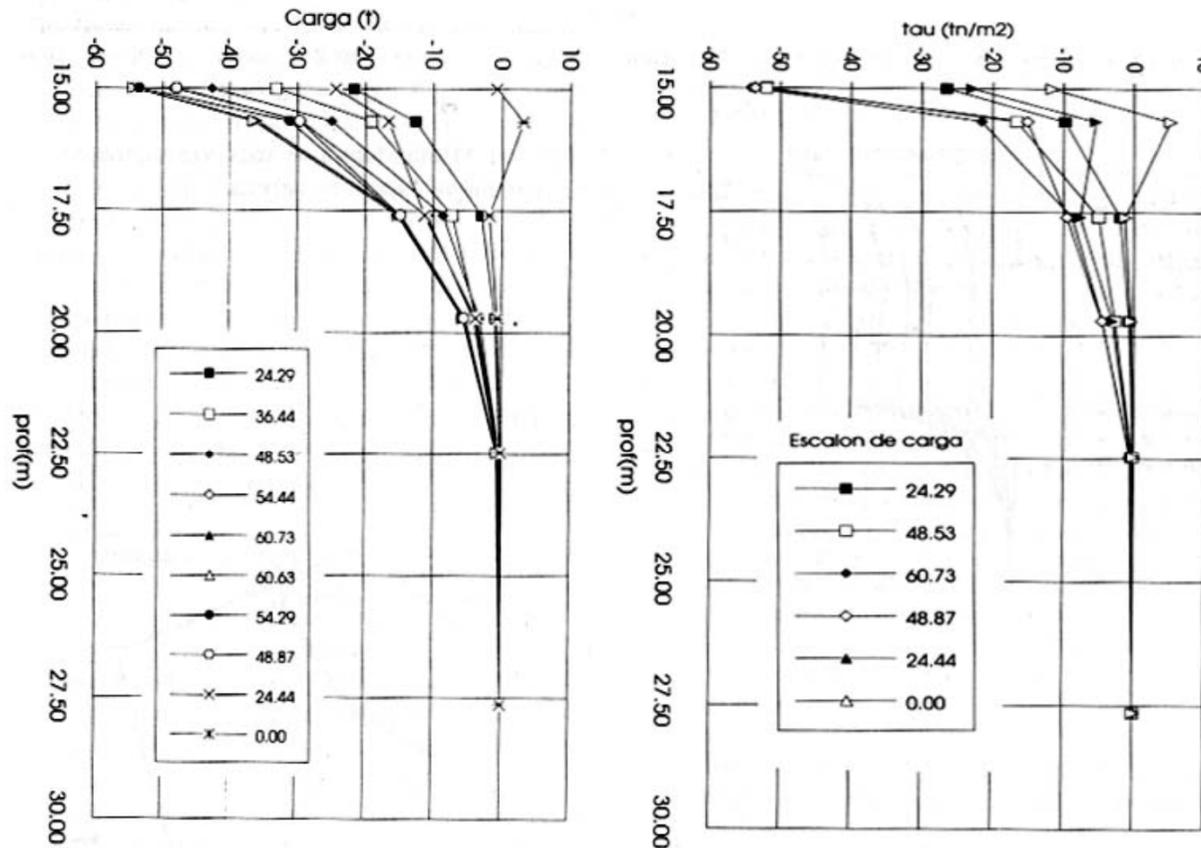


Müller,  
1966

- En los 3 primeros escalones no se moviliza la parte distal
- La elongación no es lineal
- En el último escalón se carga la zona distal y la proximal “despega”

**LA ADHERENCIA NO ES UNIFORME**

# DISEÑO. LONGITUD Y DIÁMETRO DE BULBO



Alonso et al.,  
1996

- Sólo se movilizan 7,50 m de bulbo para las cargas aplicadas
- La distribución de adherencia no es uniforme, y la carga no es lineal

**LA ADHERENCIA NO ES UNIFORME**

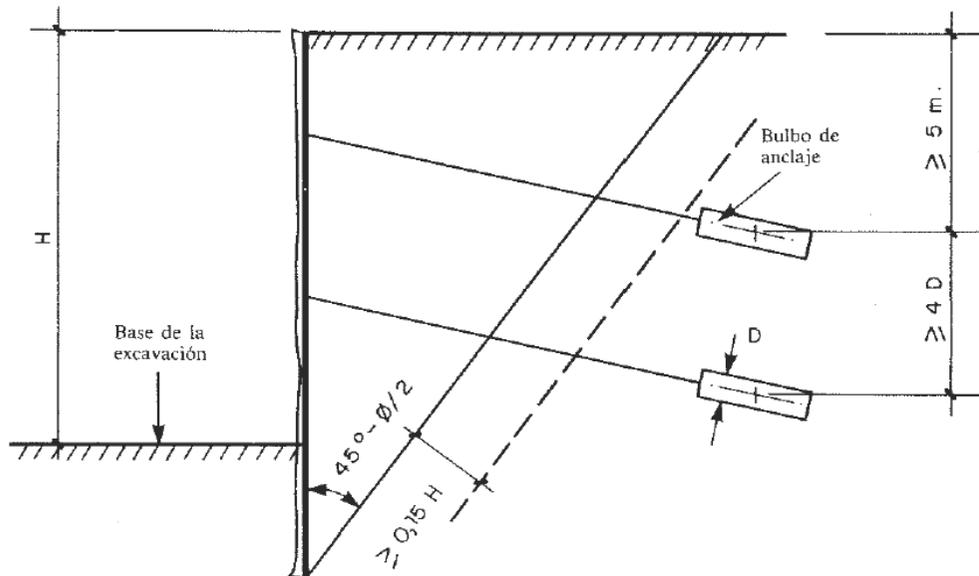
## Conclusiones sobre la uniformidad de la adherencia y la longitud de bulbo

- Parece razonable recomendar que en el diseño de anclajes se considere con precaución la aplicación de hipótesis de adherencia uniforme cuando las longitudes de bulbo previstas sean importantes (más de 10 ó 12 metros).
- Si se desea evitar acudir a estas longitudes, cabe la posibilidad de adoptar mayores diámetros de perforación, seleccionar mejores sistemas de inyección (tipo IRS), o disminuir la carga unitaria de los anclajes, o acudir a anclajes multibulbo.
- En todo caso, lo más deseable será realizar pruebas de adecuación previas para probar in situ la capacidad de los bulbos largos.

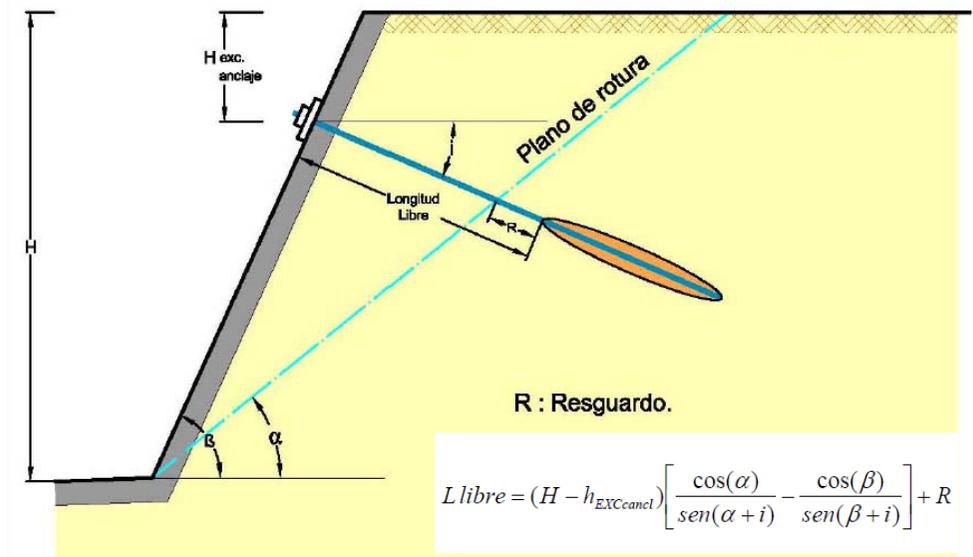
Necesaria por varios motivos:

1. Permitir el tesado (al menos 5 m)
2. Alejar el bulbo de la zona (activa) a contener
3. Situar el bulbo en terreno competente

## Criterios habituales en pantallas y muros



## Bloques y cuñas



1. Ensayos y pruebas sobre anclajes
  - **Conveniencia del control**
  - **Tipos de ensayo o pruebas de carga. Objetivos**
  - **Definición de las pruebas**
  - **Objetivos y su aceptación**
  - **Medios necesarios para la realización de las pruebas**
2. Células de carga
3. Bibliografía
4. Normativa

## Conveniencia del control

### 1.- Unidad de carácter geotécnico

→ Incertidumbre de diseño por depender del terreno

→ El resultado depende enormemente de la ejecución (factor no controlable al 100% durante el diseño).

### 2.- Cada anclaje representa una importante carga concentrada.

### 3.- Los daños por fallo pueden ser importantes.

Por otro lado, ...

,dado que los anclajes se tesan, puede hacerse de forma sencilla una **prueba de carga**.

**¡¡ Basta con medir alargamientos y tensiones del tirante !!**

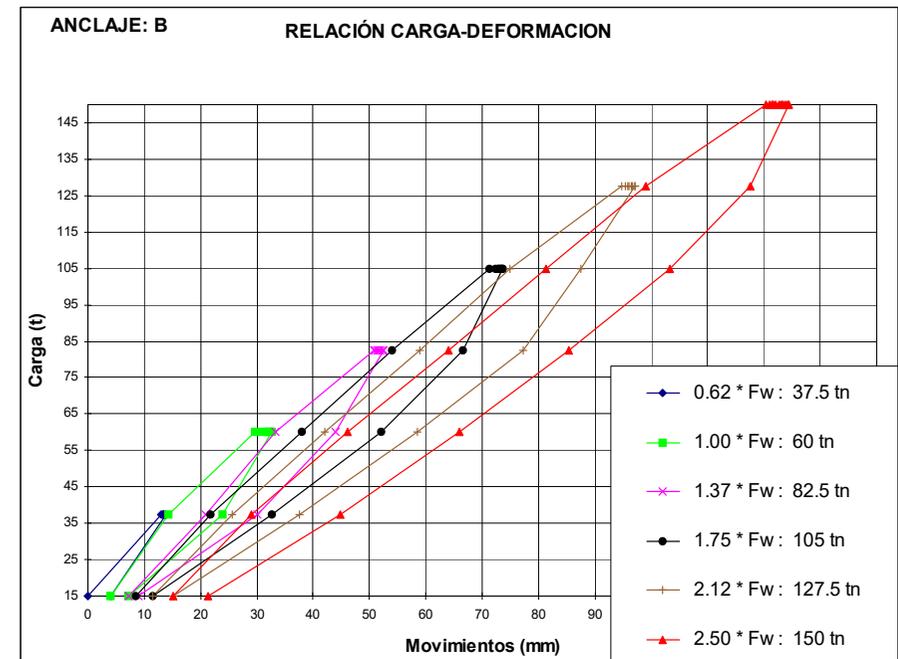
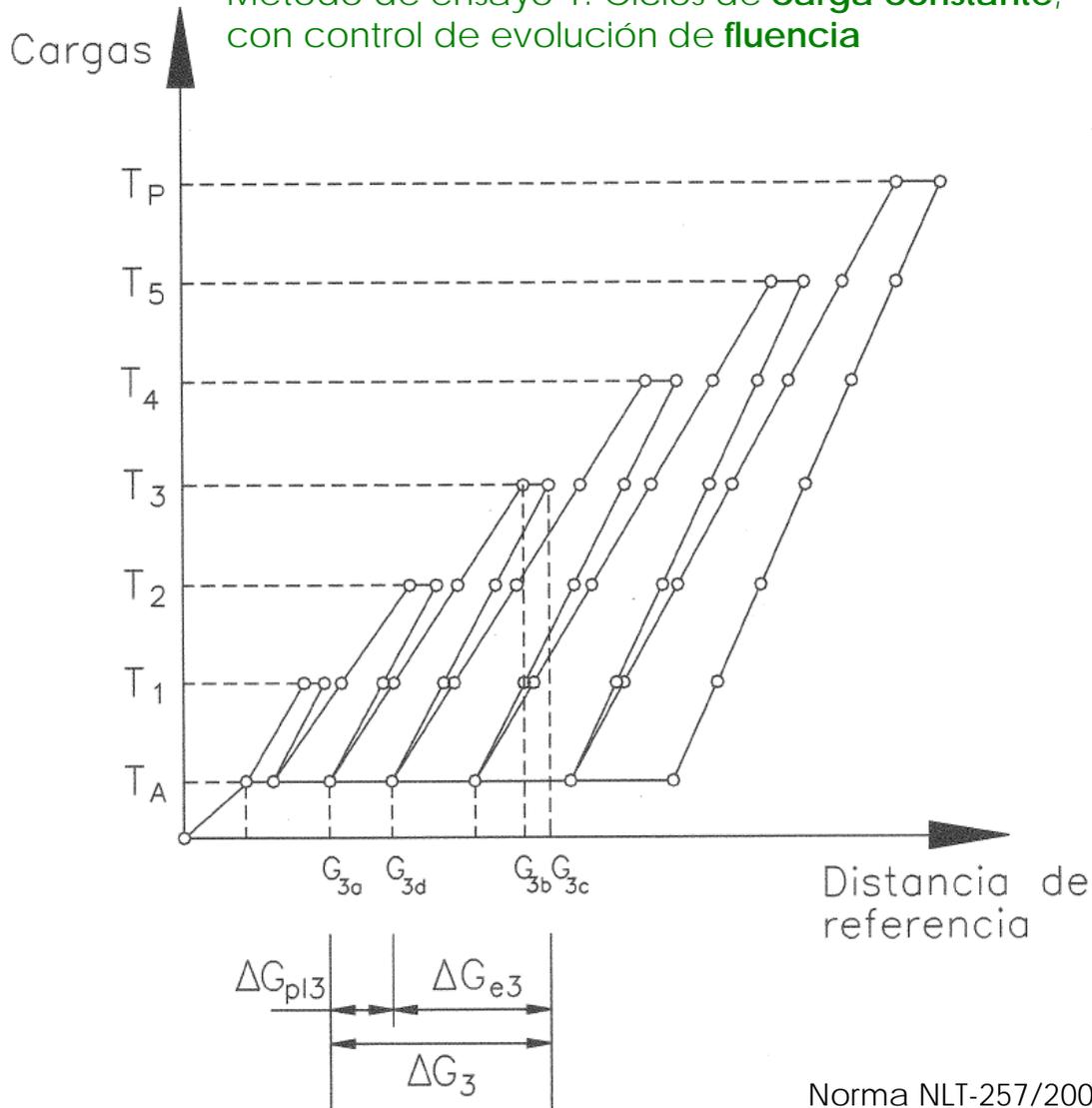
Si los anclajes se prevén pasivos, basta disponer longitud libre en algunos de ellos para hacer una prueba.

# Ensayos y pruebas sobre anclajes

¡¡ Basta con medir alargamientos y tensiones del tirante !!

Procedimiento

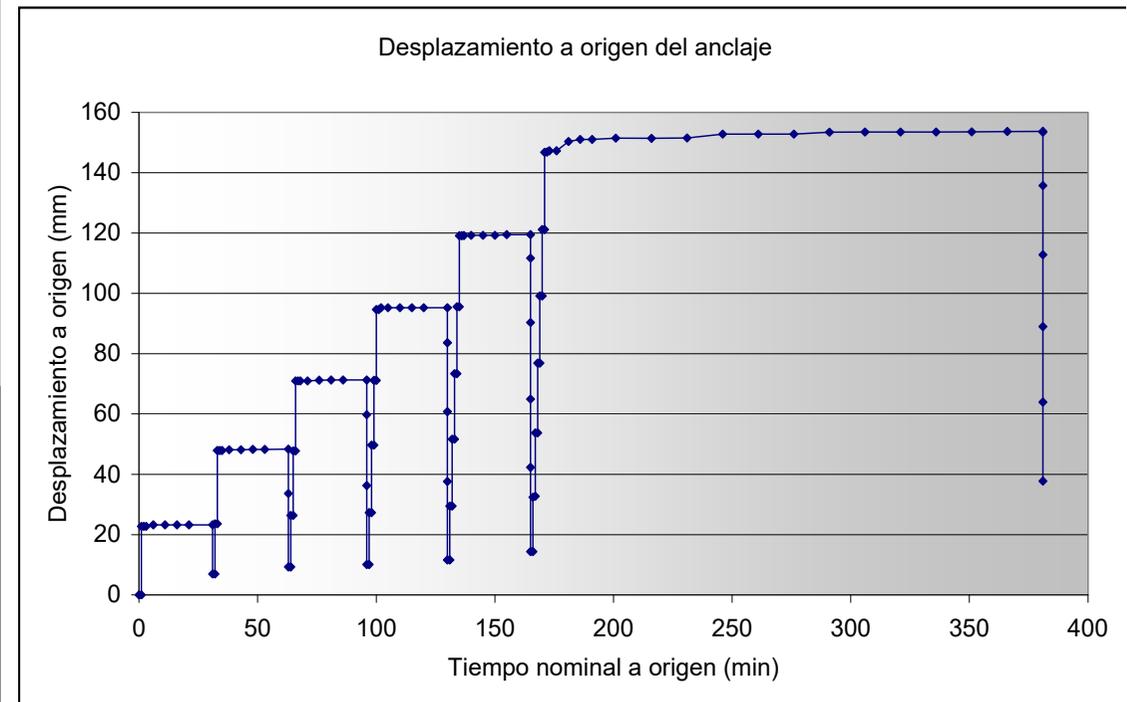
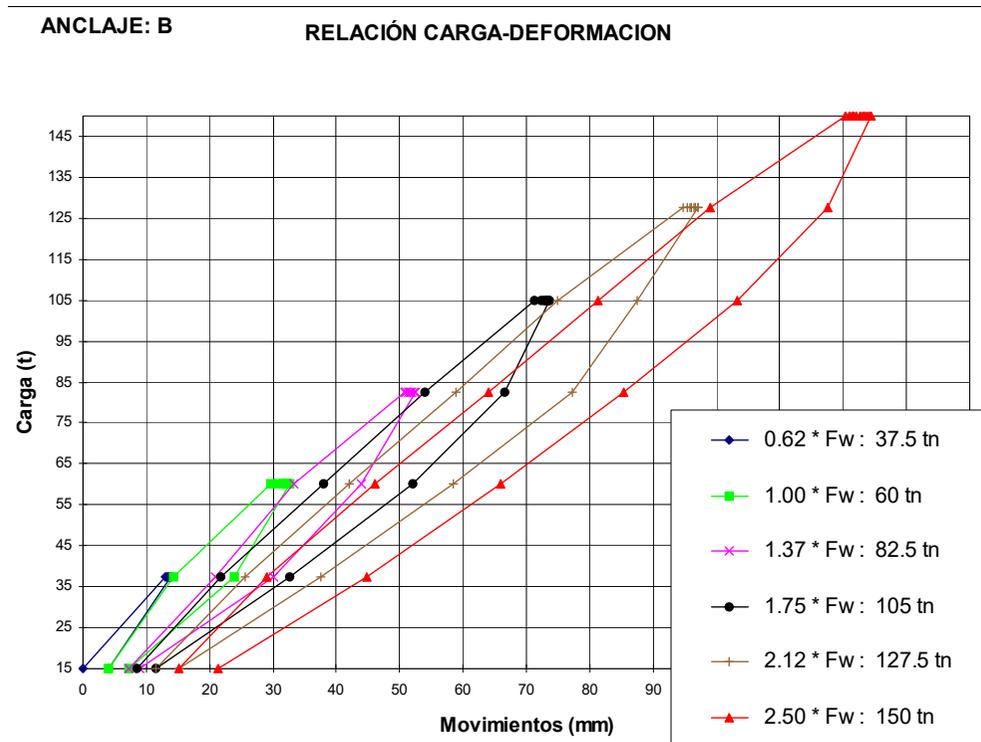
Método de ensayo 1: Ciclos de **carga constante**, con control de evolución de **fluencia**



¡¡ Basta con medir alargamientos y tensiones del tirante !!

Procedimiento

Método de ensayo 1: Ciclos de **carga constante**, con control de evolución de **fluencia**



Se parte de una carga de referencia ( $P_a$ )

Se pone en carga el anclaje progresivamente por ciclos (carga y descarga hasta  $P_a$ ), hasta la carga máxima de prueba ( $P_p$ ).

En cada uno de los escalones de carga se mide el alargamiento del tirante.

En cada una de las cargas máximas de los ciclos se miden los alargamientos en los tiempos 1, 2, 5, 10, 15, 30 minutos, con el fin de conocer la posible fluencia a carga constante.

En el ciclo final se mide entre 30 y 180 minutos.

## Tipos de ensayo o pruebas de carga. Objetivos

A) Ensayos de investigación. Se recomiendan de forma **previa** a los anclajes previstos para **la obra** “*cuando los anclajes se utilicen en condiciones de terreno que no haya sido objeto de ensayos previos, o cuando la cargas de servicio son superiores a las adoptadas en condiciones de terreno similares*”. Se pretende obtener:

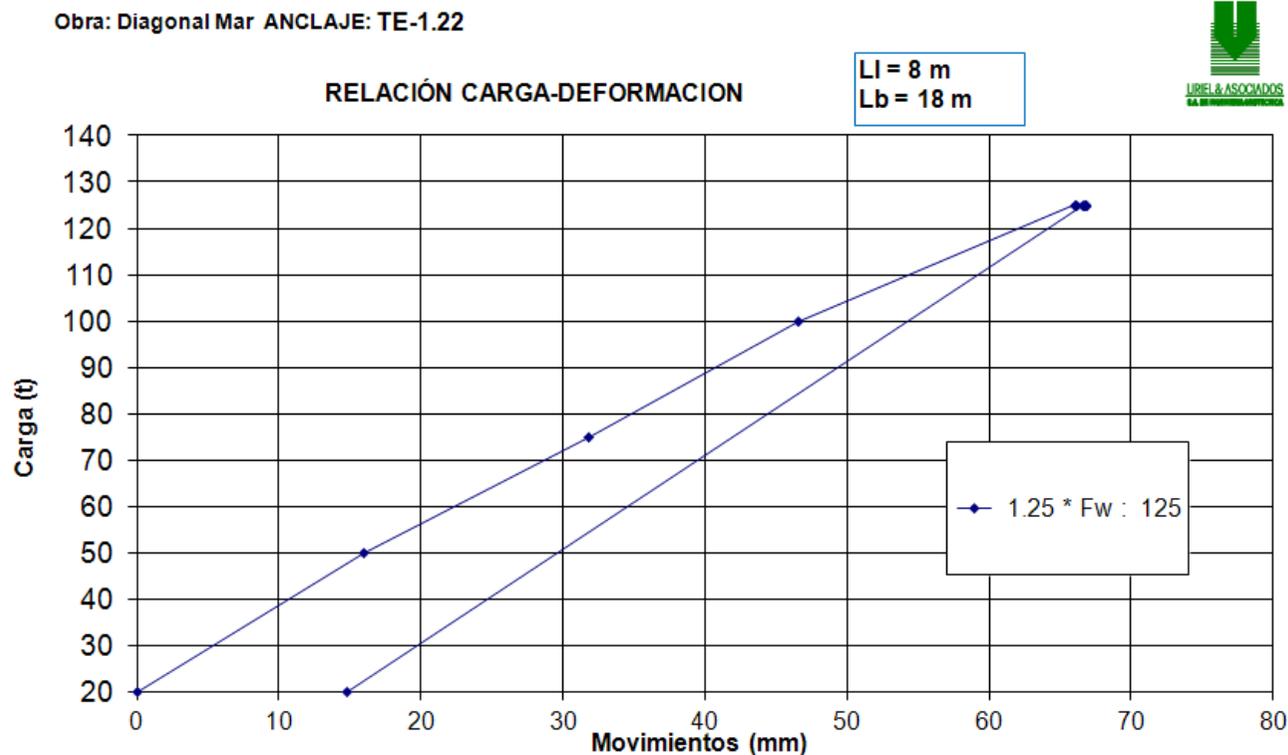
1. Resistencia del bulbo (interfaz lechada-terreno)
2. Carga de deslizamiento o rotura
3. Curvas tensión-deformación, con componentes elástica y plástica.
4. Pérdida de tensión bajo carga de servicio (fluencia).
5. Longitud libre aparente

B) Ensayos de adecuación. Se realizan en algunos anclajes de la obra para **confirmar** que se han logrado los requisitos marcados por las pruebas previas (“*..al menos 3...*”):

1. Capacidad para resistir la carga de prueba.
2. Curvas tensión-deformación, con componentes elástica y plástica.
3. Pérdida de tensión hasta carga de prueba (fluencia).
4. Longitud libre aparente.

C) Ensayos de aceptación: Se realizan *para cada anclaje*, y sirven para dar validez a cada uno de los anclajes ejecutados:

1. Capacidad para resistir la carga de prueba.
2. Pérdida de tensión hasta carga de prueba (fluencia).
3. Longitud libre aparente.



## En resumen, se pretende....

1. Comprobar que para la carga de trabajo, las **tensiones de transferencia** en el bulbo están suficientemente **alejadas de** las que producirían la rotura de dicho contacto (**arrancamiento**)
2. Comprobar que la pérdida de carga a lo largo del tiempo (**fluencia del bulbo**) es **aceptable** (fijado por la normativa).
3. Comprobar el **comportamiento elástico** del anclaje. Es decir, verificar que las deformaciones elásticas medidas en relación a las cargas a que está sometido se ajustan de forma **razonable** a lo que cabría esperar a partir de su geometría teórica (sección, longitud libre y longitud de bulbo principalmente).

# Ensayos y pruebas sobre anclajes

## Definición de las pruebas

1. Nº de ciclos
2. Carga máxima a alcanzar
3. Tiempos de mantenimiento de la carga

Table 2. Load stages and minimum observation periods for suitability and acceptance testing

DIN 4125

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Minimum observation period, in minutes							
Proof load, $F_p$ (load stages)	Suitability test				Acceptance test			
	Temp. anchorage		Perm. anchorage		Temp. anchorage		Perm. anchorage	
	Cohesion- less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion- less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion- less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion- less soil, rock	Cohesive soil
$F_i \leq 0.2 F_w$	1	1	1	1	1	1	1	1
$0.5 F_w$	1	1	15	30	-	-	-	-
$0.75 F_w$	1	1	15	30	1	1	1	1
$1.0 F_w$	1	1	60	120	1	1	1	1
$1.25 F_w$	1	1	60	180	5	15	1	1
$\eta_k \cdot F_w$	15	30	120	1440	-	-	5	15

# Ensayos y pruebas sobre anclajes

## Definición de las pruebas

1. Nº de ciclos
2. Carga máxima a alcanzar
3. Tiempos de mantenimiento de la carga

Table 1. Safety factors  $\eta_K$  and  $\eta_S$ .

DIN 4125

1	2	3	4	5
Load case as in DIN 1054	Grout: $\eta_K$		Tendon: $\eta_S$	
	Earth pressure Active	Earth pressure At rest	Earth pressure Active	Earth pressure At rest
1	1,50	1,33	1,75	1,33
2	1,33	1,25	1,50	1,25
3	1,25	1,20	1,33	1,20

**Idoneidad: 1,50**

**Aceptación: 1,25**

## 1. Comprobar que la carga de trabajo, está alejada del **arrancamiento**

- Se comprueba en ensayos de investigación.
- Si se consigue arrancar el bulbo → se obtiene la adherencia última.  
(o mejor dicho, su valor máximo, pues puede limitarse luego por fluencia)  
El factor de seguridad será la relación entre la carga de arrancamiento y la de trabajo (para dicho bulbo).
- Si en ensayo de idoneidad llegamos a arrancamiento, algo está mal.

### **Observaciones a la ejecución (y definición en proyecto):**

- **Es necesario prever un refuerzo de la armadura del tirante (nº de cables).**
- **Una alternativa es reducir la longitud de bulbo, pero el resultado será más incierto.**
- **Se recomienda mantener el diámetro de perforación.**

**¿Cómo se controla el arrancamiento? La deformación es excesiva a partir de una determinada carga, que no se consigue superar.**

## 2.- Comprobar que la **fluencia del bulbo** es **aceptable**

-Se comprueba en todo tipo de ensayo, y para cada escalón de carga.

La fluencia depende de:

1.- Tipo de terreno (de mayor a menor: arcillas, limos, arenas, rocas).

2.- El **nivel de tensiones** tangenciales en el bulbo.

iii **Por eso está relacionada con la rotura !!!**

2.- El tiempo transcurrido.

(Mayor fluencia al principio. En general, la deformación de fluencia obedece a una ley logarítmica en la escala de tiempos).

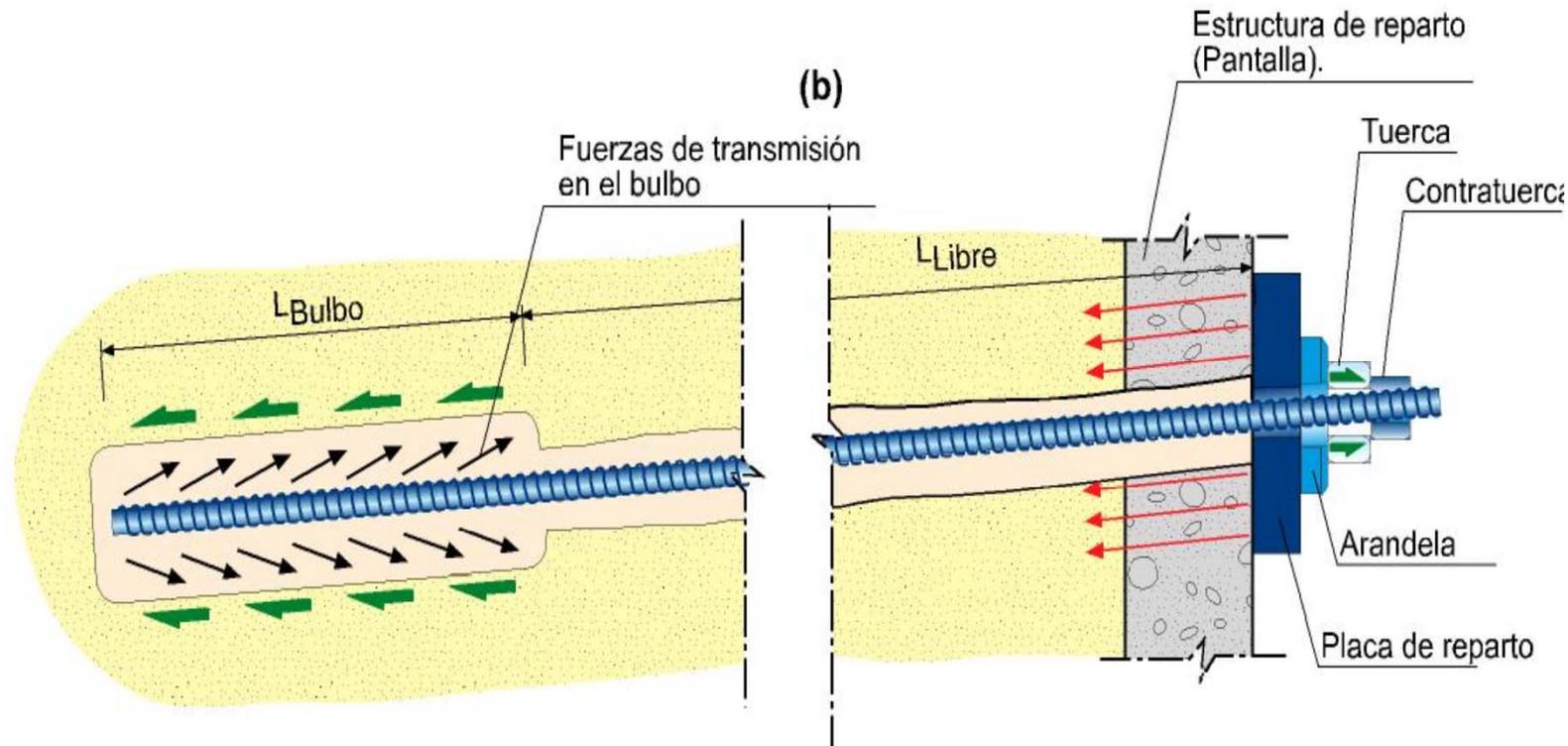
### **Observaciones a la ejecución (y definición en proyecto):**

- **La fluencia es el parámetro más importante.**

- **Sin embargo, su medida requiere una ejecución rigurosa de la prueba, en lo que se refiere a las medidas de alargamientos y el control de la tensión en el anclaje.**

### **¿Cómo se controla la FLUENCIA?**

## ¿Cómo se controla la FLUENCIA?



El bulbo desliza y la cabeza permanece fija → la barra se acorta (se destesa) → pierde carga → el gato pierde carga.

→ Hay que aplicar un incremento de carga, para volver al valor inicial

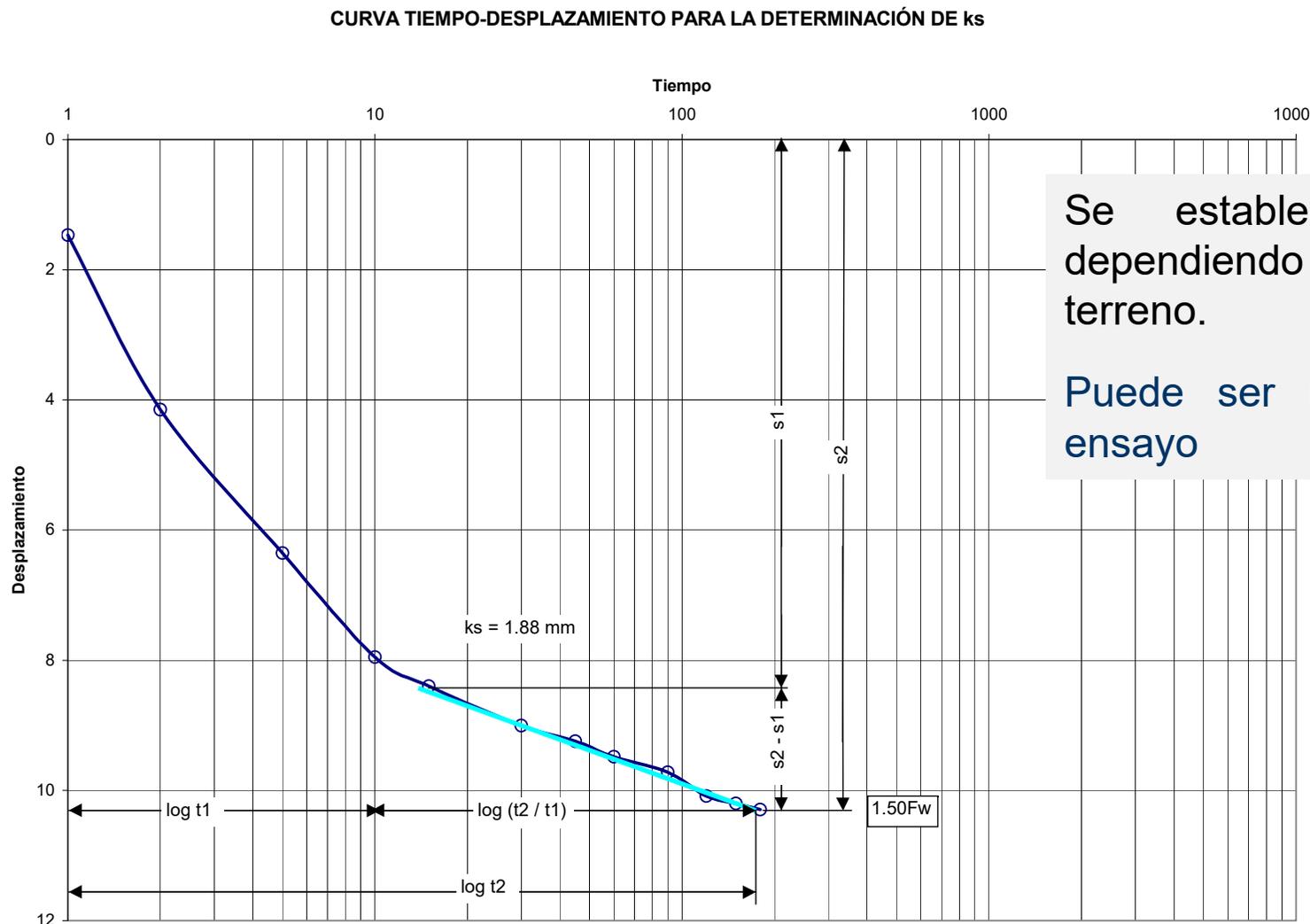
# Ensayos y pruebas sobre anclajes

¿Cómo se controla la FLUENCIA?

Se define la tasa de fluencia ( $k_s$ ):

$$k_s = \frac{s_2 - s_1}{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}$$

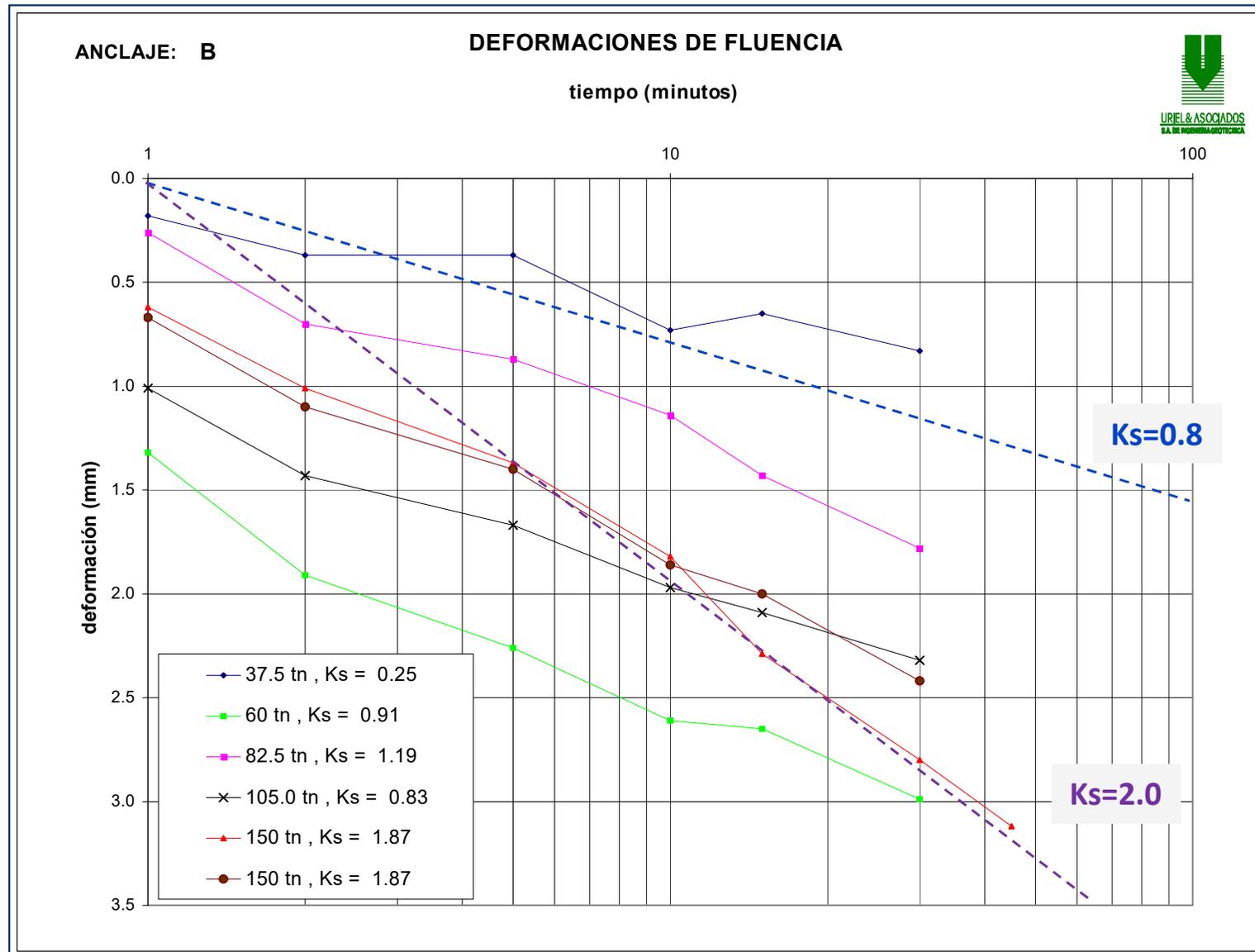
Gráfico de fluencia para un escalón de carga.



Se establecen límites de  $k_s$  dependiendo del tipo de anclaje y terreno.

Puede ser necesario prolongar el ensayo

## Gráfico de fluencia para varios escalones de carga



# Ensayos y pruebas sobre anclajes

## Valores de Ks admisibles

DIN 4125

Table 3. Observation periods and permissible displacement or creep displacement at proof load for suitability and acceptance testing

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Suitability test					Acceptance test				
	Temp. anchorage		Perm. anchorage			Temp. anchorage		Perm. anchorage		
	Cohesion-less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion-less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion-less soil, rock	Cohesive soil	Cohesion-less soil, rock	Cohesive soil		
Proof load	$\eta_K \cdot F_W$		$\eta_K \cdot F_W$			$1,25 F_W$		$\eta_K \cdot F_W$		
1	Short observation periods, in min									
	$t_1$	5	5	-	-	2	5	2	5	
	$t_2$	15	30	-	-	5	15	5	15	
	$\Delta s = s_2 - s_1$ , in mm	$\leq 0,5$	$\leq 0,8$	-	-	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	
2	Long observation periods, in min									
	$t_1^*)$									
	$t_2$	> 15	> 30	$\geq 120$	$\geq 1440$	> 5	> 15	> 5	> 15	
	$k_s$ , in mm	$\leq 2,0$		$\leq 2,0$			$\leq 1,0$		$\leq 2,0$	

\*)  $t_1$  is to be read from the linear section of the time-displacement curve.

## Valores de $K_s$ admisibles

Normas españolas

***En ensayo de ACEPTACIÓN:*** *El índice de desplazamiento por fluencia,  $k_s$ , para la tensión de prueba ensayada, no deberá sobrepasar 1 mm, cuando se hayan efectuado ensayos de investigación.*

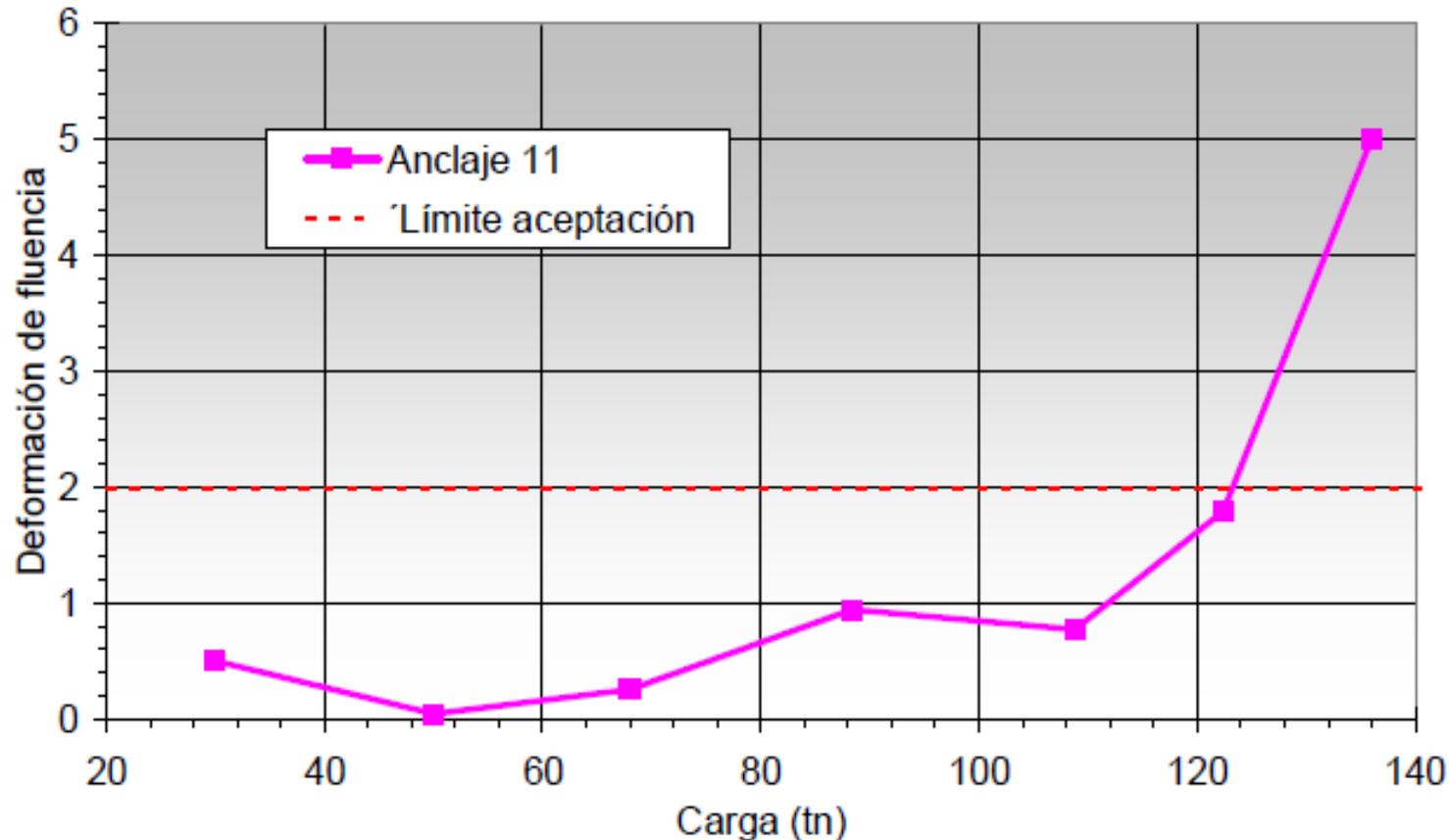
*Cuando no se haya obtenido la tensión de rotura (definida como  $k_s=2$  mm)) en los ensayos de investigación, en valor de  $k_s$  para la tensión de prueba no deberá sobrepasar 0.8 mm.*

Es decir:

- Para la **carga en servicio**:  $k_s=0.8$  mm ó  $k_s=1.0$  mm
- **La rotura se define como la carga en la que  $k_s=2.0$  mm.**
- Adoptando  $FS=1.5$  frente carga de rotura, si para una carga de prueba igual a 1.5 veces la carga en servicio,  $k_s$  fuera igual o inferior a 2 mm, el anclaje sería válido (si se cumple además que  $k_s=0.8/1.0$  mm para la carga en servicio)

## Fluencia (Ks) para varios escalones de carga

Variación de la tasa de fluencia con la carga



**Ks=2 para 122 t**  
**122 t/1,5 =81 t**  
**Para 81 t, ks < 1.0**



**81 t es admisible como carga de trabajo**

## 3.- Comprobar el **comportamiento elástico**

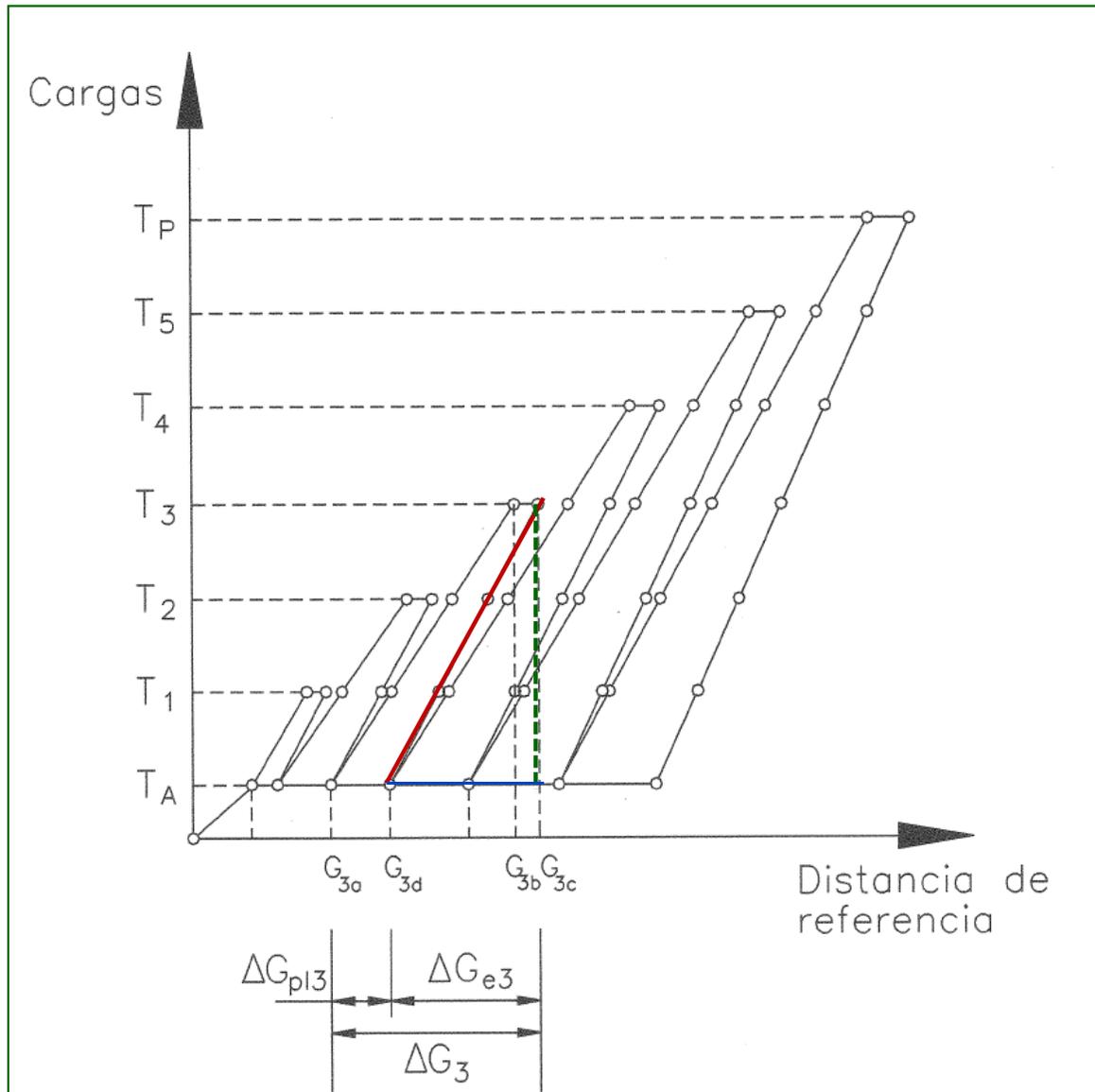
- Se comprueba en todos los ensayos
- Permite conocer:
  - Si hay demasiado **rozamiento en la zona libre** (poco alargamiento)
  - **Cuanto se moviliza el bulbo** (cuanto más se moviliza, más alargamientos).
- Por otro lado, una mala configuración provoca alargamientos plásticos excesivos, que se manifiestan por que los elásticos son muy bajos.

### **Observaciones a la ejecución (y definición en proyecto):**

- **Ninguna**

**¿Cómo se controla el comportamiento elástico? Mediante el cálculo de la longitud libre (o elástica) aparente, y la comprobación de que está dentro de unos límites.**

## ¿Cómo se controla el comportamiento elástico? Longitud libre aparente



$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\frac{\Delta F}{A} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_{ap}}$$

## ¿Cómo se controla el comportamiento elástico? Longitud libre aparente

Según toda norma debe estar entre:

$$L_{ap} \geq 0.8 \cdot L_{Libre}$$

$$L_{ap} \leq 1.1 \cdot L_{Libre}$$

$$L_{ap} \leq L_{Libre} + 0.5L_{Bulbo}$$

Las pérdidas por rozamiento pueden representar un % importante en los escalones iniciales.

Algunas normas como la DIN 4125 lo tienen en cuenta, incluyendo un criterio adicional:

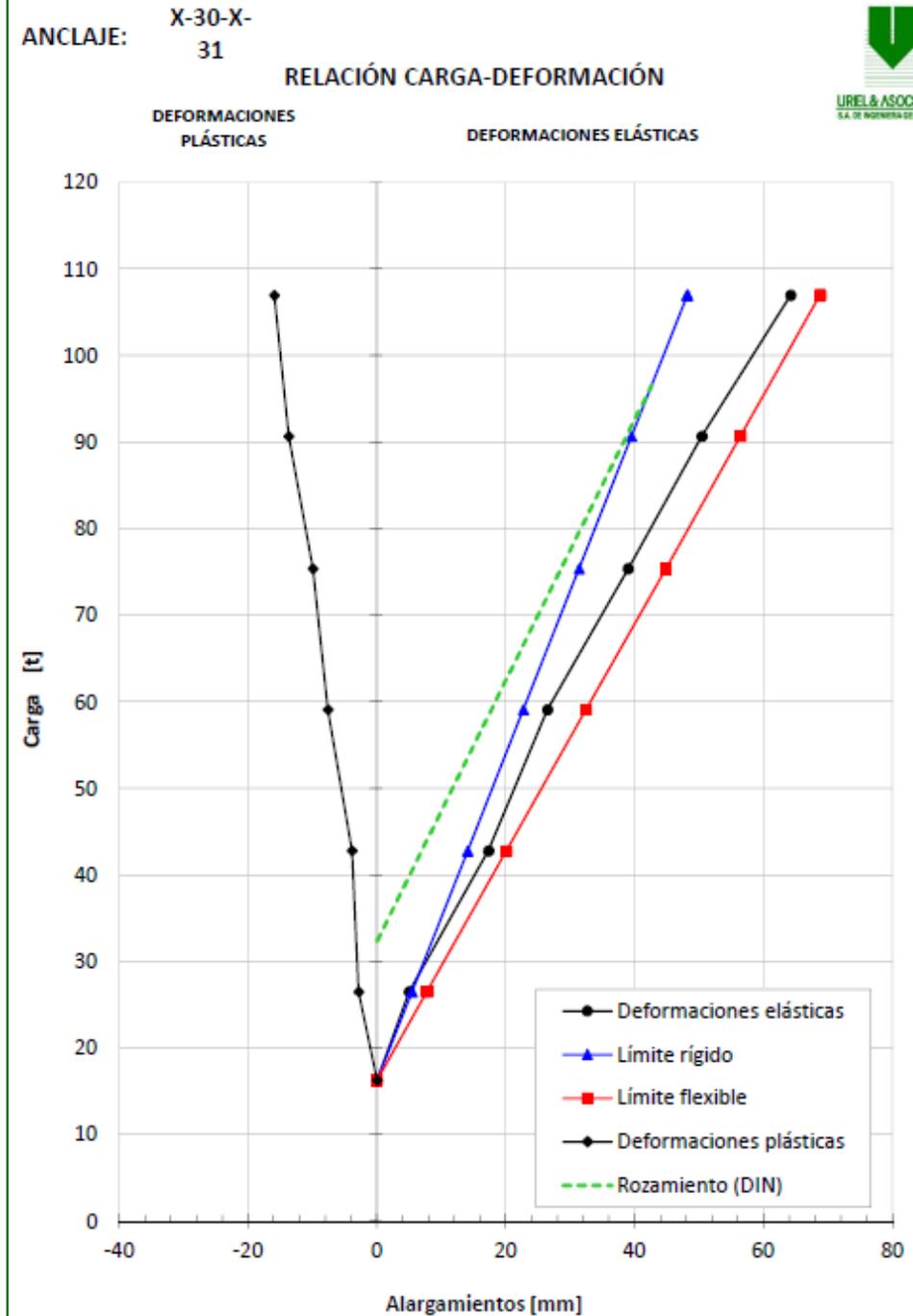
Punto	Carga ( $F$ )	Deformaciones ( $s$ )
O	Carga de referencia ( $F_i$ )	0
R	$0.15 \cdot F_p + F_i$	0
S	$0.75 \cdot F_p + F_i$	$0.6 \cdot F_p \cdot l_t / (E \cdot A)$
I	Prolongación de la recta RS hasta la recta del anclaje rígido sin corregir	

$F_p$  Carga de prueba

$F_i$  Carga de referencia

$l_t$  Longitud libre teórica del anclaje

## Gráfico de elongaciones elásticas y plásticas. Límites de aceptación.



## EQUIPO Y PRECISIÓN.

- Para ks, desplazamientos con precisión de 0,05 mm y sensibilidad de 0,01 mm (requiere calibre de precisión o pie de rey).



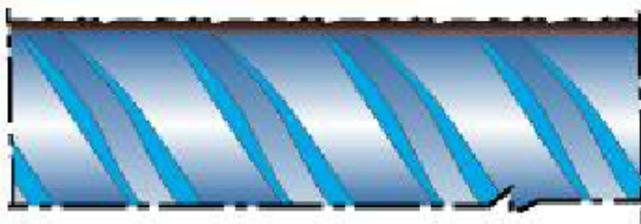
## EQUIPO Y PRECISIÓN.

Para medición de carga, precisión del 2% de la máxima del ensayo.  
Para medir pérdidas, sensibilidad del 0,5% (requiere manómetros “no convencionales”)

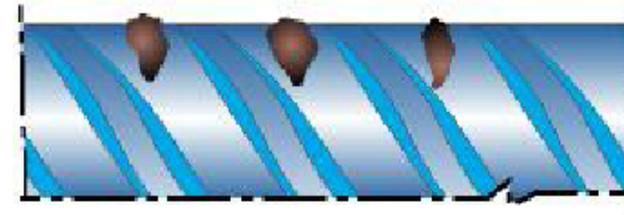


## TIPOS DE CORROSIÓN.

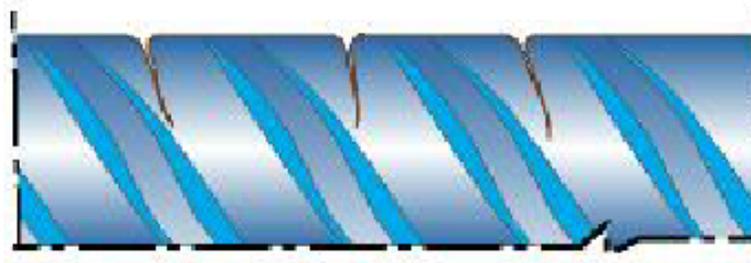
Corrosión generalizada



Corrosión localizada



Corrosión bajo tensión



## **SITUACIONES A CONSIDERAR (FIP, 1986)**

Anclajes expuestos al agua marina

Anclajes en arcillas saturadas (poco oxígeno) con sulfatos

Anclajes en rocas evaporíticas con cloro (por ejemplo, sal gema)

Anclajes próximos a industrias químicas corrosivas

Anclajes en suelos con niveles freáticos variables

Anclajes en suelos semisaturados

Anclajes que atraviesen estratos con composición química y contenidos de aire y agua diferentes

Anclajes sujetos a cargas cíclicas

## CONCLUSIONES

- La norma UNE-EN 1537:2001 define los sistemas de protección a emplear para anclajes provisionales y permanentes, que habitualmente se conocen como de "protección simple" y de "doble protección" respectivamente. Quedan sin definición los anclajes de barra pasivos, que quedan fuera del ámbito de la norma.
- Los anclajes permanentes con tirantes de acero de alto límite elástico deberían llevar "doble protección", tanto en el caso de barras como de cables. Esta recomendación debería extenderse a las situaciones provisionales en las que pueda darse condiciones severas de agresividad.
- Los anclajes de barra de acero convencional (límite elástico de 500 MPa) resisten mejor la corrosión.
- La cabeza del anclaje y su empalme con la longitud libre son las partes más expuestas y vulnerables. Debe prestarse atención especial a la ejecución de estas zonas.

## **NORMATIVA APLICABLE**

### Normativa nacional :

- UNE-EN 1537:2001, Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes. AENOR. 2001
- PG3 Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. Artículo 675: Anclajes. Orden FOM/1382/02. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento. 2002

### Otras publicaciones oficiales nacionales:

- Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento. 2001
- HP 8-96. Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno. ATEP. ICCET. CICCOP. 1996

### Normativa internacional

- BS 8081 British Standard Code of practice for Ground Anchorages
- DIN 4125 “Ground Anchorages. Design, construction and testing”

## BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, E., CASANOVAS, J., ALCOVERRO, J., “Anclajes”, Simposio sobre Estructuras de Contención de Terrenos, SEMSC, Santander, 1996

BARLEY, A., WINDSOR, C, “Recent Advances in Ground Anchor Technology with Reference to the Development of the Art”, International Conference on Geotechnical and Geotechnical Engineering, Melbourne, 2000

BUSTAMANTE, M., “Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados”, Boletín de la SEMSC, nº 81-82, Madrid, 1986

CASANOVAS, J., “Tensión de Transferencia y Capacidad de Carga de Anclajes Inyectados”, Revista Ingeniería Civil nº72, Madrid.

FEDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAİNTE, “Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages”, Thomas Telford, London, 1986.

JIMÉNEZ SALAS, J.A. ET AL, “Geotecnia y Cimientos III. Segunda Parte”. Editorial Rueda. Madrid. 1979.

MURILLO, T. & ORTUÑO, L. (2004): “Curso sobre taludes naturales y de desmonte en obras lineales”. Sevilla. INTEVIA.

OSTERMAYER, H., “A review of diaphragm walls. Practice in the detail design applications of anchorages”. Institution of Civil Engineers. London. 1977.