

Abril 2001

### TÍTULO

**Ejecución de trabajos geotécnicos especiales**

**Anclajes**

*Execution of special geotechnical work. Ground anchors.*

*Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Tirant d'ancrage.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1537 de diciembre 1999.

### OBSERVACIONES

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotécnia*.



ICS 93.020

Versión en español

## **Ejecución de trabajos geotécnicos especiales Anclajes**

**Execution of special geotechnical work.  
Ground anchors.**

**Exécution des travaux géotechniques  
spéciaux. Tirant d'ancrage.**

**Ausführung von besonderen  
geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau).  
Verpreßanker.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1998-02-20. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

---

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
ANTECEDENTES.....	6
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	7
2 NORMAS PARA CONSULTA .....	7
3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS.....	8
3.1 Definiciones .....	8
3.2 Símbolos.....	12
4 NECESIDADES ESPECÍFICAS.....	14
4.1 Generalidades.....	14
4.2 Organización de los trabajos de anclaje .....	14
5 RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO .....	16
6 MATERIALES Y PRODUCTOS.....	17
6.1 Generalidades.....	17
6.2 Tendones.....	17
6.3 Cabeza de anclaje .....	17
6.4 Manguitos de empalme.....	18
6.5 Zona de bulbo.....	18
6.6 Separadores y otros elementos en la perforación.....	18
6.7 Lechada de cemento y aditivos .....	19
6.8 Lechada de resina .....	19
6.9 Protección contra la corrosión de las armaduras de acero y de los componentes de acero bajo carga.....	19
6.10 Productos y materiales comúnmente utilizados como barreras de protección contra la corrosión.....	23
6.11 Puesta en obra de la protección contra la corrosión.....	25
6.12 Evaluación de la protección contra la corrosión para los tirantes de anclaje permanentes por ensayos de sistema .....	26
7 CONSIDERACIONES RELATIVAS AL DISEÑO .....	27
8 EJECUCIÓN.....	28
8.1 Perforación.....	28
8.2 Fabricación, transporte, mantenimiento y colocación de los tirantes .....	30
8.3 Inyección.....	31
8.4 Puesta en carga .....	32

<b>9</b>	<b>ENSAYOS, SUPERVISIÓN Y CONTROLES .....</b>	<b>33</b>
<b>9.1</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>33</b>
<b>9.2</b>	<b>Precisión de las medidas.....</b>	<b>34</b>
<b>9.3</b>	<b>Carga de referencia .....</b>	<b>34</b>
<b>9.4</b>	<b>Métodos de ensayo .....</b>	<b>36</b>
<b>9.5</b>	<b>Ensayo de investigación.....</b>	<b>36</b>
<b>9.6</b>	<b>Ensayo de adecuación.....</b>	<b>36</b>
<b>9.7</b>	<b>Ensayo de aceptación.....</b>	<b>37</b>
<b>9.8</b>	<b>Carga máxima de bloqueo .....</b>	<b>37</b>
<b>9.9</b>	<b>Evaluación de la longitud libre equivalente.....</b>	<b>37</b>
<b>9.10</b>	<b>Supervisión de ejecución y ensayos .....</b>	<b>39</b>
<b>9.11</b>	<b>Controles.....</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>ACTAS Y PARTES .....</b>	<b>39</b>
<b>11</b>	<b>REQUISITOS PARTICULARES .....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO A (Informativo)</b>	<b>ENSAYO ELÉCTRICO DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO B (Informativo)</b>	<b>EXAMEN PREVIO DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO C (Informativo)</b>	<b>CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE PRODUCTOS VISCOSOS DE PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN Y EJEMPLOS DE NORMAS DE ENSAYO RELATIVOS A LAS PROPIEDADES DE ESTOS MATERIALES .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO D (Informativo)</b>	<b>CÁLCULO DE LOS ANCLAJES .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO E (Informativo)</b>	<b>EJEMPLO DE MÉTODOS DE ENSAYOS DE TIRANTES .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO F (Informativo)</b>	<b>EJEMPLOS DE PARTES Y ACTA.....</b>	<b>65</b>

## ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 288 “Ejecución de trabajos geotécnicos especiales”, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de junio de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de junio de 2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

La misión general del CEN/TC 288, es normalizar los procedimientos de ejecución relativos a los trabajos geotécnicos (incluidos los métodos de ensayo y de control) así como las propiedades requeridas para los materiales. El grupo de trabajo 2 del CEN/TC 288 ha sido el encargado de la preparación de la norma relativa a los anclajes al terreno, comprendiendo todos los anclajes al terreno activos e inyectados.

Esta norma ha sido elaborada para ser utilizada con la Norma Europea Experimental ENV-1997-1 Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales. El capítulo 7 de la presente norma “Consideraciones relativas al diseño” sólo trata de los aspectos a tener en cuenta en el momento de la ejecución de los anclajes para que la función del anclaje pueda ser realizada. Esta norma sin embargo provee la información relativa a las exigencias en materia de ejecución y supervisión. El anexo informativo D trata en detalle del cálculo de los anclajes.

La norma ha sido redactada por un grupo de trabajo, con representantes de diez países y está basado en diez códigos de práctica nacionales e internacionales.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La presente norma se aplica a la instalación, a los ensayos y control de los anclajes al terreno, tanto permanentes como provisionales cuya capacidad de anclaje se ha ensayado. Un tirante consta de tres partes: la cabeza, la zona libre y la zona de anclaje (también llamada bulbo) solidaria al terreno mediante inyección de lechada. El término “terreno” se refiere a la vez al suelo y a las rocas.

El diseño y el cálculo de los anclajes al terreno demanda de experiencia y conocimiento en un campo muy especializado, que de forma breve se refleja en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1 Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico. Parte 1 Reglas generales. El cálculo de los anclajes al terreno se incluye de manera más detallada en un anexo a la presente norma.

La instalación y los ensayos de los anclajes al terreno precisa de una mano de obra competente y cualificada así como de una correcta supervisión. La presente norma requiere empresas experimentadas con personal adecuado para su aplicación.

La presente norma no es relativa a otros sistemas de anclaje tales como pilotes en tracción, anclajes roscados, anclajes mecánicos, anclaje de expansión, soil nailing.

La norma establece y define los principios de la tecnología de los anclajes al terreno.

En el caso en el que el sistema de anclajes no sea conforme a los principios definidos en el texto, se permite su utilización bajo reservas de acuerdo con un representante técnico del cliente.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

Excepcionalmente, la lista de normas para consulta contiene normas europeas en fase de proyecto. Cuando uno de estos documentos se convierta en una norma europea, su referencia debe ser revisada.

ENV 206 – *Hormigón. Ejecución, producción, puesta en obra y criterios de conformidad.*

prEN 445 – *Lechadas para tendones de pretensado. Métodos de ensayo.*

prEN 446 – *Lechadas para tendones de pretensado. Procedimientos de inyección*

prEN 447 – *Lechadas para tendones de pretensado. Especificaciones para lechadas corrientes.*

ENV 1991-1-1 – *Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.*

ENV 1992-1-1 – *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

ENV 1992-1-5 – *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-5: Reglas generales. Estructuras con tendones de pretensado exteriores o no adherentes.*

ENV 1993-1-1 – *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1 Reglas generales y reglas para edificación.*

ENV 1994-1-1 – *Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

ENV 1997-1:1994 – *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.*

prEN 10138 – *Armaduras de pretensado.*

EN 45014 – *Criterios generales para efectuar la declaración de conformidad del suministrador.*

### 3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

#### 3.1 Definiciones

Los términos principales son los mismos que los de los Eurocódigos. Para las necesidades de la presente norma, se aplican las siguientes definiciones:

**3.1.1 anclaje al terreno:** Dispositivo capaz de transmitir las fuerzas de tracción, que le son aplicadas, a un lecho de terreno resistente.

**en:** anchor

**fr:** tirant d'ancrage

**de:** Anker

**3.1.2 cabeza de anclaje:** Parte del tendón que transmite las fuerzas de tracción de la armadura a la placa de apoyo o a la estructura.

**en:** anchor head

**fr:** tête d'ancrage

**de:** Ankerkopf

**3.1.3 ensayo de aceptación:** Ensayo de puesta en carga efectuada sobre cada tendón para asegurar que es conforme a los criterios de aceptación.

**en:** acceptance test,

**fr:** essai de réception

**de:** Abnahmeprüfung

**3.1.4 longitud libre equivalente:** Longitud del tendón comprendida entre el punto de fijación del tendón sobre la zona de presión y un punto de anclaje ficticio, deducido de un ensayo de puesta en carga.

**en:** apparent tendon free length

**fr:** longueur libre équivalente

**de:** Rechnerische freie Stahllänge

**3.1.5 exudación:** Expulsión del agua de una lechada.

**en:** bleed

**fr:** ressuage

**de:** Absetzma

**3.1.6 diámetro de la perforación:** El diámetro de la perforación está definido por el equipo de perforación o el entubado, excluido cualquier ensanche.

**en:** borehole diameter

**fr:** diamètre de forage

**de:** Bohrlochdurchmesser

**3.1.7 resistencia interna característica del anclaje:** Fuerza de tracción característica del tirante o tendón.

**en:** characteristic internal  
anchor resistance

**fr:** résistance interne  
caractéristique du tirant

**de:** Charakteristischer Innerer  
Ankerwiderstand

**3.1.8 representante técnico del cliente:** Representa al cliente y está al corriente de los trabajos relativos a los anclajes, con un amplio conocimiento de esta tecnología.

**en:** client's technical representative

**fr:** représentant technique du client

**de:** Technischer Bauherrnvertreter

**3.1.9 manguito de empalme:** El dispositivo utilizado para enlazar los extremos de las barras o los trenzados de un tirante.

**en:** coupler

**fr:** coupleur

**de:** Koppелеlement

**3.1.10 límite de fluencia:** Desplazamiento máximo permitido debido a la fluencia, para un determinado nivel de carga.

**en:** creep limit

**fr:** vitesse limite de fluage

**de:** Grenzkriechmaß

**3.1.11 carga crítica de fluencia:** La carga correspondiente al final de la primera parte lineal de la curva de fluencia en función de la carga aplicada al tirante.

**en:** critical creep load

**fr:** traction critique de fluage

**de:** Kritische Kriechkraft

**3.1.12 carga de referencia:** La carga a partir de la cual se miden, en la cabeza del tirante, los desplazamientos durante el ensayo de tesado. En general se adopta como valor de carga de referencia, el 10% de la carga de ensayo.

**en:** datum load

**fr:** traction de référence

**de:** Vorbelastung

**3.1.13 barrera anticorrosión:** Dispositivo contra la corrosión colocado como mínimo a la zona de bulbo.

**en:** encapsulation

**fr:** protection

**de:** Korrosionsschutzumhüllung

**3.1.14 resistencia externa del tirante:** La fuerza de tracción límite del tirante de anclaje en el contacto del terreno con la zona de bulbo.

**en:** external anchor resistance

**fr:** résistance externe du tirant

**de:** Herauszieh Widerstand des Ankers

**3.1.15 longitud de bulbo:** La longitud teórica del tirante sobre la cual la fuerza de tracción se transmite al terreno circundante, con ayuda de una zona inyectada.

**en: fixed anchor length**

**fr: longueur de scellement du tirant**

**de: Krafteintragungslänge**

**3.1.16 longitud libre del anclaje:** La distancia comprendida entre el punto de fijación de la armadura sobre la cabeza de anclaje y el comienzo del bulbo.

**en: free anchor length**

**fr: longueur libre du tirant**

**de: Freie Ankerlänge**

**3.1.17 lechada:** Material endurecible que transfiere las fuerzas de tracción de la armadura al suelo, a lo largo del bulbo, y que puede rellenar el resto de la perforación y/o contribuir a la protección contra la corrosión.

**en: grout**

**fr: coulis**

**de: Verpreßmörtel**

**3.1.18 ensayo de investigación:** El ensayo de la puesta en carga efectuado para establecer la tracción límite de la interfaz lechada/suelo, de un anclaje y determinar sus características en el intervalo de cargas de servicio.

**en: investigation test**

**fr: essai préalable**

**de: Untersuchungsprüfung**

**3.1.19 pérdida de carga límite:** La pérdida de carga acumulada permitida al final de un periodo de tiempo determinado.

**en: load loss limit**

**fr: pert de tension admissible**

**de: Grenzkraftabfall**

**3.1.20 carga de bloqueo:** La carga transmitida a la cabeza del anclaje inmediatamente después de una operación de puesta en carga.

**en: lock-off load**

**fr: traction de blocage**

**de: Festlegekraft**

**3.1.21 tirante permanente:** Anclaje cuya duración de uso prevista es superior a dos años.

**en: permanent anchor**

**fr: tirant d'ancrage permanent**

**de: Daueranker**

**3.1.22 carga de ensayo:** Carga máxima a la cual está sometido un anclaje durante de un ensayo de puesta en carga.

**en: proof load**

**fr: traction d'épreuve**

**de: Prüfkraft**

**3.1.23 ensayo de adecuación:** El ensayo de puesta en carga efectuado para asegurar que el diseño del anclaje se adapta a las condiciones particulares del terreno.

**en:** suitability test  
**fr:** essai de contrôle  
**de:** Eignungsprüfung

**3.1.24 ensayo de sistema:** Ensayo llevado a cabo sobre un sistema de anclaje para verificar su capacidad de cumplir las exigencias requeridas.

**en:** system test  
**fr:** essai de système  
**de:** Systemprüfung

**3.1.25 anclaje provisional:** Anclaje cuya duración de uso prevista es inferior a dos años.

**en:** temporary anchor  
**fr:** tirant d'ancrage provisoire  
**de:** Kurzzeitanker

**3.1.26 tendón:** Parte del anclaje que permite transferir las fuerzas de tracción del bulbo a la cabeza de anclaje.

**en:** tendon  
**fr:** armature  
**de:** Zugglied

**3.1.27 longitud de empotramiento de la armadura:** Longitud del tendón dentro del bulbo y apta para transmitir las fuerzas de tracción aplicadas.

**en:** tendon bond length  
**fr:** longueur de scellement de l'armature  
**de:** Verankerungslänge des Zugliedes

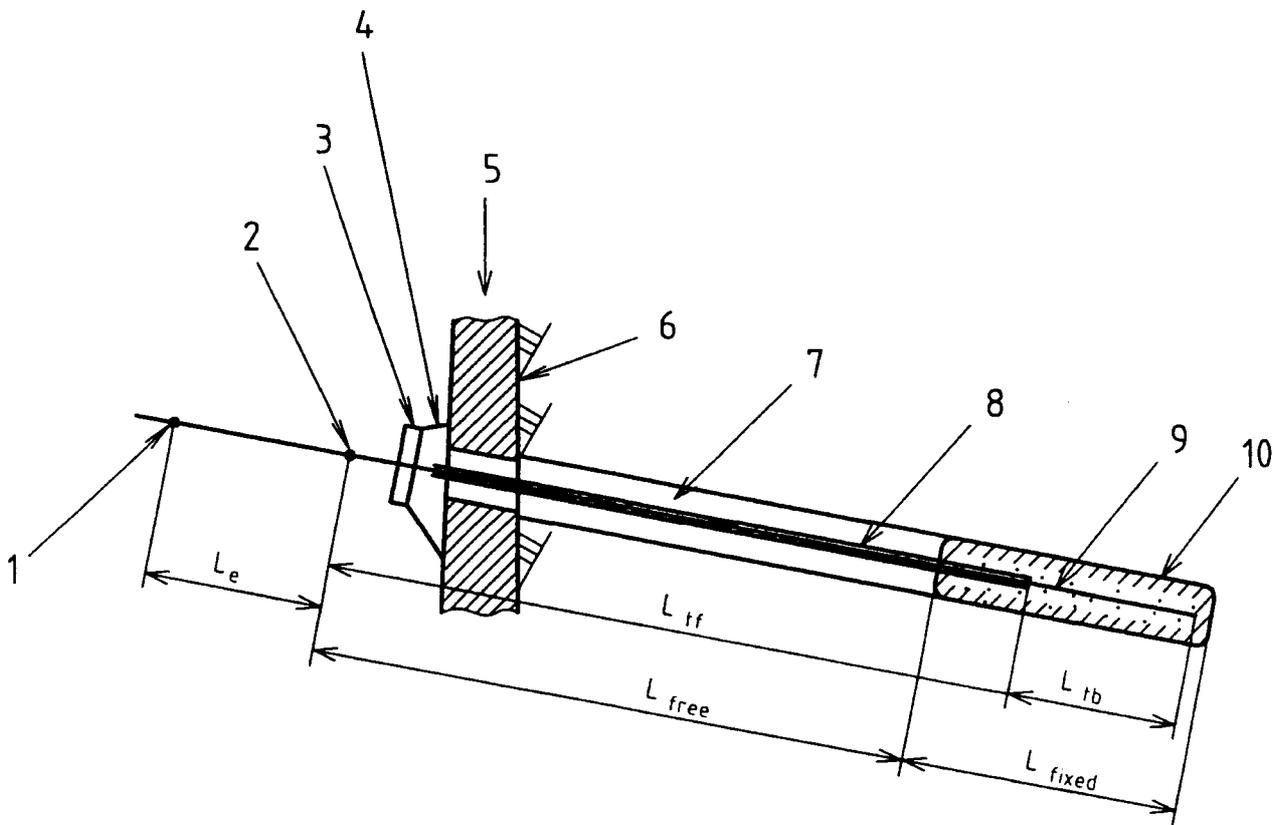
**3.1.28 longitud libre del tendón:** Longitud del tendón comprendida entre la cabeza de anclaje y el principio de la longitud fija del tendón.

En la figura 1 se da un esquema de un tirante tipo

**en:** tendon free length  
**fr:** longueur libre de l'armature  
**de:** Freie Stahllänge

### 3.2 Símbolos

$A_t$	Sección del tendón del tirante
$E_d$	Valor de cálculo de una acción
$E_{d,dst}$	Valor de cálculo de una acción desfavorable
$E_{d,stb}$	Valor de cálculo de una acción favorable.
$E_t$	Modulo de elasticidad del tendón
$f$	Pérdida por rozamiento en porcentaje de $P_p$
$f_{tk}$	Esfuerzo característico de tracción del tendón
$f_{t0,1k}$	Esfuerzo característico de tracción por el cual hay una deformación permanente del 0,1%
$f_r$	Superficie relativa a los nervios, alambres, barras lisas o nervaduras
$k_s$	Módulo de fluencia
$k_l$	Pérdida de carga
$L_{app}$	Longitud libre equivalente
$L_e$	Longitud exterior de la armadura comprendida entre el punto de fijación sobre la cabeza del anclaje y el punto de fijación sobre el gato
$L_{fixed}$	Longitud de bulbo del anclaje
$L_{free}$	Longitud libre del anclaje
$L_{tb}$	Longitud fija del tendón
$L_{tf}$	Longitud libre del tendón
$P$	Carga del tendón
$P_a$	Carga de referencia
$P_c$	Carga crítica de fluencia
$P'_c$	Carga crítica de fluencia estimada
$P_o$	Carga de bloqueo
$P_p$	Carga de ensayo
$P_{tk}$	Carga característica de la armadura
$P_{t0,1k}$	Carga característica para la cual hay una deformación permanente del 0,1%
$R_a$	Resistencia externa del anclaje
$R_{ak}$	Resistencia externa característica del anclaje
$R_{ik}$	Resistencia interna característica del anclaje
$R_d$	Resistencia de cálculo del anclaje
$R_k$	La más débil de las resistencias interna y externa características
$s$	Desplazamiento de la cabeza del anclaje
$t$	Tiempo medido a partir de la aplicación de un incremento de carga o de la carga de bloqueo
$\alpha$	Pendiente de la curva de desplazamiento en función del logaritmo del tiempo bajo carga constante
$\Delta P$	Diferencia entre la carga de ensayo de un tirante y la carga de referencia
$\Delta s$	Alargamiento del tendón de anclaje de una carga bajo un incremento de carga $\Delta P$
$\gamma q$	Coefficiente de variación de la carga del anclaje
$\gamma R$	Coefficiente parcial de resistencia de anclaje



Leyenda

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1 Punto de fijación del tendón en el gato cuando el tirante se pone en carga                      | 6 Suelo/roca          |
| 2 Punto de fijación del tendón sobre la cabeza de anclaje hasta la puesta en servicio del tirante | 7 Perforación         |
| 3 Placa de apoyo  | 8 Vaina de zona libre |
| 4 Bloque de transferencia de las fuerzas de tracción  | 9 Tendón              |
| 5 Parte de la estructura  | 10 Lechada            |

Fig. 1 – Esquema de anclaje. No se dan los detalles relativos a la cabeza de anclaje y su protección

## **4 NECESIDADES ESPECÍFICAS**

### **4.1 Generalidades**

Los anclajes sólo se diseñan correctamente sobre la base de un conocimiento profundo del proyecto de construcción, de las exigencias relativas a la estructura del anclaje y las propiedades geotécnicas del terreno. Para una puesta en obra económica y técnicamente eficaz de los anclajes, los ensayos sobre éstos y una verificación de los parámetros de cálculo son indispensables para el proceso de ejecución.

Se deben definir las responsabilidades de todas las partes implicadas en el diseño, la ejecución, los ensayos y el mantenimiento de los anclajes. La tabla 1 muestra, a título indicativo, un reparto adecuado de las actividades de diseño y ejecución.

### **4.2 Organización de los trabajos de anclaje**

Los siguientes datos deben estar disponibles antes del inicio del suministro de los tirantes de anclaje y su puesta en obra:

- las particularidades del proyecto de anclajes, las fases y el programa de ejecución;
- el informe del reconocimiento geotécnico incluyendo la clasificación y las propiedades mecánicas de los terrenos en los cuales se van a instalar los anclajes;
- las informaciones relativas a todos los elementos circundantes tales como las conducciones subterráneas, cimentaciones existentes y las prescripciones relativas al emplazamiento y al funcionamiento de los anclajes; información sobre la propiedad del terreno en el que se instalarán los anclajes.
- los datos relativos a los acuerdos necesarios para la obtención de la autorización de acceso al lugar donde se instalarán los tirantes.

El alcance de los trabajos de reconocimiento y diseño depende del tipo y de la importancia del proyecto, de la complejidad de los terrenos y del nivel de riesgo que implique el proyecto.

**Tabla 1**  
**Actividades de diseño y ejecución**

<b>Proceso de diseño</b>	<b>Actividades relacionadas con la ejecución especializada</b>
1. Disponer de los datos geotécnicos para la realización de los anclajes.	1. Evaluación de los datos del reconocimiento geotécnico desde el punto de vista de las hipótesis de cálculo.
2. Decisión de utilizar los tirantes, pruebas y ensayos necesarios, establecimiento de especificaciones.	2. Elección de elementos y detalles constructivos de los anclajes.
3. Obtención de autorizaciones legales y los derechos de avance en la propiedad de una tercera parte.	3. Determinación de la dimensión del bulbo.
4. Diseño general de la estructura de anclaje, cálculo de las fuerzas de anclaje necesarias. Definición de coeficientes de seguridad a utilizar.	4. Descripción del sistema de protección contra la corrosión para los anclajes.
5. Definición de la duración de uso de los anclajes (permanente o provisional) y las prescripciones para la protección contra la corrosión.	5. Abastecimiento y puesta en obra de los tirantes.
6. Especificaciones del espacio entre anclajes y en orientación, las cargas de anclaje y las exigencias relativas a la estabilidad del conjunto.	6. Suministro y puesta en obra de los sistemas de control de los anclajes.
7. Especificaciones de la distancia mínima a respetar entre la estructura y la zona de bulbo de anclaje, garantizando la estabilidad de la estructura.	7. Control de calidad de los trabajos.
8. Especificación de los dispositivos que transfieren las fuerzas de carga del anclaje a la estructura.	8. Ejecución e interpretación de los ensayos de anclajes.
9. Especificación de cada fase de puesta en carga de los tirantes, impuesta por el tendón y fijación de los niveles de carga apropiados.	9. Evaluación de los ensayos de anclaje <i>in situ</i> .
10. Especificación de los sistemas de control del comportamiento de los tirantes e interpretación de los resultados.	10. Mantenimiento de los anclajes según las instrucciones.
11. Supervisión de los trabajos.	
12. Especificaciones relativas al mantenimiento de los anclajes.	
13. Indicaciones a todas las partes implicadas en los puntos importantes del proyecto, a los cuales conviene prestar una atención particular.	

Se recomienda poner a disposición, antes del principio de los trabajos, las informaciones adecuadas con el fin de facilitar el cálculo y la realización de los anclajes, y de tenerla al día durante la ejecución de los trabajos.

NOTA – Todo o parte del diseño puede ser efectuado por el cliente, la empresa constructora, por una empresa especializada o por una consultoría.

## 5 RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

El terreno es un elemento fundamental del dispositivo de anclaje, y por tanto un buen reconocimiento geotécnico es esencial. La falta de información precisa sobre las condiciones del terreno en la zona de anclaje es la causa más frecuente de la rotura de los anclajes en los ensayos de aceptación.

Dado que los anclajes inclinados se instalan con la misma frecuencia que los verticales, se recomienda reconocer las variaciones laterales del terreno, y sus propiedades tan exactamente como las verticales.

Todos los reconocimientos geotécnicos se deben realizar conforme a las prescripciones y a las recomendaciones de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1 Eurocódigo 7 Parte 1.

Se recomienda realizar el reconocimiento geotécnico hasta la periferia de la obra, de tal forma que el perfil de los estratos del terreno puedan obtenerse por interpolación entre los distintos puntos de sondeo, más que por extrapolación fuera de la zona reconocida. Cuando los esfuerzos inducidos por los anclajes se desarrollan fuera del lugar de trabajo, conviene, en la medida de lo posible, extender el reconocimiento geotécnico a aquellas zonas de terreno que se encuentran en la zona de influencia de los anclajes.

Se recomienda realizar el reconocimiento geotécnico con la profundidad suficiente como para garantizar:

- a) que se ha alcanzado una formación geológica conocida, o
- b) que un estrato más profundo no afectará al proyecto, y
- c) que las condiciones de las aguas subterráneas estén bien definidas.

Además de la litología y el corte geológico de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1997-1 Eurocódigo 7. Parte 1, se deben conocer los datos siguientes, cuando sean aplicables.

- a) para los suelos:
  - descripción y clasificación (granulometría, contenido en agua, peso por unidad, densidad relativa, límites de Atterberg);
  - corte directo, compresión y rigidez radial;
  - permeabilidad
  - condiciones de las aguas subterráneas
  - agresividad de los suelos y las aguas subterráneas
  - existencia de corrientes vagabundas
- b) para rocas:
  - clasificación (geometría de las discontinuidades, peso por unidad, grado de alteración, ensayos de clasificación)
  - estratificación
  - resistencia a compresión simple de la roca
  - resistencia al cizallamiento y deformabilidad del macizo rocosa
  - permeabilidad
  - condiciones de las aguas subterráneas
  - agresividad de las rocas y de las aguas subterráneas
  - existencia de corriente vagabundas



La cabeza de anclaje debe cumplir la Norma Experimental Europea ENV 1992-1: Eurocódigo 2 y debe permitir desviaciones angulares del tendón con respecto a la dirección perpendicular a la cabeza, de 3° como máximo con una carga igual al 97% de la carga característica  $P_{ik}$  del tendón.

La cabeza de anclaje debe transmitir, conforme al diseño del conjunto, la carga del tendón a la estructura principal o al terreno, por medio de elementos calculados y ensayados.

La cabeza de anclaje (es decir la conexión entre el tendón de anclaje y la estructura) se debe adaptar a las deformaciones que se puedan producir durante la duración prevista de la estructura.

#### **6.4 Manguitos de empalme**

Los manguitos deben cumplir la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 Eurocódigo 2, y no deben disminuir la resistencia a tracción exigida al tendón.

Se recomienda evitar el empleo de manguitos en la zona de bulbo.

El alargamiento libre de un tendón de acero no se debe limitar por la existencia manguito.

La protección contra la corrosión del manguito debe ser compatible con la protección contra la corrosión del tendón.

#### **6.5 Zona de bulbo**

Se deben utilizar barras lisas o corrugadas, o tubos de compresión para anclar el tendón al bulbo

A título indicativo, pueden anclar los tipos de tendón de acero siguientes:

- Alambres estirados en frío perfiles después del estiramiento.
- Alambres templados y revenidos, con nervaduras laminadas en caliente.
- Barras nervadas.
- Trenzado de siete alambres.

La superficie relativa  $f_r$ , de alambres y de barras nervadas deben cumplir la Norma Europea Experimental ENV 1992 1-1: Eurocódigo 2.

Los aceros de pretensados de superficie lisa con o sin dispositivo de anclaje especialmente ensayados; sólo deberán utilizarse para tirantes de anclaje provisional, y bajo la supervisión del representante técnico del cliente.

#### **6.6 Separadores y otros elementos en la perforación**

Todos los tendones y las vainas se deberán proteger con un recubrimiento de lechada de al menos 10 mm de espesor con respecto a la pared de la perforación. Esto se puede lograr con separadores o centradores.

Cuando se coloca definitivamente un elemento en la perforación, se recomienda colocarlo de manera que no reduzca la capacidad de anclaje. Para garantizar la correcta colocación de los tendones, de sus componentes de los elementos de protección contra la corrosión u otros componentes en la perforación; se recomienda colocar los separadores de modo que el recubrimiento mínimo sea respetada y que sea posible el relleno completo de los huecos con la lechada.

Los separadores y centradores no deben perjudicar la inyección de la lechada.

Cuando se utiliza un tirante de anclaje permanente, los separadores se utilizan en el exterior de un tendón, y se fabricarán con materiales resistentes a la corrosión.

El diseño de los centradores se debe adaptar a la forma de la perforación por ejemplo. Los ensanchamientos en forma de campana, el peso de la armadura, y la inestabilidad del terreno durante la colocación del tendón.

## 6.7 Lechada de cemento y aditivos

Las lechadas utilizadas en la protección y en contacto con la armadura metálica deberán cumplir los proyectos de Norma prEN 445, prEN 446 y prEN 447. En caso de contradicción entre las especificaciones de las normas de producto y la presente norma, se deben adoptar las especificaciones de la presente norma.

Cuando la lechada de cemento se utiliza para sellar un tendón y una vaina, o para proteger tubos de acero se recomienda controlar las propiedades de la lechada para evitar la retracción y la exudación. Para lechadas entre la vaina y la pared del talado, la relación agua/cemento se elegirá en función de las condiciones del terreno.

Los cementos de alto contenido en sulfatos no se deben utilizar en las armaduras pretensadas.

Cuando se escoge un tipo de cemento para la lechada, en contacto con el terreno, se debe tener en cuenta la presencia de sustancias agresivas del medio ambiente (por ejemplo ácido carbónico y sulfatos naturales), la permeabilidad del terreno y la duración del uso previsto del anclaje. La agresividad del medio ambiente se definirá según la Norma Europea Experimental ENV 206.

Se pueden utilizar aditivos para mejorar la trabajabilidad y durabilidad de la lechada, para reducir la exudación y la retracción o para acelerar el fraguado. La utilización de aditivos en contacto con el acero de pretensar deberá ser aprobada por el representante técnico del cliente. Los aditivos deberán estar libres de elementos susceptibles de deteriorar los aceros de pretensar o la lechada. No se utilizarán aditivos que contengan más de un 0,1% (en peso) de cloruros, sulfatos o nitratos.

Cuando sea necesario, se puede incorporar a la lechada sillares inertes (por ejemplo arena) para reducir las fugas de lechada en la perforación.

Se recomienda la realización de ensayos en laboratorios *in situ* para verificar la composición de la lechada. Estos ensayos deberán cumplir la Norma prEN 445, siempre y cuando sea aplicable.

## 6.8 Lechada de resina

Las resinas y las lechadas de resina se podrán utilizar en anclajes en lugar de las lechadas de cemento, siempre que se establezca un sistema de ensayos que justifiquen su aplicación.

Se recomienda la realización de ensayos en laboratorio *in situ* para verificar la composición de la mezcla, la eficacia del acusado, el tiempo de fraguado y las propiedades de la lechada.

## 6.9 Protección contra la corrosión de las armaduras de acero y de los componentes de acero bajo carga

**6.9.1 Generalidades.** No existe ningún medio seguro para identificar con la suficiente precisión las condiciones de agresividad con el fin de determinar la velocidad de corrosión del acero en el terreno. Todos los componentes de acero bajo carga, deben estar protegidos contra la corrosión durante el tiempo de duración previsto. Si es necesario, los elementos de protección contra la corrosión deberán ser capaces de transmitir las sollicitaciones aplicadas a los tendones.

La clase de protección contra la corrosión se define en función a la duración de utilización prevista para el anclaje:

- los anclajes provisionales son aquellos cuya duración de utilización es inferior a dos años;
- los anclajes permanentes son aquellos cuya duración de utilización es superior a dos años.

**6.9.2 Anclajes provisionales.** Los elementos de acero de un anclaje provisional deberán tener un recubrimiento de protección que inhiba o impida la corrosión, durante una duración mínima de dos años.

Cuando la duración de utilización de un anclaje provisional deba ser prolongada temporalmente o cuando se utilice en condiciones conocidas de agresividad del suelos, se deben tomar las medidas contra la corrosión de todas las partes del anclaje con la autorización del representante técnico del cliente.

La tabla 2 describe ejemplos de protección contra la corrosión que se pueden considerar que cumplen los principios de protección de los anclajes temporales.

**Tabla 2**  
**Ejemplos de sistemas de protección contra la corrosión para anclajes provisionales**

<p><b>1 ZONA DE BULBO</b></p> <p>Todos los tendones utilizados deben tener un recubrimiento mínimo de lechada de cemento de 10 mm con relación a la pared de la perforación. Cuando existan condiciones agresivas en el terreno, se puede mejorar esta protección, por ejemplo utilizando un tubo corrugado alrededor de la(s) armadura(s).</p>
<p><b>2 PARTE LIBRE</b></p> <p>El sistema de protección deberá presentar la menor fricción posible y permitir el libre desplazamiento del tendón en la perforación. Esto se puede lograr con uno de los sistemas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Una vaina de plástico rodeando cada cable, y sellada en su extremo para evitar la entrada de agua.</li> <li>b) Una vaina de plástico rodeando cada cable, completamente rellena con un producto anticorrosión.</li> <li>c) Una vaina o un tubo de plástico o acero, común a todos los cables y sellado en su extremo para evitar la entrada de agua.</li> <li>d) Una vaina o un tubo de plástico o acero, común a todos los cables completamente relleno con un producto anticorrosión.</li> </ul> <p>b) y d) son apropiadas en el caso de utilización temporal prolongada o en condiciones de terrenos agresivos.</p>
<p><b>3 EMPALME DE LA CABEZA DE ANCLAJE Y LA ZONA LIBRE (INTERIOR DE LA CABEZA DE ANCLAJE)</b></p> <p>La vaina o el tubo de la zona de bulbo se puede unir a la placa de apoyo/cabeza de anclaje, también se puede utilizar un manguito metálico o un tubo de plástico soldado o unido a la placa de apoyo. En este último caso, el manguito o el tubo se deben solapar con la vaina de la zona libre y en caso de prolongar el tiempo de uso se rellena con un producto anticorrosivo y cemento o resina en el extremo inferior.</p>
<p><b>4 CABEZA DE ANCLAJE</b></p> <p>Cuando la cabeza de anclaje sea accesible para inspección o un posible cambio del recubrimiento, serán aceptables las protecciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) una capa anticorrosiva no fluida; o</li> <li>b) una combinación de un producto anticorrosión y de una banda impregnada de un producto anti-corrosión.</li> </ul> <p>Cuando la cabeza de anclaje sea inaccesible se instalará una tapa de metal o plástico rellena de un producto anticorrosivo para prolongar su utilización.</p> <p>En el caso de condiciones agresivas conocidas, la cabeza de anclaje se protegerá con una tapa de plástico o metal rellena de un producto anticorrosivo.</p>

**6.9.3 Anclajes permanentes.** La protección mínima contra la corrosión alrededor de las armaduras de un anclaje permanente, debe estar formada por una capa continua de un material anticorrosivo que no se degrade la duración prevista del anclaje.

El(los) tendón(es) de un anclaje permanente deberá(n) tener una de las protecciones siguientes:

- a) dos barreras de protección contra la corrosión a fin de que si una de las barreras se deteriora durante la instalación la otra permanezca intacta;
- b) una sola barrera de protección anticorrosión, a condición que su integridad sea probada por ensayos realizados *in situ* sobre cada anclaje (véase el anexo A);
- c) un sistema de protección contra la corrosión proporcionado por un anclaje de tipo tubo manguito metálico (véanse los apartados 6.10.4 y 6.10.9);
- d) un sistema de protección contra la corrosión proporcionado por un anclaje del tipo manguito de plástico (véanse los apartados 6.10.4 y 6.10.9)
- e) un sistema de protección contra la corrosión proporcionado por un sistema de anclaje de tubo de acero a compresión (véanse los apartados 6.10.4 y 6.10.6).

La tabla 3 describe ejemplos de protección contra la corrosión que se pueden considerar que cumplen los principios de protección de los anclajes temporales.

**Tabla 3**  
**Ejemplos de sistemas de protección contra la corrosión para tirantes de anclaje permanentes**

<b>VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN</b>	
<p>a) Todos los sistemas de protección contra la corrosión debe estar sometido a ensayos para verificar su validez. Se deberá confeccionarse un informe con los resultados de los ensayos.</p> <p>b) El representante técnico del cliente hará una evaluación técnica de los resultados de los ensayos de protección contra la corrosión con el fin de verificar y que se alcanza el nivel de protección requerido para cada barrera. Se hace notar que en ciertos sistemas, la integridad de la barrera de protección interior depende de la integridad de la barrera exterior.</p> <p>c) En los casos en los que existe una única barrera contra la corrosión en la zona de bulbo, la integridad de esta barrera, se puede comprobar con un ensayo "in situ", como puede ser el de resistividad eléctrica.</p>	
<p><b>1. ZONA DE BULBO</b></p> <p>El encapsulado puede ser uno de los siguientes:</p> <p>a) un tubo de plástico corrugado rodeando el tendón y la lechada de cemento.</p> <p>b) dos tubos de plástico corrugados concéntricos rodeando el tendón o (con cemento o resina preinyectada) en la parte central y el espacio anular entre los tubos antes de colocarlas en obra.</p> <p>c) un único tubo de plástico corrugado preinyectado con una lechada de cemento. El recubrimiento mínimo entre la barra y el tubo debe ser de 5 mm. La barra o barras deben ser corrugadas y continuas. El ancho de las fisuras de la lechada entre tubo y barra o barras no sobrepasará 0,1 mm en carga de servicio.</p> <p>d) un único tubo manguito de acero o de plástico corrugado, de 3 mm de espesor mínimo con una capa exterior de al menos 20 mm de lechada de cemento inyectado a una presión mínima de 500 kPa, con intervalos no mayores de 1 mm entre los manguitos de inyección. El recubrimiento mínimo entre tubo y tendón será de 5 mm. La anchura de las fisuras de la lechada de cemento no sobrepasará los 2 mm en carga de servicio.</p> <p>e) un solo tubo corrugado de acero (trabajando a compresión) rodeando un tendón de acero engrasado. El tubo y la caperuza de plástico en la tuerca de bloqueo estarán protegidos por una lechada de cemento de 10 mm de espesor, mínimo. La anchura de las fisuras de la lechada no superarán 0,1 mm en carga de servicio.</p>	<p align="center"><b>BARRERAS DE PROTECCIÓN</b></p> <p>a) un tubo de plástico;</p> <p>b) dos tubos de plástico;</p> <p>c) un tubo de plástico exterior con lechada de cemento en el interior;</p> <p>d) Un tubo de acero o plástico exterior con lechada de cemento en el interior;</p> <p>e) Un tubo de acero interior rodeado de lechada de cemento.</p>
<p><b>2. PARTE LIBRE</b></p> <p>El sistema de protección que permite el libre desplazamiento de la armadura en la perforación se puede obtener por uno de los sistemas siguientes:</p> <p>a) Una vaina de plástico rodeando cada armadura y rellena de un producto flexible de protección contra la corrosión, para las disposiciones A, B, C o D;</p> <p>b) Una vaina de plástico rodeando cada armadura y llena de lechada de cemento, más las disposiciones A o B.</p> <p>c) Una vaina de plástico común a varias armaduras y totalmente llena de lechada de cemento más las disposiciones B.</p> <p>A) Un tubo común o una vaina de plástico con una protección flexible contra la corrosión.</p> <p>B) Un tubo común o una vaina de plástico sellado en sus extremidades contra la entrada de agua.</p> <p>C) Un tubo común o una vaina de plástico rellena de lechada de cemento.</p> <p>D) Un tubo común en acero relleno de una lechada de cemento denso.</p> <p>Para permitir el movimiento libre de la armadura durante la puesta en carga tanto si las vainas son individuales como comunes, no estarán selladas a la armadura o tendrán una superficie de contacto lubricada.</p>	
<p><b>3. EMPALME ENTRE LA CABEZA DE ANCLAJE Y LA PARTE LIBRE</b></p> <p>Un racor metálico o un tubo de plástico rígido empotrado por inyección de lechada u hormigón se empalma o suelda el tubo de la parte libre añadiendo una protección contra la corrosión de cemento o resina.</p>	
<p><b>4. CABEZA DE ANCLAJE</b></p> <p>Una tapa metálica pintada y/o galvanizada con un espesor mínimo de 3 mm o con una tapa de plástico rígido de 5 mm de espesor mínimo conectado a la placa de apoyo. Si esta placa es móvil se rellena con un producto flexible contra la corrosión y una junta de estanquidad. Si la placa fuera inamovible se podrá rellenar de cemento o resina.</p>	

## **6.10 Productos y materiales comúnmente utilizados como barreras de protección contra la corrosión**

**6.10.1 Vainas y tubos de plásticos.** Las vainas y tubos de plástico deben cumplir las normas europeas de producto pertinentes, y en particular, deben ser continuos, estancos al agua, resistentes al envejecimiento por rayos ultravioletas durante su almacenaje, transporte y puesta en obra. Las uniones entre los elementos de plástico deberán sellarse para evitar la entrada de agua, por contacto directo o mediante juntas de estanquidad. Cuando se utilice PVC deberá ser resistente al envejecimiento y no deberá producir cloruros.

El espesor mínimo de un tubo corrugado externo, común a uno o varios tendones deberá ser de:

- 1,0 mm para un diámetro interno  $\leq 80$  mm;
- 1,5 mm para un diámetro interno  $> 80$  mm y  $\leq 120$  mm;
- 2,0 mm para un diámetro interno  $> 120$  mm.

El espesor mínimo de una vaina o de un tubo externo liso deberá ser superior a 1 mm más que lo requerido por tubos corrugados y sino deberá estar reforzado.

El espesor mínimo de una vaina o un tubo interno deberá ser de 1,0 mm y si el tubo es corrugado deberá ser de 0,8 mm.

NOTA – Cuando el sistema de protección tiene dos barreras de plástico, la barrera exterior protege a la interior durante la instalación.

Cuando los tubos de plástico sirven para transmitir las fuerzas, deberán presentar ondulaciones o corrugados. La altura y la frecuencia de las ondulaciones o corrugados deberán ser proporcionales al espesor de los tubos debiendo permitir la transmisión de esfuerzos sin pérdida de carga por fluencia.

Cuando se utiliza un tubo corrugado para la inyección de lechada a presión se considerara como una barrera de protección. Se deberá demostrar que después de la inyección de la lechada el agua no penetra por los orificios de inyección.

El tubo deberá tener como mínimo 3 mm de espesor y deberá asegurar mediante un ensayo del sistema (véase el apartado 6.12) que la altura y frecuencia de las corrugas permitirán la transmisión de las fuerzas.

Se debería demostrar, la integridad de la barrera de protección en carga (véase el apartado 6.12)

Cuando un solo tubo de plástico constituye la única barrera de protección de un anclaje permanente, se realizará un ensayo *in situ*, para verificar la integridad del tubo de plástico sobre toda la longitud del anclaje. Este ensayo podrá ser el de resistividad eléctrica, realizado después de la inyección y después de la puesta en carga para demostrar el aislamiento del tendón de acero con relación al suelo. Los detalles de un método aceptable de ensayo se reflejan en el anexo A de la presente norma.

**6.10.2 Manguitos termo retráctiles.** Los manguitos termo-retráctiles se podrán utilizar para encapsular los productos anticorrosivos que recubren la superficie de un elemento de acero.

El calentamiento de la vaina termo-retráctil se deberá realizar de manera que los otros elementos del sistema de protección contra la corrosión siguen cumpliendo las exigencias de la presente norma, es decir, no se han deformado, ni quemado durante el calentamiento ni se ha perjudicado de cualquier otra manera, disminuyendo su capacidad de protección.

La tasa de retracción deberá ser tal que se eviten las grietas a largo plazo. El espesor de los manguitos después de la retracción no será inferior a 1 mm.

**6.10.3 Dispositivos de estanquidad.** Los racores mecánicos se hacen estancos mediante juntas tóricas, juntas de estanquidad o manguitos termo retráctiles.

Las juntas de estanquidad u otros dispositivos equivalentes deberán prevenir las fugas del producto de protección o la entrada de agua cualquiera que sean los movimientos posteriores entre los elementos sellados.

**6.10.4 Lechada de cemento.** La lechada de cemento inyectada en las perforaciones se podrá considerar como una barrera anticorrosión siempre y cuando el espesor de recubrimiento sea igual o mayor a 10 mm en toda su longitud.

Se permitirá realizar una de las dos barreras de protección permanente por inyección de lechada de cemento denso realizado en fábrica o bajo condiciones de control equivalentes, a condición de que el espesor del recubrimiento entre el tendón y la barrera externa sea superior o igual a 5 mm y a condición que la de las anchuras de las fisuras bajo carga de servicio no sobrepase 0,1 mm (véase el apartado 6.12).

En el caso de anclajes del tipo tubo manguito, en los que el tubo de acero o plástico corrugado tiene un espesor mínimo de 3 mm y con un recubrimiento mínimo de 20 mm de lechada inyectada bajo una presión mínima de 500 kPa, se deberá comprobar que el ancho de las fisuras de la lechada de recubrimiento de tendón no sobrepasen 0,2 mm en carga de servicio.

El reparto de las fisuras y sus anchuras, bajo ciertas condiciones, está condicionado por la distribución de las corrugas sobre la barra.

Se recomienda efectuar un control de calidad y verificar los volúmenes inyectados durante la inyección de la protección.

**6.10.5 Resinas.** Las lechadas a base de resinas inyectadas o puestas en obra según un proceso controlado, con un recubrimiento mínimo del tendón de 5 mm, se autorizan como barrera de protección permanente a condición de que las lechadas están confinadas, no estén solicitadas de tensiones y que no se fisuren.

**6.10.6 Productos de protección anticorrosión.** Los productos de protección anticorrosión a base de ceras de petróleo y grasas se utilizan habitualmente.

Las recomendaciones relativas a los criterios de aceptación de productos viscosos anticorrosión así como ejemplos de métodos de ensayos para medir las propiedades de estos productos se dan en el anexo C.

Se recomienda que las propiedades de los productos contra la corrosión incluyan, estabilidad a la oxidación y resistencia a los ataques bacterianos y microbiológicos.

Los productos anticorrosión utilizados como barreras de protección permanente deben estar encapsulados, o en un tubo o vaina robusta, estanca al agua y resistente a la corrosión. En esta condiciones estos productos actúan también como lubricantes y como material de relleno que impide la presencia de gas y agua.

Los productos anticorrosivos no confinados se pueden utilizar como barreras de protección temporal, a condición de que se apliquen como una capa. Las bandas impregnadas de productos anticorrosión, no se pueden utilizar más que como protección temporal, porque pueden deteriorarse cuando están expuestos al aire o al agua.

**6.10.7 Revestimientos metálicos de protección.** Los revestimientos metálicos de protección no se deben utilizar sobre los tendones.

Los revestimientos metálicos de protección se pueden utilizar sobre otros elementos de acero tales como las placas de apoyo, las tapas y los manguitos.

**6.10.8 Otros revestimientos para las piezas de acero.** Los revestimientos a base de breas – epoxy, breas de poliuretano así como los revestimientos de epoxy pegado por fusión se podrán aplicar a las superficies de acero decapadas por chorro de arena, y exentos de cuerpos extraños nocivos. Podrán servir de protección contra la corrosión de armaduras de anclajes provisionales, a condición de hacerse en fábrica.

Se podrá utilizar como producto anticorrosión de armaduras de tendones de anclajes permanentes cuando el espesor del revestimiento aplicado en fábrica sea superior o igual a 0,3 mm, y cuando se eviten los defectos de aplicación como las picaduras mediante un control de fabricación adecuado.

Estos revestimientos sólo se aceptarán en la zona de bulbo, cuando la capacidad de sellado y la integridad de la protección contra la corrosión se controlen mediante ensayos (véase el apartado 6.12).

**6.10.9 Tubos y tapas de acero.** Las partes de acero que están protegidas exteriormente, podrán servir de barrera de protección permanente contra la corrosión. Este tipo de protección pueden ser proporcionada por una lechada densa de mortero de cemento, hormigón, galvanizado en caliente o por aplicación de varias capas de materiales aprobados por el representante técnico del cliente.

Las partes de acero revestidas que están tensionadas durante la puesta en carga del anclaje sólo se autorizarán cuando el sellado y la integridad de la protección contra la corrosión se controlen mediante ensayos (véase el apartado 6.12).

Cuando un tubo utilizado para la inyección de la lechada se considerara como una barrera de protección, se recomienda demostrar que las válvulas de inyección impiden la entrada de agua después de la inyección de la lechada.

El tubo tendrá como mínimo 3 mm de espesor rodeado con un mínimo de 20 mm de lechada, la capacidad de sellado y la integridad de la protección contra la corrosión se comprobará con un ensayo del sistema (véase el apartado 6.12).

El deterioro potencial del acero o del revestimiento deberá tenerse en cuenta durante el diseño del anclaje, la elección del espesor del elemento y sus dimensiones.

## **6.11 Puesta en obra de la protección contra la corrosión**

**6.11.1 Generalidades.** Los principios de protección son los mismos para todas las partes del tirante de anclaje, pero en detalle, son necesarios tratamientos diferentes para la sellada, y la parte libre y la cabeza de anclaje.

El sistema de protección no deberá dificultar las operaciones de puesta en carga o distensión, ni ser perjudicadas por estas operaciones. Las vainas, bien sean individuales o comunes no deberán estar selladas a la armadura, sino que deberán tener una superficie de contacto lubricada para permitir el movimiento libre de la armadura durante la puesta en carga.

Hay que prestar atención a los extremos así como a las zonas de transición de una protección a otra.

El mantenimiento del tirante de anclaje o de una de sus partes se deberá efectuar de manera que el sistema de protección contra la corrosión no se vea perjudicado.

**6.11.2 Parte libre y sellada de las armaduras.** Cuando las armaduras están rodeadas por un sistema de protección contra la corrosión, no deberán presentar signos de corrosión, ni picaduras. Se permitirá una ligera capa de óxido mientras que se pueda eliminar y que la superficie se recubra inmediatamente con lechada de cemento.

La protección de la parte libre de un tirante provisional se podrá aplicar *in situ*, en la obra o antes del suministro.

La protección de la zona de bulbo de un anclaje provisional se aplica generalmente *in situ*.

Cuando se realiza la protección contra la corrosión de los tirantes permanentes, antes de la colocación de la armadura en la perforación por medio de tubos, vainas de plástico, vainas permanentes, lechada de cemento o resina, productos anticorrosivos, se recomienda realizar estas protecciones en fábrica, o en obra en talleres construidos a tal efecto donde se garanticen las condiciones de limpieza y aire seco. Las condiciones ambientales deberán ser tales que la puesta en obra de la protección contra la corrosión y se puede realizar conforme a esta norma.

Cuando la protección contra la corrosión de los tirantes permanentes se realizan *in situ* por medio de tubos, vainas de plástico, vainas permanentes de armadura, tubos metálicos, lechada de cemento o de resina, productos anticorrosión, se recomienda tomar precauciones para que la armadura y el tubo metálico estén exentos de materiales corrosivos y limpios durante esta operación.

La inyección de la protección de los tirantes de anclaje permanentes se deberá realizar desde el extremo inferior de la vaina hasta llenar todo el espacio.

Las armaduras no deberán estar expuesta a corrientes vagabundas nocivas.

**6.11.3 Cabeza de anclaje.** Cuando el entorno es agresivo, se debe aplicar una protección previa de la cabeza del anclaje tanto provisionales como permanentes.

El propósito de la protección de la parte interna de la cabeza del anclaje es solaparla con la protección de la parte libre a fin de proteger la pequeña parte de la armadura situada bajo la placa de apoyo y pasando a través de ella.

Cuando se empleen técnicas de inyección, se recomienda utilizar un tubo de inyección en la parte baja y un tubo al aire libre en la parte superior, a fin de asegurar el llenado completo de los huecos. Cuando la parte interna de la cabeza de anclaje no sea accesible, se podrá utilizar un producto anticorrosión preacondicionado.

Cuando no haya una nueva puesta en carga o no se exige un control de tracción las resinas, lechadas y otros materiales de estanquidad se pueden utilizar en el interior de la tapa. Cuando se haga una nueva puesta en carga o se exija un control de tracción la protección de la parte exterior de la cabeza de anclaje, incluyendo la tapa y su contenido no serán móviles. el relleno de la tapa con productos anticorrosión debe ser posible tras estas operaciones.

Se debe prever una estanqueidad conveniente así como un acoplamiento mecánico entre la tapa y la placa de apoyo.

En el caso de anclajes permanentes, la placa de apoyo y los elementos de acero de la cabeza de anclaje expuestos a la corrosión antes de ser suministrados a la obra deberán estar protegidos conforme a las normas europeas, relativas al revestimiento de estructuras de acero.

El espesor mínimo de las tapas de acero para los anclajes permanentes deberá ser de 3 mm.

Pendiente de la aprobación por el representante técnico del cliente se podrán utilizar tapas de plástico armado de un espesor mínimo de 5 mm.

El sistema de protección aplicados a las partes exteriores e interiores de la cabeza de anclaje se deberá someter a un ensayo de sistema (véase el apartado 6.12).

### **6.12 Evaluación de la protección contra la corrosión para los tirantes de anclaje permanentes por ensayos de sistema**

Todos los sistemas de protección contra la corrosión deberán estar sometidos al menos a un ensayo para verificar su capacidad. Se establecerá un informe detallado de los resultados de los ensayos.

El tipo de un ensayo a realizar para cada sistema de anclaje deberá ser aprobado conforme a los principios definidos por esta norma, por el representante técnico del cliente, que deberá evaluar los resultados de los ensayos de protección contra la corrosión y verificar que la protección dada, cumple su papel.

El procedimiento de la puesta en carga deberá ser conforme con uno de los 3 tipos de ensayo de control descritos en el capítulo 9.

Las condiciones de confinamiento de la parte sellada ensayada, simularán los que aparecen en el terreno, sea roca o suelo.

NOTA – Se pueden realizar ensayos *in situ* o en laboratorio. Los ensayos de laboratorio pueden comportar una puesta en carga uniforme de las armaduras protegidas así como una simulación de la transferencia de esfuerzos a la parte sellada.

Cuando los ensayos se realizan *in situ*, el procedimiento de puesta en obra simulará el utilizado para la ejecución de tirantes de servicio.

Después de la puesta en carga, los tirantes de anclaje ensayados deberán ser retirados con precaución a fin de ver los efectos de la puesta en carga sobre el sistema de protección contra la corrosión.

Las propiedades siguientes del sistema de protección contra la corrosión se deberán valorar, según el caso, por inspección o medidas:

- espesor e integridad de los tubos de plástico;
- integridad de las juntas de estanqueidad;
- recubrimiento de lechada y comportamiento de los separadores y centradores;
- posición y distancia entre las fisuras de la lechada de cemento cuando sea utilizado como barrera de protección contra la corrosión;
- grado y volumen de relleno de los tubos, por la lechada, las resinas y los productos anticorrosivos;
- deterioro del revestimiento;
- grado sellamiento o despegue a lo largo de las interfaces;
- deformación de los componentes durante la puesta en obra o durante la puesta en carga.

Conviene notar que para ciertos sistemas de protección, la integridad de la barrera interna depende del mantenimiento de la integridad de la barrera externa.

Cuando los tubos de plástico se utilizan como barrera de protección en la parte sellada de un tirante permanente, se recomienda comprobarla por medio de un ensayo de investigación de sistema de integridad de inyección de protección. Conviene simular en el ensayo las condiciones reales de puesta en carga, adoptando un medio que reproduzca aproximadamente las condiciones del terreno, y demostrar, por examen del plástico después de su puesta en carga, que la protección no ha sido dañada. Para una disposición dada de las armaduras y un tamaño dado del tubo, será suficiente un solo ensayo de sistema reproduciendo las condiciones de puesta en carga (el anexo B describe un ejemplo de ensayo).

Cuando un solo manguito de acero de 3 mm de espesor o de plástico rugoso se protege con una lechada de fisuración controlado de 20 mm de espesor mínimo, se recomienda establecer un banco de ensayo para observar los espacios entre las fisuras en el interior del manguito (en términos del número de fisuras por metro). A partir de las características elásticas de las armaduras y de la distancia entre las fisuras observadas, conviene comprobar que la longitud de las fisuras no sobrepasan 0,2 mm bajo carga de servicio durante el ensayo. Para una disposición y tamaño del tubo dado de la armadura, será suficiente un solo ensayo de sistema que reproduzca las condiciones de puesta en carga.

Cuando un sólo tubo de protección de plástico se complete con una lechada de fisuración controlada, se recomienda verificar mediante un ensayo de sistema, el espacio de las fisuras en el interior de la protección (en términos de número de fisuras por metro). A partir de las características elásticas de las armaduras y de los espacios entre las fisuras observadas, es conveniente demostrar que el ancho de las fisuras no sobrepasa 0,1 mm en carga de servicio cuando se realiza el ensayo. Se recomienda demostrar por examen del plástico tras la puesta en carga que la protección no se ha dañado. Para una disposición y tamaño de tubo dados, es suficiente un sólo ensayo del sistema que reproduzca las condiciones de puesta en carga (el anexo B describe un ejemplo de ensayo).

## **7 CONSIDERACIONES RELATIVAS AL DISEÑO**

Este capítulo se refiere a los puntos que se recomienda tener en cuenta durante el proyecto de ejecución de un tirante de anclaje la manera que el sistema de anclaje se realice correctamente.

Para un cálculo detallado de un tirante de anclaje, conviene dirigirse al anexo D de esta norma. Para el cálculo de la estructura en conjunto, conviene referirse a las Normas Europeas Experimentales ENV 1991-1-1: Eurocódigo 1 y ENV 1997-1: Eurocódigo 7 – Parte 1.

Las estructuras ancladas pueden ser de uno de los siguientes tipos:

- obras de contención;
- obras de estabilización de terraplenes y taludes;
- obras de estabilización de cavidades subterráneas;
- obras enterradas en el subsuelo sometidas a sobrepresiones debidas al agua subterránea;
- obras que transfieren al terreno esfuerzos de tracción generados por una superestructura o por las acciones sobre esta.

Se recomienda indicar claramente en los planos de ejecución, cual es la solución más conveniente:

- secciones mínimas y características de los materiales de todos los elementos del sistema de anclaje;
- dimensiones de las partes libre y zona de bulbo;
- ángulo de inclinación de las perforaciones destinadas a recibir los tirantes;
- tolerancia en las dimensiones, inclinaciones e implantaciones de tirantes;

El cálculo de un sistema de anclaje se basa sobre los parámetros de suelo y la geometría del dispositivo de anclaje. Cuando se propongan modificaciones de implantación, separación o inclinación, se recomienda hacer estudios o ensayos adecuados que demuestren que las modificaciones son aceptables.

Durante el diseño del tirante se recomienda tener en cuenta los puntos siguientes:

- esfuerzos y retracciones transmitidos por los tirantes al conjunto estructural, como base de dimensionamiento de ésta;
- la manera en que las tracciones se aplican al tirante durante la duración de utilización, es decir esfuerzo estático y dinámico;
- el reparto de los esfuerzos del dispositivo de anclaje sobre la estructura anclada durante la puesta en carga de los tirantes y en el curso de la duración de la vida de la estructura anclada.
- la unión entre el tirante y la estructura, adecuada para asegurar la estabilidad de la estructura durante todas las etapas;
- las consecuencias de una rotura del tirante durante o después de la puesta en carga y la posibilidad de ejecutar, si fuera necesario tirantes de reemplazo en zonas reservadas.

## 8 EJECUCIÓN

### 8.1 Perforación

**8.1.1 Generalidades.** Las perforaciones deberán realizarse respetando las tolerancias especificadas.

NOTA 1 – En caso de condiciones imprevistas en obra, se podrán modificar el proyecto y los procedimientos de ejecución. Por ejemplo, se podrá aumentar durante la ejecución el diámetro de la perforación si se considera necesario un entubado, etc. Se deberán respetar las tolerancias de colocación para que el cálculo de la estructura de anclaje siga siendo válido. En general se evitarán las perforaciones horizontales por la dificultad que implica el llenado con lechada de estas perforaciones.

El diámetro de la perforación estará previsto de manera que asegure el recubrimiento con la lechada en toda la longitud de bulbo.

Se recomienda prever una tolerancia de sobreperforación con relación a la profundidad específica, cuando el detritus no se pueda extraer del fondo de la perforación.

Salvo especificaciones contrarias, se recomienda el cumplimiento de las siguientes condiciones para la elección y la colocación del material de perforación:

- el eje de la cabeza del anclaje se debe colocar con una tolerancia radial inferior a 75 mm;
- alineación inicial del útil de perforación en el emboquillado con una desviación máxima de 2° con respecto al eje específico de perforación;

Se recomienda verificar la desviación cada dos metros de perforación.

Durante la perforación, se recomienda limitar la tolerancia de desviación total de perforación a 1/30 de la longitud del anclaje. Algunas condiciones del terreno pueden conducir a una variación de esta tolerancia.

NOTA 2 - El bastidor de perforación o las plataformas de trabajo deberán ser estables si se quiere obtener el alineamiento de perforación deseado. En caso de duda, se recomienda verificar la colocación durante la perforación. El respeto a las tolerancias angulares es importante en razón a los riesgos de interacción entre las zonas de bulbo. Si se quiere evitar las interferencias entre las zonas de bulbo de los anclajes muy largos las tolerancias angulares serán menores.

NOTA 3 - El respeto de las tolerancias de desviación es importante si se quieren evitar los problemas de puesta en obra, las fricciones indeseables en la puesta en carga y las interacciones entre las zonas de bulbo. La medida de las desviaciones no es una práctica común, pero en casos especiales se podrán emplear inclinómetros. Se pueden reducir las desviaciones de perforación utilizando sargas de perforación rígidas de gran diámetro con entubación. En general las desviaciones de sistemas rígidos son debidas a obstáculos o a planos de falla inclinados. Existen otros medios y métodos no descritos en esta norma, que permiten verificar y subsanar los defectos de alineamiento.

**8.1.2 Métodos de perforación.** El método de perforación se deberá escoger en función de las condiciones del terreno para provocar una modificación mínima del terreno o una mejora de su capacidad de anclado y permitir movilizar la resistencia de cálculo ( $R_d$ ) del anclaje.

NOTA 1 - Es deseable una modificación mínima del terreno por las razones siguientes:

- evitar el derrumbamiento de las paredes durante la perforación y la colocación del tirante (si fuera necesario, se utilizará entubación);
- limitar la descompresión de los terrenos circundantes en los suelos no cohesivos;
- limitar las variaciones de los niveles de las capas freáticas;
- limitar las modificaciones de las paredes de las perforaciones realizadas en suelos cohesivos y en las rocas disgregadas.

La modificación del terreno se deberá limitar para reducir efectos negativos, tales como apertura de grietas, preconsolidación, post-consolidación asociadas a cada operación. El fluido de perforación y los aditivos no deberán ejercer efectos perjudiciales sobre el tirante, su protección, la lechada o las paredes de la perforación, en particular en la zona de bulbo.

NOTA 2 - La relación entre la sección de entrada del fluido de perforación y la sección anular de la salida del fluido, el tamaño de las partículas, la densidad de los detritus de perforación y la densidad del fluido de perforación condicionan la eficacia del sistema de perforación. El uso de aire comprimido, cuando hay sedimentos coherentes húmedos puede producir tapones que provoquen alteraciones inconvenientes en el terreno adyacente. Las arcillas, margas y las rocas margosas se pueden hinchar o reestructurar cuando están sometidos a circulación de agua durante largos periodos.

Convendrá tomar precauciones particulares cuando las perforaciones atraviesan capas artesianas.

NOTA 3 - Las arenas podrán perder su compacidad y estabilidad a causa de los gradientes hidráulicos desfavorables del suelo en las cercanías de la perforación.

Las técnicas que permitan neutralizar la presión del agua, prevenir la aparición de agua, evitar el derrumbamiento de la perforación y la erosión durante la perforación, así como las operaciones de puesta en obra del tirante y la inyección, se definirán previamente y se utilizarán cómo y dónde se requiera. En el caso de niveles altos de agua, se podrán utilizar fluidos de perforación pesados.

NOTA 4 – Medidas preventivas posibles:

- utilización de accesorios especiales en la perforación tales como selladas u obturadores;
- depresión del nivel freático, tras estimar el riesgo de asentamiento del conjunto del terreno;
- inyección previa del terreno.

Se recomienda dirigir las operaciones de perforación de manera que toda variación importante de las características del terreno con relación a las utilizadas en el cálculo del anclaje se puedan detectar inmediatamente.

Se recomienda establecer un perfil indicativo de los terrenos atravesados, utilizando unos datos simples y prácticos del terreno (por ejemplo, clase de terreno, color del fluido de retorno o pérdida de fluido) que puedan ser reconocidos fácilmente por el operario.

Toda variación importante respecto a este perfil se notificará inmediatamente al proyectista.

## **8.2 Fabricación, transporte, mantenimiento y colocación de los tirantes**

**8.2.1 Fabricación.** Durante la fabricación y almacenamiento, los tirantes y sus componentes se deberán conservar limpios, exentos de corrosión, alteraciones mecánicas o proyecciones de soldadura.

Los tirantes no deberán ser enrollados con un radio menor al especificado por el fabricante.

Cuando los tirantes estén formados por cordones o hilos preengrasados la parte de la zona de bulbo del anclaje se deberá limpiar cuidadosamente con vapor o disolventes.

Cuando se utilicen disolventes, se deberán tomar las precauciones necesarias para que los disolventes no sean agresivos para los componentes del anclaje y para que después de su aplicación, el conjunto lechada/tirante sea capaz de transmitir sin fluencia las cargas de cálculo.

Se recomienda fijar sólidamente al tirante los centradores destinados a asegurar el espesor del recubrimiento de proyecto.

NOTA – El espacio entre los centradores dependerá principalmente de la rigidez de la armadura y de su peso por unidad de longitud.

**8.2.2 Transporte, almacenamiento y puesta en obra.** Durante el almacenamiento, el transporte y la puesta en obra del tendón se tomarán las precauciones necesarias para evitar deformaciones en el tirante y no alterar sus componentes y elementos de protección contra la corrosión.

Antes de proceder a la puesta en obra del tendón, se verificará además de su longitud, la limpieza de la perforación y la ausencia de obstáculos. Se recomienda efectuar la puesta en obra del tendón según un procedimiento controlado, teniendo cuidado de no modificar la posición relativa de los elementos. En el caso de anclajes inclinados hacia arriba, se recomienda fijar sólidamente los tendones una vez instalados a fin de evitar cualquier desplazamiento durante la inyección.

Se recomienda adoptar el tiempo de espera entre las distintas operaciones necesarias para adaptar el anclaje a las propiedades del terreno. Se recomienda, sin embargo que los tiempos de espera sean lo más cortos posible.

NOTA – Cuando exista riesgo de hinchamiento o reblandecimiento de los terrenos, se recomienda colocar e inyectar el anclaje inmediatamente después de la perforación. Por regla general, se recomienda realizar la puesta en obra y la inyección del anclaje el mismo día de la perforación de la zona de bulbo. Si no se pudiera evitar una demora, se recomienda obturar cada perforación a fin de evitar la entrada de materiales perjudiciales.

### 8.3 Inyección

**8.3.1 Generalidades.** La inyección cumple una o varias de las siguientes funciones:

- a) formación de la zona de bulbo de manera que la carga aplicada se pueda transferir del anclaje al terreno circundante;
- b) protección de los tendones contra la corrosión;
- c) refuerzo del terreno en las inmediaciones de la zona de bulbo a fin de mejorar la capacidad de anclaje;
- d) estanquidad del terreno en las inmediaciones de la zona de bulbo a fin de limitar las pérdidas de lechada.

NOTA – Cuando el volumen de la lechada inyectada bajo una presión igual o inferior a la presión del terreno de cobertura sobrepasa en tres veces el volumen de la perforación, se habrá de hacer un relleno de los huecos, lo que no forma parte de las condiciones habituales de ejecución de anclajes. En estas situaciones, se procederá a rellenar todos los huecos previamente a la inyección de los anclajes. Para las funciones c) y d) se deben consumir cantidades normales de lechada

A fin de ejecutar la zona de bulbo del anclaje sin una pérdida incontrolada de lechada, se considerarán las operaciones siguientes:

- ensayo en la perforación;
- inyección previa;
- inyección del anclaje.

**8.3.2 Ensayo en la perforación.** Una vez acabada la perforación o durante la inyección del anclaje se tomarán medidas a fin de garantizar que la zona de bulbo esté totalmente inyectada después del fraguado de la lechada.

NOTA 1 – Ensayo de agua – En las rocas, la pérdida probable de lechada de cemento se puede estimar a partir del análisis de un ensayo de inyección de agua. Habitualmente se efectuará un ensayo de agua en carga variable sobre el conjunto de la perforación o sobre la zona de bulbo aislada por medio de un obturador. La inyección previa no será necesaria en general cuando las fugas o pérdidas de agua en la perforación o en la zona de bulbo, medida durante un periodo de 10 minutos, sean inferiores a 5 l/min. bajo la carga de 0,1 MPa.

NOTA 2 – Ensayo de lechada en carga variable – Cuando no está prevista la inyección a presión de la zona de bulbo, el taladro de la perforación puede ser relleno previamente con lechada hasta la estabilización. Si el nivel continúa cayendo se recomienda rellenar el taladro y tras el fraguado de la lechada, se hace una nueva perforación, y se somete a un nuevo ensayo. Este nuevo ensayo se podrá hacer sobre la longitud total o sobre la zona de bulbo, aislada por medio de un obturador o por medio de un entubado sobre la zona libre del anclaje.

NOTA 3 – Inyección a presión – Para los anclajes en los cuales la zona de bulbo se inyecta a presión, la inyección se efectuará por fases, se hará por medio de tubos, obturadores o manguitos. Durante la inyección un caudal controlado a una presión determinada indicará una adecuada inyección de la lechada. Una vez acabada la inyección de la zona de bulbo, la eficacia de esta fase se verificará controlando el comportamiento del terreno con una inyección complementaria de lechada. La inyección se considerará eficaz, si en esta nueva inyección se alcanza la presión de cierre de forma rápida.

**8.3.3 Inyección previa.** Se recomienda efectuar la inyección previa rellenando la perforación con una lechada de cemento. En rocas o suelos cohesivos, de rígidos a duros, con fisuras abiertas o parcialmente rellenas, así como en suelos permeables sin cohesión, se utilizará una lechada de arena/cemento para reducir el consumo de inyección.

Una vez acabada la inyección previa, se recomienda ensayar de nuevo la perforación y si es necesario repetir la inyección después de la nueva perforación.

**8.3.4 Inyección previa en rocas.** En las rocas blandas el momento de reperfilar en relación al aumento de resistencia de la lechada es de importancia capital, para evitar así problemas de desviación de la perforación.

Las lechadas químicas no serán necesarias en la práctica normal, pero si se utilizan, se verificará que no existan elementos con efectos nocivos para el anclaje o su entorno (por ejemplo contaminación del suelo y aguas subterráneas).

Cuando un ensayo de agua revele una conexión hidráulica con un anclaje adyacente no cargado, se recomienda no poner en carga el anclaje antes de que la lechada haya fraguado.

**8.3.5 Inyección previa en suelos.** Cuando un suelo es muy permeable se puede requerir una inyección previa o cuando existe el riesgo de inyección de un caudal grande de lechada sin aparición de una presión de cierre. La inyección previa no es un procedimiento habitual, sino una medida de precaución cuando las condiciones antes descritas son susceptibles de predominar.

En circunstancias excepcionales, puede ser necesario realizar un relleno general todos los huecos a fin de mejorar la resistencia total del terreno. En este caso esta operación no se debe considerar como parte de la ejecución normal del anclaje.

**8.3.6 Inyección del anclaje.** Se recomienda inyectar la lechada lo más rápido posible después de acabar la perforación.

Cuando la inyección se efectúa por medio de un tubo sumergido, la parte inferior deberá estar sumergida en la zona de bulbo y la inyección continuará hasta que la consistencia de la lechada que rebosa sea la misma que la de la lechada inyectada.

El procedimiento de inyección deberá comenzar siempre por la parte inferior de la zona a inyectar. Para las perforaciones horizontales o inclinadas hacia arriba, se necesitará un sellado o un obturador para evitar las pérdidas de lechada, bien en la zona de bulbo del anclaje, bien en su longitud total.

El agua y el aire podrán salir libremente para permitir el llenado completo de lechada.

Cuando los anclajes sean casi horizontales, se recomienda adoptar medidas particulares como inyección a presión en varias fases, para evitar dejar huecos en la zona a inyectar. Cuando se efectúe una inyección repetitiva de la zona de bulbo, se recomienda incorporar un dispositivo tipo tubo-manguito en el anclaje.

En ciertas condiciones del terreno, cuando la columna de lechada esté suficientemente confinada en la zona libre, se pueden transferir tracciones de la zona de bulbo a la parte libre y al trasdos de la estructura anclada. Si fuera necesario, se podrán tomar una o varias de las medidas siguientes:

- evacuar la lechada del trasdos de la estructura;
- reemplazar la lechada de la zona libre por un material que no transmita los esfuerzos;
- poner un obturador en la cabeza de la zona de bulbo.

Se podrán utilizar inyecciones repetitivas a alta presión para aumentar la resistencia externa del anclaje, introduciendo lechada suplementaria en el terreno y elevar así la tensión normal en las superficies de contacto terreno – lechada. Estas operaciones se pueden realizar antes o después de la puesta en obra del tendón.

Conviene neutralizar toda salida de agua artesiana en el interior de la perforación por medio de una sobrecarga de lechada o por una inyección previa, sea cual sea la velocidad de salida del agua.

## **8.4 Puesta en carga**

**8.4.1 Generalidades.** La puesta en carga es necesaria para cumplir las funciones siguientes:

- constatar y consignar el comportamiento de un anclaje bajo tensión.
- poner en tensión el tendón y anclarlo a su carga de bloqueo.

La puesta en carga y anotaciones se deberán realizar por personal experimentado bajo el control de un supervisor convenientemente cualificado, siendo preferiblemente de una empresa especializada en anclajes o de un suministrador del material de puesta en carga.

**8.4.2 Equipos.** El equipo de puesta en carga y los aparatos de medida de carga de fuerza de uso normal se deben calibrar a intervalos de al menos seis meses, y los certificados de calibración estarán siempre disponibles en obra.

Se recomienda utilizar para la puesta en carga de barras o cables únicamente material apto para poner en carga el tendón completo en una sola operación. En el caso de usar equipos que pongan en carga los cables individuales de manera no simultánea, se recomienda equiparlos o completarlos con dispositivos de medida que permitan en todo momento, calcular la tensión total sobre el conjunto de cables. Si no es así, se recomienda efectuar verificaciones precisas de despegue.

NOTA – Es conveniente que el equipo empleado permita, con total seguridad, poner el tendón en carga hasta la carga de ensayo específica dentro del rango de presión máxima certificada de la unidad de bombeo.

**8.4.3 Procedimiento de puesta en carga.** Se debe especificar en el momento de proyectar el anclaje si la puesta en carga de la estructura anclada condiciona el orden o las fases de puesta en carga de los anclajes.

Se recomienda proyectar la estructura anclada para que proporcione la reacción necesaria para la realización de ensayos de puesta en carga de los anclajes, de acuerdo al capítulo 9.

Se recomienda precisar antes de todos los trabajos de puesta en carga, los procedimientos de aplicación y anotación de las cargas, a utilizar para cada ensayo u operación de puesta en carga.

Se recomienda utilizar el material en estricta conformidad con las instrucciones del fabricante.

Se recomienda no comenzar la puesta en carga y los ensayos antes de que la lechada no se haya endurecido lo suficiente, normalmente se necesitan siete días.

En suelos cohesivos sensibles, se recomienda prescribir un periodo mínimo de tiempo para que el suelo recupere sus propiedades después de la instalación de los anclajes y antes de la puesta en carga.

Durante los ensayos y la puesta en carga de anclajes de servicio, conviene que no exista ninguna huella de la mordaza del gato en los tendones bajo la cabeza del anclaje, ni daño en la protección contra la corrosión.

## 9 ENSAYOS, SUPERVISIÓN Y CONTROLES

### 9.1 Generalidades

La Norma Europea Experimental ENV 1997-1 distingue dos categorías de ensayos de anclajes, denominados de idoneidad y aceptación. En esta norma hay tres tipos diferentes de ensayos *in situ*. Son:

- ensayos de investigación;
- ensayos de adecuación;
- ensayos de aceptación.

Los dos primeros tipos de ensayo se pueden considerar como subdivisiones de la categoría general de ensayos de idoneidad.

Los ensayos de investigación tienen por objeto establecer, antes de la ejecución de anclajes de servicio:

- a) resistencia  $R_a$  del anclaje, en la interfaz lechada-terreno;
- b) resistencia crítica de fluencia del sistema de anclaje,  $\sigma$ ;
- c) las características de fluencia del sistema de anclaje bajo diferentes niveles de carga hasta la rotura,  $\sigma$ ;
- d) las características de la pérdida de carga del sistema de anclaje en estado límite de servicio  $P_0$ ;
- e) longitud libre equivalente  $L_{app}$ .

Los ensayos de adecuación tienen por objeto confirmar, para una situación de cálculo particular:

- a) la capacidad del anclaje de soportar una tracción de prueba  $P_p$ ;
- b) las características de fluencia o la pérdida de carga del sistema de anclaje hasta la carga de prueba;
- c) longitud libre equivalente  $L_{app}$ .

Los ensayos de aceptación tienen por objeto confirmar para cada tirante:

- a) capacidad del tirante para soportar una carga de prueba;
- b) las características de fluencia o la pérdida de carga en el estado límite de servicio, si es necesario;
- c) longitud libre equivalente  $L_{app}$ .

La supervisión y evaluación de todos los ensayos de anclajes se deberán realizar por una persona competente y experimentada en técnicas de anclaje. Los métodos de ensayo prescritos para cada tipo de ensayo se deberán aplicar tanto a los anclajes provisionales como a los permanentes.

Para cada proyecto, donde se realice la inyección interior de la vaina anticorrosión dentro de la perforación, se debe proceder antes de la inyección a la realización de un ensayo de ejecución completo de la protección con la calidad de la lechada conforme al apartado 6.7 y según un proceso que simule al del proyecto, en condiciones geométricas similares. El ensayo se realiza al principio de los trabajos. Existen otros ensayos de sistema para verificar la validez de la protección contra la corrosión ofrecida por el sistema de anclaje. Estos ensayos se describen en el capítulo 6.

## 9.2 Precisión de las medidas

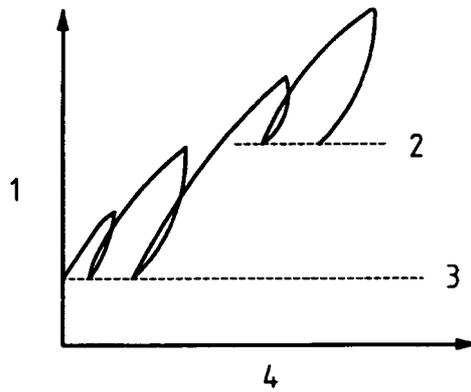
En cada ensayo donde se mida la fluencia, durante las fases donde la carga se mantiene constante, la precisión de las medidas de desplazamiento debe ser de 0,05 mm. Cuando no sea necesario medir la fluencia, la precisión de las medidas de desplazamiento será de 0,5 mm. Cuando se mida la fluencia, el dispositivo de medida deberá tener una sensibilidad de 0,01 mm.

La medida de carga en los tirantes se deberá realizar con dispositivos de medida hidráulicos, eléctricos o mecánicos con una precisión de medida superior o igual al 2% de la carga máxima aplicada en cada ensayo. Todo dispositivo de medida utilizado para medir la pérdida de carga, tendrá una precisión superior o igual al 0,5% de la carga de prueba.

## 9.3 Carga de referencia

La carga de referencia  $P_a$ , a partir de la cual se inician las medidas de desplazamiento, está entorno al 10% de la carga de prueba.

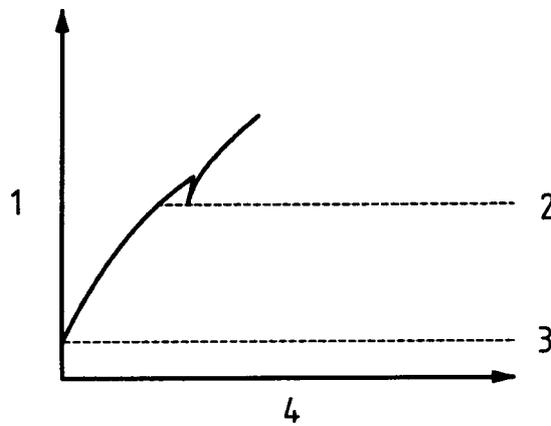
En las puestas en carga cíclicas, donde se produzcan alargamientos inusualmente elevados del tendón, está permitido utilizar cargas de referencia superiores (véase la figura 2).



**Leyenda**

- 1 Carga del anclaje
- 2 Carga eventual de referencia más elevada
- 3 Carga de referencia  $P_a$
- 4 Desplazamiento del anclaje

**a) Con ciclo de carga**



**Leyenda**

- 1 Carga del anclaje
- 2 Carga eventual de referencia más elevada
- 3 Carga de referencia  $P_a$
- 4 Desplazamiento del anclaje

**b) Sin ciclo de carga**

**Fig. 2 – Procedimientos de puesta en carga con aumento de la carga de referencia**

#### 9.4 Métodos de ensayo

El representante técnico del cliente deberá dar su aprobación sobre el método de ensayo y la interpretación que se deberá utilizar en cada tipo de ensayo. En cada tipo de ensayo el anclaje se pondrá en carga por etapas, conforme al procedimiento requerido para este tipo de ensayo.

El anexo E recoge tres ejemplos de métodos de ensayo aplicables. Estos métodos son:

- a) Método de ensayo 1: El anclaje se pone en carga progresivamente o en varios ciclos, a partir de una carga de referencia hasta una carga de prueba. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden durante un cierto tiempo a la carga máxima de cada ciclo.
- b) Método de ensayo 2: El anclaje se pone en carga progresivamente por ciclos, desde una carga de referencia hasta una carga de prueba o hasta la rotura. La pérdida de carga en la cabeza de anclaje se mide durante un período de tiempo, a la carga máxima de cada ciclo.
- c) Método de ensayo 3: El anclaje se pondrá en carga progresivamente por escalones, a partir de un valor de referencia hasta una carga máxima. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden a carga constante en cada escalón.

Durante toda la duración del ensayo, el tendón se debe cargar y descargar sin brusquedad con el fin de que no aparezcan choques ni cargas dinámicas.

#### 9.5 Ensayo de investigación

Los ensayos de investigación pueden ser exigidos para suministrar al proyectista, antes de la instalación de los anclajes, el valor y la resistencia última en relación a las condiciones del terreno y a los materiales utilizados, para probar la capacidad de la empresa y/o para probar un nuevo tipo de anclaje llevando el ensayo hasta la rotura lechada – terreno.

Se recomienda hacer ensayos de investigación cuando los anclajes se utilicen en condiciones de terreno que no haya sido objeto de ensayos previos, o cuando las cargas de servicio son superiores a las adoptadas en condiciones de terreno similares.

Los anclajes utilizados para ensayos de investigación son sometidos a cargas más elevadas que en los ensayos de control, se podrá pues, aumentar la sección del tendón. Cuando sean solicitados hasta la rotura, los anclajes sometidos a ensayos de investigación no se deberán utilizar en obras permanentes.

Se recomienda escoger como diámetro de la perforación y dimensión de otros componentes, excepto el tendón, los mismos que los anclajes en servicio.

Cuando sea imposible aumentar la capacidad del tendón, se puede utilizar una longitud de bulbo menor para inducir el fallo lechada – suelo.

Cuando un ensayo de un anclaje con longitud de bulbo reducida se ha llevado a rotura, para anclajes con longitud de bulbo mayor, no se debe esperar un aumento de la resistencia externa proporcional al aumento de la longitud de bulbo.

Cuando el diámetro de una perforación se aumenta, es posible que el comportamiento de un anclaje en un ensayo de investigación no sea comparable al de los tirantes de servicio.

El anclaje de ensayo se deberá poner en carga hasta la rotura ( $R_a$ ) o hasta la carga de prueba ( $P_p$ ) sin sobrepasar para la carga de los tendones, el valor menor de  $0,80 P_{tk}$  o  $0,95 P_{t0,1k}$ .

#### 9.6 Ensayo de adecuación

Antes de realizar ensayos de adecuación, se recomienda tener en cuenta toda la experiencia de ensayos de investigación y evaluar los resultados de cada uno de dichos ensayos.

Los objetivos de un ensayo de adecuación son:

- a) confirmar, cuando se hayan realizado ensayos de investigación, las características de fluencia y la pérdida de carga aceptable en la cargas de prueba, y de bloqueo de futuros ensayos de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- b) determinar, cuando no se haya realizado un ensayo de investigación, cuando no exista ningún resultado de ensayo de investigación sobre anclaje similares en condiciones terreno similares, las mismas características del punto a) y proporcionar los criterios de fluencia, o de pérdida de carga aceptable de prueba para los ensayos de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- c) determinar la longitud libre equivalente.

Como mínimo se realizarán tres ensayos de adecuación sobre anclajes ejecutados en condiciones idénticas a aquellas de los anclajes de obra.

Cuando no se realicen ensayos de investigación el tendón de los anclajes utilizados para los ensayos de adecuación podrá tener una capacidad superior a la de los anclajes de obra.

### 9.7 Ensayo de aceptación

Cada anclaje de obra deberá ser sometido a un ensayo de aceptación.

Los objetivos de un ensayo de aceptación son:

- a) demostrar que una carga de prueba, la cual depende del método de ensayo, puede ser soportada por el tirante.
- b) determinar la longitud libre equivalente.
- c) asegurar que la carga de bloqueo, excluyendo las fuerzas de rozamiento, se situará al nivel de la carga de cálculo.
- d) determinar si fuera necesario, las características de fluencia y la pérdida de carga en el estado límite de servicio.

### 9.8 Carga máxima de bloqueo

Cuando la fluencia o la pérdida de carga límite no se sobrepase, la carga máxima de bloqueo ( $P_0$ ) se deberá limitar a  $0,60 P_{tk}$ .

Cuando en el curso de un ensayo de adecuación o de un ensayo de aceptación, la fluencia o la pérdida de carga límite se rebasa, la carga máxima de bloqueo se deberá reducir a un valor donde se satisfaga el criterio de fluencia o de pérdida de carga.

### 9.9 Evaluación de la longitud libre equivalente

La longitud libre equivalente  $L_{app}$ , se calcula a partir del alargamiento de la armadura  $\Delta s$  medida a partir del punto de fijación del tendón sobre el gato o en un puesto de referencia ligado al tendón. Esto permite definir la posición de un punto de anclaje ficticio del tendón y comparar esta posición con la del principio de la zona de bulbo.

NOTA – En general, la ecuación siguiente se utiliza para calcular la longitud libre equivalente;

$$L_{app} = (A_t \cdot E_t \cdot \Delta s) / \Delta P$$

donde

$L_{app}$  es la longitud libre equivalente;

$A_t$  es la sección del tendón;

$E_t$  es el módulo de elasticidad del tendón;

$\Delta s$  es el alargamiento elástico del tendón;

$\Delta P$  es la carga de prueba menos la carga de referencia;

Los límites en los cuales se debe encontrar el valor  $L_{app}$  son:

límite superior:

El mayor de los valores siguientes:

$$L_{app} \leq L_{tf} + L_e + 0,5 L_{tb}$$

$$L_{app} \leq 1,10 L_{tf} + L_e$$

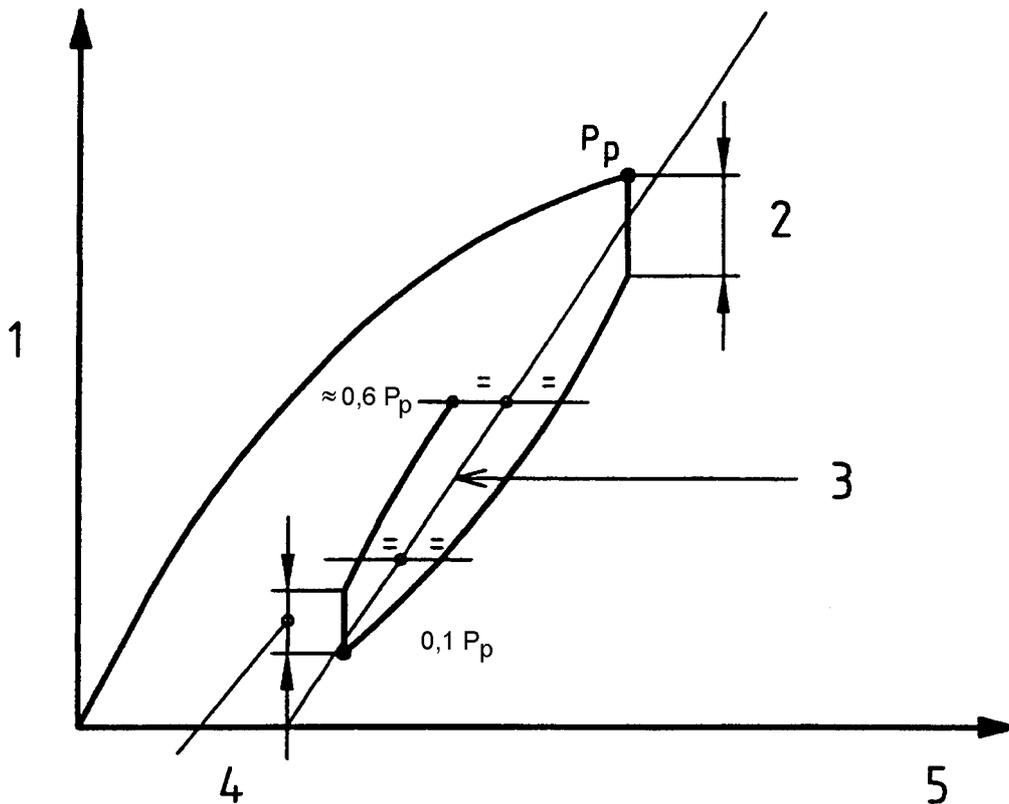
límite inferior:

$$L_{app} \geq 0,80 L_{tf} + L_e$$

Cuando exista un rozamiento significativo en la zona libre, el método indicado en la figura 3 se podrá utilizar para estimar el valor de la rigidez elástica aparente de la zona libre ( $\Delta P/\Delta s$ ), considerando el ciclo de histéresis en el interior de un ciclo de carga descarga.

NOTA – Cuando el rozamiento sobrepase el 5% de  $P_p$ , se puede tener en cuenta para determinar carga mínima de prueba o de bloqueo. Si fuera necesario se podrá reducir la carga de prueba.

Cuando la longitud libre equivalente está fuera de los límites definidos anteriormente, el anclaje se podrá someter a ciclos de carga repetitivas hasta  $P_p$ . Si el comportamiento tracción/alargamiento del anclaje se repite, puede ser aceptado por el proyectista.



Leyenda

- 1 Carga del anclaje (P)
- 2 Rozamientos
- 3 Pendiente de la curva tracción – desplazamiento  $\Delta P/\Delta s$
- 4 Rozamientos
- 5 Desplazamientos

Fig. 3 – Evaluación de la rigidez elástica cuando hay un rozamiento significativo

### 9.10 Supervisión de la ejecución y ensayos

La puesta en obra y los ensayos de los anclajes se deben supervisar y se deben realizar las actas en obra (véase el capítulo 10).

Si en la inspección se observan dudas sobre la calidad de los anclajes instalados, se procederá a realizar investigaciones complementarias para determinar el estado de los anclajes realizados.

### 9.11 Controles

Los anclajes se pueden colocar con un dispositivo de control. Cuando una estructura anclada sea sensible a modificaciones de carga o a movimientos del terreno, se puede utilizar este dispositivo para seguir su comportamiento durante su vida útil.

Se deben especificar el número de anclajes a seguir y las frecuencias.

NOTA – En ciertos casos, en razón de los movimientos de la estructura anclada, podrá ser necesario poner en carga periódicamente el anclaje a fin de mantener la carga de anclaje por encima de los niveles mínimos requeridos.

La protección contra la corrosión de las partes accesibles de la cabeza de anclaje debe ser verificada periódicamente y si fuera necesario, se debería reponer.

## 10 ACTAS Y PARTES

Se debe preparar un plan de ejecución de los anclajes que contenga las especificaciones técnicas relativas al sistema de anclaje.

NOTA – Un plan de ejecución de anclajes, según las necesidades, puede incluir las informaciones siguientes:

- el tipo de anclaje con su designación;
- el número de anclajes;
- el emplazamiento y la orientación de cada anclaje, así como las tolerancias de posición;
- la longitud de la zona libre y la zona de bulbo;
- la capacidad de carga de anclaje exigida y el valor de la carga de bloqueo;
- obstáculos conocidos;
- todos los elementos que afecten a los trabajos de anclaje

Los partes de ejecución de los anclajes se deberán redactar según la Norma Europea Experimental ENV-1997-1 para servir posteriormente de referencia. Deberán incluir:

- la secuencia de suministro de los elementos de base cemento, resinas y endurecedores, así como las lechadas de cemento y de resina;
- reconocimiento geotécnico;
- técnica de perforación;
- ejecución y geometría de los elementos de los anclajes;
- fecha y duración de la ejecución de cada anclaje;
- para los anclajes inyectados: materiales, presión, volumen inyectado, longitud inyectada, duración de la inyección;
- ejecución de la protección anticorrosión escogida;
- inyección;
- puesta en carga;
- ensayos de los anclajes;

El parte firmado de cada anclaje, se conservará en la obra. Este parte debe incluir todas las características particulares de la ejecución. Todos los partes de ejecución y actas de ensayos se deben conservar después de la finalización de los trabajos. Después de la instalación de los anclajes, los planes de ejecución se deben establecer y conservar con los partes de ejecución. Los certificados de aceptación expedidos por las autoridades reglamentarias para todos los materiales utilizados durante la puesta en obra de los anclajes, se deben conservar junto a los partes de ejecución.

Se recomienda conservar en lugar seguro las copias de todos los partes y actas descritos en este capítulo, de forma que se puedan consultar fácilmente por las partes interesadas.

El anexo F recoge un ejemplo de informes de partes y otro de acta.

## 11 REQUISITOS PARTICULARES

Durante la ejecución de los trabajos de anclaje, se satisfarán todas las normas nacionales, de acuerdo a las prescripciones o exigencias legales relativas a:

- la seguridad de la obra;
- la seguridad de los procedimientos de ejecución; y
- la seguridad de funcionamiento del material de perforación, los materiales auxiliares y los equipos;

Se prestará una atención especial a las operaciones en que se necesite la presencia de personal en las proximidades de equipos o herramientas pesadas.

Los daños y/o los riesgos ambientales que pudieran resultar de los trabajos de anclaje, se reducirán al mínimo.

Estos daños o riesgos se pueden ocasionar por:

- ruido;
- vibración de los terrenos;
- contaminación del terreno;
- contaminación de las aguas superficiales;
- contaminación de las aguas subterráneas;
- contaminación del aire;

Durante la puesta en carga, las medidas de seguridad son esenciales.

Es conveniente que los trabajadores y los observadores se sitúen a los lados del equipo de puesta en carga, y que no pasen nunca por delante cuando está en carga.

Es conveniente colocar carteles con la inscripción PELIGRO – Puesta en carga, o algún otro similar.

## ANEXO A (Informativo)

### ENSAYO ELÉCTRICO DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

#### A.1 Generalidades

Este anexo describe la medida de la resistencia eléctrica entre las armaduras de un tirante y el suelo que circunda la estructura, para determinar la eficacia del sistema utilizado de protección contra la corrosión.

Se describen dos ensayos: el primero mide el aislamiento del anclaje con relación al suelo y a la estructura, el segundo mide el aislamiento de la cabeza del anclaje con relación a la estructura aislada.

#### A.2 Medida de la resistencia eléctrica I (ERM I)

Para el procedimiento de ensayo ERM I (aislamiento de la armadura, del tirante con relación al suelo y a la estructura), véanse las figuras A1a y A1b.

Las especificaciones del material son las siguientes:

- tensión de medida: 500 V corriente continua;
- rango de medida: > 10 k $\Omega$  (0,01 M $\Omega$ ).

Durante la medida el anclaje se deberá conectar al polo positivo y la toma de tierra al polo negativo del circuito de medida. El suelo húmedo se utilizará como toma de tierra.

Igualmente se puede utilizar, como toma de tierra, los elementos de la armadura de acero de la estructura de hormigón armado, en contacto con el suelo, tuberías metálicas enterradas o claves fijadas en tierra o roca.

Durante la medición los puntos de contacto se mantendrán limpios.

El ensayo ERM I se podrá realizar en dos fases separadas:

##### Fase a

En esta fase se ensaya la integridad de la funda de plástico sobre la parte libre y sobre la parte sellada tras las diferentes etapas de instalación, es decir, antes del bloqueo del tirante:

Esto incluye:

- después de colocar el anclaje en la perforación;
- después de la primera inyección de lechada;
- después de una eventual inyección secundaria de lechada;
- después de un ensayo de recepción;

La realización de las medidas en estas etapas se ilustran en la figura A1a.

Una resistencia eléctrica medida entre el tendón y el terreno,  $\geq 0,1$  M $\Omega$ , indica un nivel de integridad aceptable la vaina de plástico.

NOTA 1 - Una vaina de plástico estanca sin defectos, da unos valores de  $R_t > 100$  M $\Omega$ .

NOTA 2 - Se recomienda que estas medidas se utilicen para observar los efectos de las diferentes operaciones de instalación del anclaje sobre la integridad de la vaina de plástico.

**Fase b**

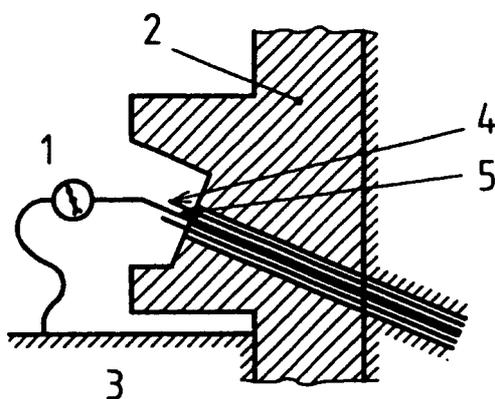
En esta fase comprobamos el aislamiento eléctrico total del tirante con relación al suelo y a la estructura:

Esto incluye:

- después del bloqueo del tirante;
- después de la inyección de la cabeza de anclaje;
- durante cualquier momento de la vida útil del anclaje;

Una resistencia eléctrica  $R$  superior o igual a  $0,1 \text{ M}\Omega$  entre el tirante de anclaje y el suelo/estructura, demuestra el aislamiento total del tirante con relación al suelo y a la estructura.

La realización de las medidas sobre un tirante terminado se muestra en la figura A1b.



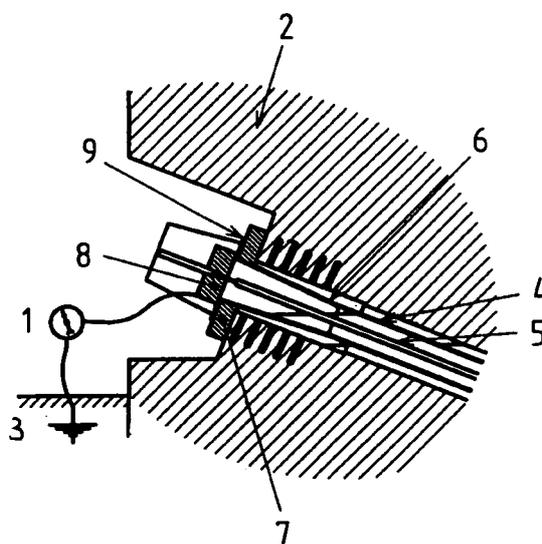
**Leyenda**

- 1 Ohmímetro
- 2 Estructura (hormigón)
- 3 Suelo
- 4 Vaina PE
- 5 Tendón

NOTA – El vértice superior de la vaina PE deberá estar seco y limpio.

$R_1$  entre el tendón y el terreno  $\geq 0,1 \text{ M}\Omega$

**Fig. A.1 a) – Ensayo ERM 1 antes del bloqueo del tirante**

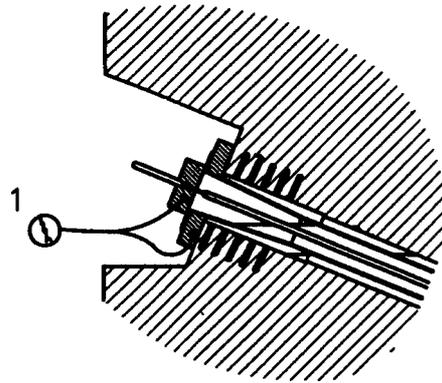


**Leyenda**

- 1 Ohmímetro
- 2 Estructura
- 3 Suelo
- 4 Vaina PE
- 5 Tendón
- 6 Tubo cónico PE
- 7 Placa de apoyo
- 8 Cabeza de anclaje
- 9 Placa de aislamiento

$R_1$  entre la cabeza de anclaje y el suelo/estructura  $\geq 0,1 \text{ M}\Omega$

**Fig. A.1 b) – Ensayo ERM I después del bloqueo del tirante**



#### Leyenda

1 Ohmímetro

NOTA – ERM II se ejecutará sólo si  $R_I$  después del bloqueo es inferior a  $0,1 \text{ M}\Omega$

$R_{II}$  entre la cabeza de anclaje y la placa de apoyo  $\geq 100 \Omega$

**Fig. A2 – Ensayo ERM II después del bloqueo del tirante**

#### A.3 Medida de la resistencia eléctrica II (ERM II)

Este ensayo sólo se realizará si  $R_I$  después del bloqueo del anclaje es inferior a  $0,1 \text{ M}\Omega$ , con el fin de demostrar, que al menos no hay contacto directo entre la cabeza de anclaje y las armaduras de acero de la estructura anclada.

El ensayo ERM II se realiza sobre el tirante de anclaje puesto en carga. Para ver el método de ejecución véase la figura A.2.

Las especificaciones del material serán las siguientes:

tensión aproximada de 40 V corriente alterna

rango de medida 0-200  $\text{K}\Omega$  (0-0,2  $\text{M}\Omega$ )

En general, la placa de apoyo se utilizará como toma de tierra.

Cuando la placa de apoyo esté revestida por un material de aislante eléctrico, se podrá utilizar el acero de la estructura anclada.

Durante la medición, la cabeza de anclaje y en particular la placa aislante entre la cabeza del anclaje y la placa de apoyo se mantendrá seca. Los puntos de contacto eléctricos se mantendrán limpios y el metal desnudo. Para garantizar buenos contactos, se usarán pinzas o potentes imanes, se utilizan para este tipo de medidas.

Las medidas ERM II son sensibles a las condiciones climáticas tales como humedad del aire en la zona de la cabeza de anclaje así como también a la posible presencia de corrientes vagabundas.

Cuando se realicen varias medidas, siempre y cuando se hayan realizado de forma correcta, en el tirante, se debe adoptar la resistencia más alta.

Si la resistencia  $R_{II}$  entre la cabeza de anclaje y la placa de apoyo o la armadura de acero de la estructura es mayor a  $100 \Omega$  significa de que no existe contacto directo entre la cabeza de anclaje y las armaduras de acero de la estructura anclada.

## ANEXO B (Informativo)

### EXAMEN PREVIO DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Este anexo describe métodos para establecer la intensidad de la protección contra la corrosión de un anclaje encapsulado prefabricado en carga o tras la puesta en carga. Estos ensayos se realizarán en un banco de ensayo. La figura B1 muestra la disposición del dispositivo de ensayo.

#### Ensayo A

Este ensayo se refiere a la puesta en carga de un tendón encapsulado, con encapsulado no confinado.

El tendón, la lechada de encapsulado y el tubo o tubos de plástico se someten a cargas idénticas a las de anclaje en servicio.

El tirante se pone en carga a la máxima a la que será sometido en el ensayo *"in situ"*.

La flexibilidad y la resistencia a la fisuración se observará exteriormente, durante la puesta en carga del tirante.

La armadura se descargará a continuación hasta una tensión nula.

La superficie exterior del tubo de plástico se retirará y las armaduras se pondrán en carga de nuevo hasta la tensión de bloqueo, a fin de examinar el estado del tubo interior y verificar la distribución de las fisuras y su longitud en la lechada de protección.

#### Ensayo B

Este ensayo concierne a la puesta en carga de una armadura protegida, y encapsulada y la armadura sellada por inyección en un tubo, desmontable, longitudinalmente.

Las condiciones de puesta en carga simulan a las de los tirantes de obra.

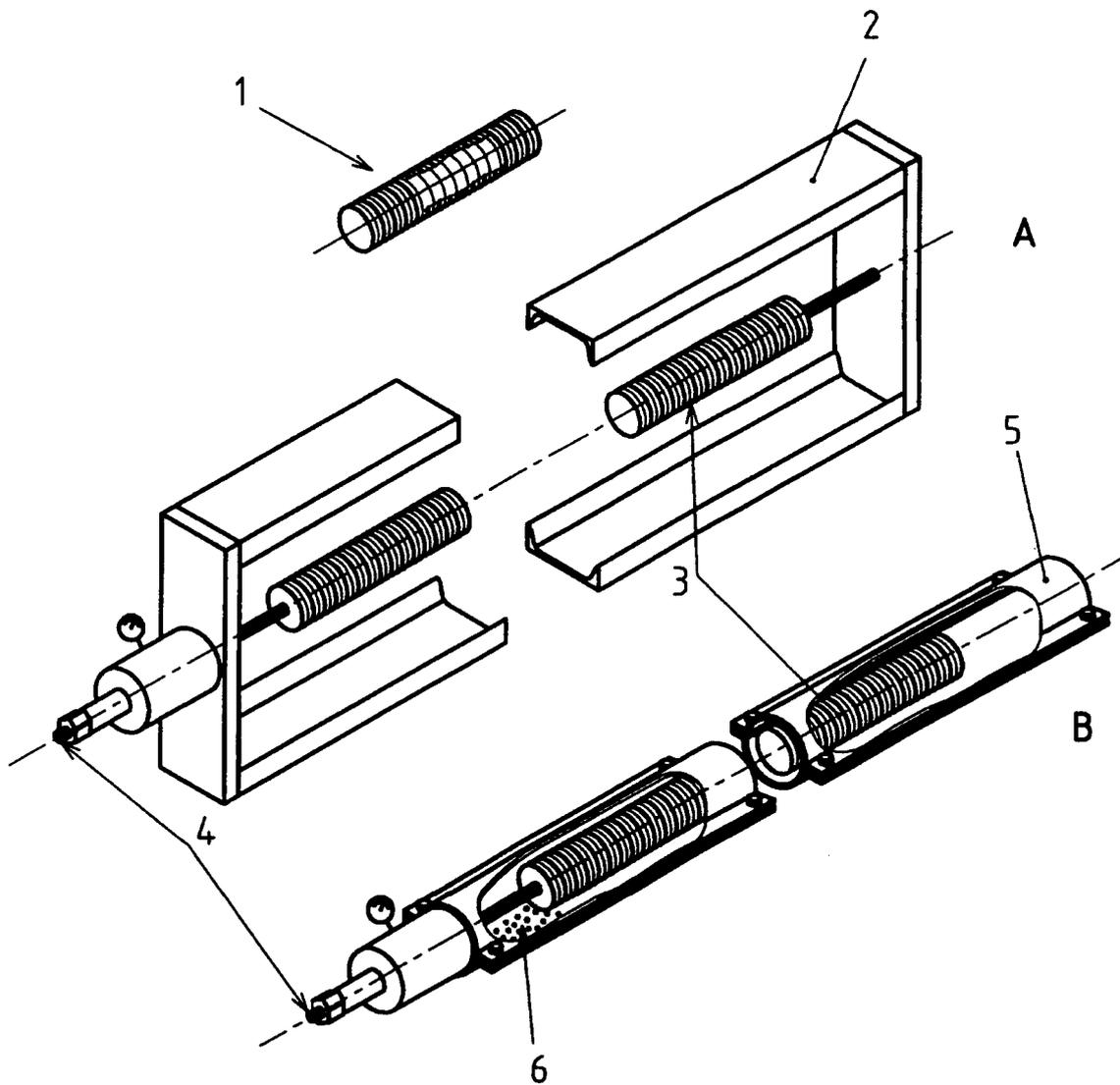
El tirante puesto en carga, a la máxima tensión a la cual se someterá en los ensayos *in situ*.

La armadura se descarga a continuación hasta una tensión nula.

El tubo de protección se desmonta y se retirará la lechada inyectada, para desmontar el tubo de plástico externo. La integridad del tubo de plástico externo se verifica visualmente.

Después de retirar el tubo externo, o bien se examina el tubo interno, o en su ausencia, se mide la distribución de las fisuras en la lechada de protección.

El alargamiento de la armadura bajo la carga de servicio, dividido por el número de fisuras, es una indicación de la anchura media de una fisura en la lechada bajo las condiciones de tracción de servicio.



## Leyenda

- 1 Inspección del tubo interno o la distribución de fisuras en la lechada/ancho de fisura medidas bajo carga (ensayo A). Sin tensión (ensayo B) en diferentes lugares
- 2 Bastidor de ensayo
- 3 Protección de anclaje
- 4 Barra o sistema de manguitos múltiples
- 5 Tubo desmontable
- 6 Lechada
- A Ensayo "A" no confinado
- B Ensayo "B" confinado

Fig. B.1 – Examen previo de la protección contra la corrosión

ANEXO C (Informativo)

**CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE PRODUCTOS VISCOSOS DE PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN Y EJEMPLOS DE NORMAS DE ENSAYO RELATIVOS A LAS PROPIEDADES DE ESTOS MATERIALES**

**Tabla 4**  
**Criterios de aceptación de productos viscosos de protección anticorrosión**

Propiedades	Unidades	Valores aceptables
Contenido libre de azufre, sulfatos, sulfuros	ppm	≤ 50
Contenido en iones cloruro nitrito, nitratos, tiocianatos iónicos	ppm	≤ 50
Resistividad específica	Ω*cm	≥ 10 <sup>9</sup>
Absorción de agua 0,1N KOH, después de 30 días	%	≤ 2
Saponificación (acidez)	Mg KOH/gm	≤ 5
Desengrasado sobre papel de filtro a 50 °C, 24 horas: diámetro de la mancha de aceite	Día. En mm	≤ 5
Profundidad de penetración durante el ensayo de desengrasado, en una lechada de cemento endurecida de un espesor de 5 mm, a 50 °C después de 7 días.	mm	≤ 2
Estabilidad térmica, 24 horas, número de gotas de aceite sobre el tamiz para un aumento de la temperatura de 10 °C, cada 2 horas	°C Aparición de gotas de aceite	≥ 40
Punto de rocío	°C	≥ 60
Protección contra la oxidación – Brisa marina: 5% Cl Na – 168 horas a 35 °C a 40 °C	Visual	Sin corrosión
	%	≤ 5

Ejemplo de normas para la evaluación de los materiales:

- DIN 51759** Prüfung von flüssigen Mineralölerzeugnissen; Prüfung der Korrosionswirkung auf Kupfer; Kupferstreifenprüfung (Testing of liquid mineral oil products; testing of corrosion related to copper; copper strip method).
- DIN 51576** Prüfung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen; Bestimmung des Salzgehaltes (Testing of mineral oil hydrocarbons: determination of salt content).
- DIN 53483** Prüfung von Isolierstoffen; Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften: Teil 1, 2, 3 (Testing of insulating materials: determination of the di-electrical properties: part 1, 2, 3).
- DIN 53495** Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Wasseraufnahme (Testing of plastics; determination of the water absorption).
- DIN 53401** Bestimmung der Verseifungszahl (Testing method for the determination of the saponification number).
- DIN 51801** Bestimmung des Tropfpunktes: Ubbelohde-Verfahren für bituminöse Bindemittel (Test method for the determination of the drop point: Ubbelohde method for bitumen).
- ASTM D-130-88** Method for detection of copper corrosion from petroleum products by the copper strip tarnish test.
- ASTM-D-94-89** Test method for saponification no. of petroleum products.
- ASTM-D-512-89** Test methods for chloride ion in water.

**ANEXO D** (Informativo)**CÁLCULO DE LOS ANCLAJES****D.1 Generalidades**

Las recomendaciones de este anexo se aplican a las estructuras que son retenidas por los anclajes, definidos en el capítulo 1, que transmiten las fuerzas de tracción en un lecho resistente de suelo o de roca.

Las estructuras ancladas pueden ser de los tipos siguientes:

- obras de sostenimiento;
- obras de estabilización de ramblas y taludes;
- obras de estabilización de cavidades subterráneas;
- obras enterradas sometidas a presiones debido a aguas subterráneas;
- obras que transfieren al terreno fuerzas de tracción generadas por la superestructura o por acciones sobre la superestructura.

El presente anexo es relativo al dimensionamiento de los anclajes asociados a la estructura, teniendo en cuenta el comportamiento y las exigencias de las estructuras. Para el cálculo de estructura completa conviene referirse a las Normas Europeas Experimentales ENV 1991-1-1: Eurocódigo 1 y ENV 1997-1: Eurocódigo 7- Parte 1.

**D.2 Estados límites**

Conviene establecer una lista de estados límites a tener en cuenta.

El número mínimo de estados límites a considerar para el cálculo de una estructura anclada se indica en los Eurocódigos 1.2 y 7.

Para estructuras ancladas, conviene tener en cuenta los estados límites siguientes:

- rotura de un anclaje por tracción;
- rotura estructural del tirante debido a fuerzas de cizallamiento o torsión a nivel de la cabeza de anclaje, o debido a la corrosión.
- pérdida de carga de anclaje debido a desplazamientos excesivos de la cabeza de anclaje o a fluencia del empotramiento y la relajación del tirante;
- rotura o deformación excesiva de partes de la estructura debido a las fuerzas de anclaje aplicadas.

Para todos los tipos de estructuras ancladas, conviene considerar la combinación de las acciones de los estados límite detallados anteriormente, y las que se aplican a la estructura misma.

**D.3 Acciones, propiedades de los terrenos, datos geométricos y situación de cálculo**

Cuando se eligen acciones para el cálculo de estados límite conviene, considerar las acciones enumeradas en el apartado 2.4.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994.

NOTA 1 – Será necesario un análisis de interacción entre la estructura, el anclaje y el terreno a fin de determinar las acciones que provienen de la estructura a adoptarlo para el dimensionamiento del tirante.

Las tracciones de anclaje se consideran, en general como acciones.

NOTA 2 – Las tracciones de anclaje actúan, en general, de forma favorable. La tracción de anclaje a tener en cuenta en este caso, es el valor más desfavorable sobre la base de análisis efectuados conforme al capítulo D.4. Si la tracción de anclaje fuera desfavorable, se adoptaría un valor más grande en el cálculo.

Convendrá escoger situaciones de cálculo apropiados conforme a los principios enunciados en el apartado 2.2. de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994.

Conviene considerar las situaciones de cálculo transitorias asociadas a la ejecución.

NOTA 3 – Cuando se elige una determinada situación para el cálculo de las estructuras ancladas, será importante evaluar el nivel de las aguas subterráneas y las presiones en los intersticios de las capas de aguas cautivas.

Convendrá determinar los valores de cálculo de las propiedades de los terrenos y de los datos geométricos conforme a los principios enunciados en los apartados 2.4.3 y 2.4.5 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994.

#### **D.4 Métodos de cálculo**

Conviene efectuar los cálculos de estructuras ancladas conforme a las prescripciones de los Eurocódigos 1, 2, 4 y 7 según el tipo de estructura considerada. Conviene efectuar la justificaciones de cálculo que toman en cuenta el efecto de las tracciones de anclaje sobre la estructura, conforme a este anexo.

Para el dimensionamiento de un anclaje aislado las justificaciones y cálculos siguientes, son necesarios:

- justificación de la resistencia interna del anclaje;
- justificación de la resistencia externa del anclaje;
- justificación de la aptitud en servicio y durabilidad del anclaje;
- cálculo de la longitud libre necesaria;
- determinación de la carga de bloqueo;

Conviene que los alambres y las barras de acero utilizadas para los anclajes se diseñen de acuerdo a la Norma Europea Experimental ENV 1992 1-1.

Conviene determinar la resistencia externa del tirante sobre la base de los resultados de los ensayos previos o de control (véase el capítulo 9), de los resultados del reconocimiento geotécnico o de la experiencia en las condiciones de terrenos similares.

La longitud libre mínima y la tracción de bloqueo del tirante se deducen del cálculo de la estructura de anclaje.

Conviene determinar la tracción de bloqueo  $P_0$  de modo que la tracción del tirante  $P_0$ , durante la duración de la vida prevista para la estructura de anclaje, sea tal que:

$$P \leq 0,65 P_{tk}$$

o:

$P_{tk}$  es la tracción característica de la armadura.

Conviene que la tracción de bloqueo sea:

$$P_0 \leq 0,60 P_{tk}$$

## D.5 Cálculo en los estados límites últimos

### D.5.1 Principios y prescripciones

Conviene que cada estructura anclada sea verificada en los estados límites últimos, utilizando las acciones y situaciones de cálculo apropiadas en este estado, como se especifica en el capítulo D.3. Conviene considerar todos los estados límite últimos que se aplican a la estructura anclada.

Cuando se considere un estado límite de equilibrio, o cuando el desplazamiento de la estructura anclada se asemeja a un bloque rígido (estabilidad global), conviene verificar que:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

donde

$E_{d,dst}$  es el valor de cálculo del efecto de las acciones ya desfavorables.

$E_{d,stab}$  es el valor de cálculo de los efectos de acciones favorables.

Cuando se considere un estado límite de rotura o un estado límite de deformación de una sección de un tirante de anclaje o de una unión, conviene verificar que:

$$E_d \leq R_d$$

donde

$E_d$  es el valor de cálculo del efecto de las acciones, como carga de anclaje;

$R_d$  es la resistencia de cálculo correspondiente, asociando todas las propiedades estructurales con sus valores de cálculo respectivos.

Conviene calcular el valor de cálculo del efecto de acciones favorable  $E_{d,stab}$  y el de la estructura anclada  $R_d$  utilizando la resistencia de cálculo de los terrenos como se especifica en el apartado 2.4.3 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994 y de los materiales estructurales como se especifica en las Normas Europeas Experimentales ENV 1992-1-1 y ENV 1993-1-1.

Cuando intervengan diferentes materiales juntos en el cálculo, conviene que la evaluación de sus resistencias de cálculo tenga en cuenta la compatibilidad de sus comportamientos tensión-deformación.

Para la resistencia de terrenos, conviene tomar el valor de cálculo más desfavorable, alto o bajo.

La resistencia de cálculo  $R_d$  de un anclaje depende de la sollicitación y del tipo de estado límite considerado.

Si el anclaje está sollicitado sólo a tracción:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

donde

$R_k$  es el valor más pequeño de la resistencia característica interna o externa del tirante;

$\gamma_R$  es el coeficiente parcial de resistencia de anclaje;

El coeficiente parcial  $\gamma_R$  toma en cuenta:

- las variaciones de las propiedades del terreno en una zona dada;
- las variaciones de las dimensiones y propiedades de los componentes de los tirantes;
- las variaciones en la ejecución de los anclajes;

Si el anclaje no está sólo sometido a tracción, sino a cizallamiento y a flexión:

$$R_d = \gamma_q P_0$$

donde

$\gamma_q$  es el coeficiente de variación de la tracción de anclaje.

El coeficiente de variación  $\gamma_q$  toma en cuenta las variaciones de la tracción del anclaje entre el momento de bloqueo inicial del tirante y la aparición del estado límite considerado, debido:

- a la relajación de la armadura;
- a la fluencia de la longitud de bulbo del tirante;
- a los desplazamientos de la estructura al nivel de la cabeza de anclaje
- a los desplazamientos de la estructura considerada como un bloque rígido, en el estado límite considerado.

Generalmente, el coeficiente parcial  $\gamma_q$  está comprendido entre los siguientes límites:

$$0,8 \leq \gamma_q \leq 1,1$$

pero podrá tomar valores mayores.

Para todos los tirantes de anclaje conviene que el coeficiente parcial  $\gamma_R$  sea tal que:

$$\gamma_R \geq 1,35$$

NOTA – En las figuras D.1a y D.1b se muestran ejemplos de tipos de rotura, cuando los tirantes no son directamente arrancados. Si se considera el modo de rotura representado en la figura D1a, la resistencia de cálculo del tirante no podrá ser superior al esfuerzo real de anclaje, pues la rotura por arrancamiento del tirante no se producirá más que después de un gran desplazamiento de la estructura.

### D.5.2 Resistencia interna característica del tirante

La resistencia interna característica del tirante  $R_{ik}$  es la tracción característica de la armadura del tirante:

$$R_{ik} = P_{tk} = A_t f_{tk}$$

donde

$A_t$  es la sección de la armadura del tirante;

$f_{tk}$  es la carga característica de tracción de la armadura.

Conviene que los tirantes se proyecten, construyan e instalen de manera que la resistencia a la rotura de la cabeza de anclaje y la resistencia a la rotura del bulbo (armaduras – lechada y lechada/vaina) sean iguales o superiores a  $P_{tk}$  (véase el apartado 6.3).

### D.5.3 Resistencia externa característica de un tirante

La resistencia externa  $R_a$  de un tirante, es la resistencia a la rotura del tirante en la interfaz lechada/terreno.  $R_a$  es igual a la tracción a partir de la cual hay un desplazamiento continuo de la longitud de bulbo del tirante, y a partir de la cual, después de un cierto tiempo, se produce la extracción de la longitud de bulbo del tirante.

La resistencia externa característica  $R_{ak}$  del tirante se deduce los valores de  $R_a$ , que a su vez se evalúan a partir de los resultados de ensayos puesta en carga (véase el capítulo 9).

NOTA 1 – Por razones prácticas, la resistencia externa  $R_a$  del anclaje está definida como la carga que produce una fluencia  $k_{s,\alpha}$  o una pérdida de tracción  $k_i$  (véase el anexo E).

Cuando se deduce la resistencia característica  $R_{a,k}$  de un tirante de los valores de  $R_a$  medidos por ensayos previos, se recomienda que el valor de  $R_{a,k}$  no sobrepase el valor más desfavorable de  $R_a$ .

NOTA 2 – Cuando el valor adoptado por  $R_{a,k}$  es mayor que el más desfavorable de los valores de  $R_a$  deberá justificarse. Podrán aportarse nuevas pruebas efectuando ensayos previos suplementarios.

Normalmente la resistencia externa característica del tirante se toma igual o superior a su resistencia interna característica:

$$R_{ak} \geq R_{ik}$$

#### D.6 Cálculo de los estados límites de servicio

Conviene realizar el cálculo y la justificación de las estructuras ancladas en los estados límite de servicio, verificando las hipótesis de cálculo apropiadas, como se especifica en el capítulo D.3 y utilizando los valores característicos de las acciones, las propiedades del terreno y los datos geométricos. Conviene fijar los valores límites de desplazamiento y la deformación aceptable para la estructura anclada y los terrenos adyacentes conforme al apartado 2.4.6 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994, teniendo en cuenta las tolerancias de desplazamiento y de rotación de las estructuras soportadas por la estructura anclada.

Conviene efectuar las estimaciones de rotación y de desplazamiento de la estructura anclada así como los efectos sobre las estructuras ocultas y las vistas sobre la base de una experiencia comparable. Conviene incluir en estas estimaciones los efectos de la ejecución de la estructura anclada. Conviene verificar que los desplazamientos estimados no sobrepasarán los valores límite.

Cuando los desplazamientos estimados son superiores a los valores límite, conviene justificar el proyecto a través de un estudio más detallado con cálculos de desplazamiento.

Cuando los desplazamientos estimados sobrepasan en más del 50% los valores límite, conviene hacer un estudio más detallado con cálculos de desplazamientos en las siguientes situaciones:

- cuando las estructuras vecinas y las vistas son particularmente sensibles a los desplazamientos;
- cuando la estructura anclada está empotrada o reposa en toda su altura por una capa de arcilla blanda;
- cuando exista una experiencia similar.

En los cálculos de desplazamiento, conviene tener en cuenta la rigidez del terreno, los anclajes y otros elementos estructurales, así como las fases de ejecución.

NOTA – Conviene que el comportamiento supuesto de los materiales en el cálculo de los desplazamientos estructurales se contrasten con modelos conocidos. Para el cálculo de deformaciones previstas, se adoptará una rigidez del terreno y de la estructura apropiadas. Si fuera necesario, se tendrá en cuenta un comportamiento no lineal del terreno.

Para justificar una estructura en estado límite de servicio, conviene considerar el efecto de un tirante como una acción o como un resorte elástico pretensado.

Cuando se asimila el efecto de un tirante a una acción, conviene tomar la fuerza de anclaje más desfavorable, mínima o máxima, que se produce en el curso de la duración de la estructura anclada.

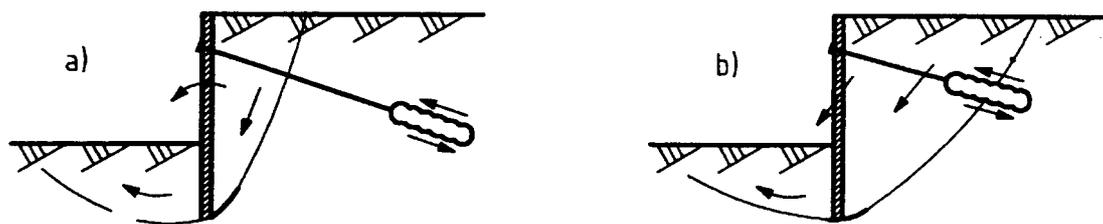
Se considerará el efecto de la carga de prueba sobre la estructura anclada en los ensayos de tirantes.

Cuando se asimila el tirante con un resorte elástico pretensado, conviene considerar la combinación más desfavorable, la rigidez mínima o máxima del tirante, y las tensiones mínimas o máximas del tirante.

Es conveniente tener en cuenta el efecto de las fuerzas de pretensado aplicadas al tirante, sobre las deformaciones de la estructura anclada.

La importancia de los desplazamientos de la cabeza de anclaje aumenta cuando las fuerzas de tracción que se ejercen sobre el tirante de anclaje sobrepasan la tracción de anclaje.

Para las estructuras ancladas que transfieren a los terrenos esfuerzos generados por una superestructura o por acciones sobre la superestructura, conviene que la carga del anclaje sea siempre superior al efecto de la carga sobre el tirante. Esto se aplicará igualmente a los tirantes de anclaje verticales.



**Fig. D.1 – Ejemplos de modos de rotura con arrancamiento de tirantes**

## ANEXO E (Informativo)

## EJEMPLO DE MÉTODOS DE ENSAYOS DE TIRANTES

## E.1 Generalidades

En el capítulo 9 se hace referencia a tres tipos de ensayos adoptados. Son:

- a) **método de ensayo 1:** el tirante se pone en carga progresivamente por ciclos, a partir de una tracción de referencia hasta una tracción máxima de ensayo. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden durante un cierto tiempo a la tracción máxima de cada ciclo;
- b) **método de ensayo 2:** el tirante de anclaje se pone en carga progresivamente por ciclos, a partir de una tracción de referencia hasta una tracción máxima de ensayo o hasta la rotura. La pérdida de tracción en la cabeza de anclaje se mide durante un cierto tiempo, a la tracción máxima de cada ciclo;
- c) **método de ensayo 3:** el tirante de anclaje se pone en carga progresivamente por escalones, a partir de una tracción de referencia hasta una tracción máxima de ensayo. Los desplazamientos de la cabeza de anclaje se miden bajo carga constante en cada escalón de tracción.

Los elementos esenciales de los procedimientos de puesta en carga relativos a los tres métodos de ensayo se presentan en las figuras E1, E2 y E3.

## E.2 Método de ensayo 1

## E.2.1

Conviene poner en carga el tirante de anclaje hasta la rotura ( $R_a$ ) o hasta la tracción de prueba ( $P_p$ ) sin sobrepasar, para la tracción en las armaduras, el más pequeño de los valores siguientes:  $0,80 P_{t,k}$  ó  $0,95 P_{t0,1,k}$ .

Conviene poner en carga el tirante de anclaje hasta la tracción máxima de ensayo, en un mínimo de seis ciclos (ver figura E1).

Los ciclos de puesta en carga y las duraciones mínimas de observación se dan en la tabla E1.

Cuando los desplazamientos debidos a la fluencia están controlados, conviene mantener constante la tracción máxima de cada ciclo durante al menos 15 minutos para las tracciones inferiores a  $P_p$  y durante 60 minutos para suelos no coherentes ó 180 minutos para suelos coherentes a la tracción de prueba  $P_p$ . Conviene prolongar esta última duración hasta que la fluencia a la tracción  $P_p$  sea aproximadamente constante.

## E.2.2 Ensayo de adecuación – Procedimiento de puesta en carga

Conviene que la tracción de prueba de un tirante de servicio sea el mayor de los valores siguientes:

$$P_p \geq 1,25 P_o \text{ o } P_p \geq R_d$$

Conviene que la tracción de la armadura no sobrepase  $0,95 P_{t0,1,k}$ .

Los ciclos de puesta en carga y las duraciones mínimas de observación se dan en la tabla E.1.

El tirante puede ponerse en carga hasta la tracción máxima de ensayo en un mínimo de cinco ciclos, omitiendo el primer ciclo de la tabla E.1.

Cuando se han realizado ensayos previos, conviene que la fluencia  $R_s$  a tracción de prueba no sobrepase 1 mm. Cuando la rotura (definida por  $R_s = 2$  mm) no ha sido confirmado por los ensayos previos, conviene que el valor de  $R_s$  a tracción de prueba no sobrepase 0,8 mm.

### E.2.3 Ensayo de recepción – Procedimiento de puesta en carga

Conviene poner en carga el tirante hasta la tracción de prueba ( $P_p$ ) en un mínimo de tres incrementos de tracción iguales, conviene descargar enseguida el tirante hasta la tracción de referencia  $P_a$  después cargarlo de nuevo hasta la tracción de bloqueo ( $P_o$ ). Conviene que la tracción de prueba sea al menos igual a  $1,25 P_o$  pero sin rebasar  $0,9 P_{t0,1k}$ .

NOTA – Las curvas de tracción-alargamiento pueden suministrar informaciones complementarias sobre el terreno y sobre el comportamiento de los elementos del tirante en el terreno.

Conviene que la duración de las observaciones no sean inferiores a 5 minutos bajo la tracción de prueba.

Conviene no rebasar los límites siguientes:

- una fluencia  $R_s$  de 0,8 mm a tracción de prueba y 0,5 mm a la tracción de bloqueo ( $P_o$ ).

Valores de  $R_s$  más altos (hasta 1 mm a tracción de prueba) son admisibles, cuando en los ensayos previstos se ha comprobado que son aceptables.

### E.2.4 Determinación de las características de fluencia

Conviene medir el desplazamiento de la cabeza del anclaje con respecto a un punto fijo, a intervalos de tiempo específicos para los incrementos de tracción indicados en la tabla E1. Conviene determinar la fluencia después de que se haya medido una fluencia constante  $k_s$  en dos intervalos de tiempo consecutivos.

$k_s$  se define de la siguiente manera

$$k_s = (s_2 - s_1) / \log(t_2 / t_1)$$

donde

$s_1$  es el desplazamiento de la cabeza del anclaje en el tiempo  $t_1$ ;

$s_2$  es el desplazamiento de la cabeza del anclaje en el tiempo  $t_2$ ;

$t$  es el tiempo transcurrido tras la aplicación de un incremento de carga;

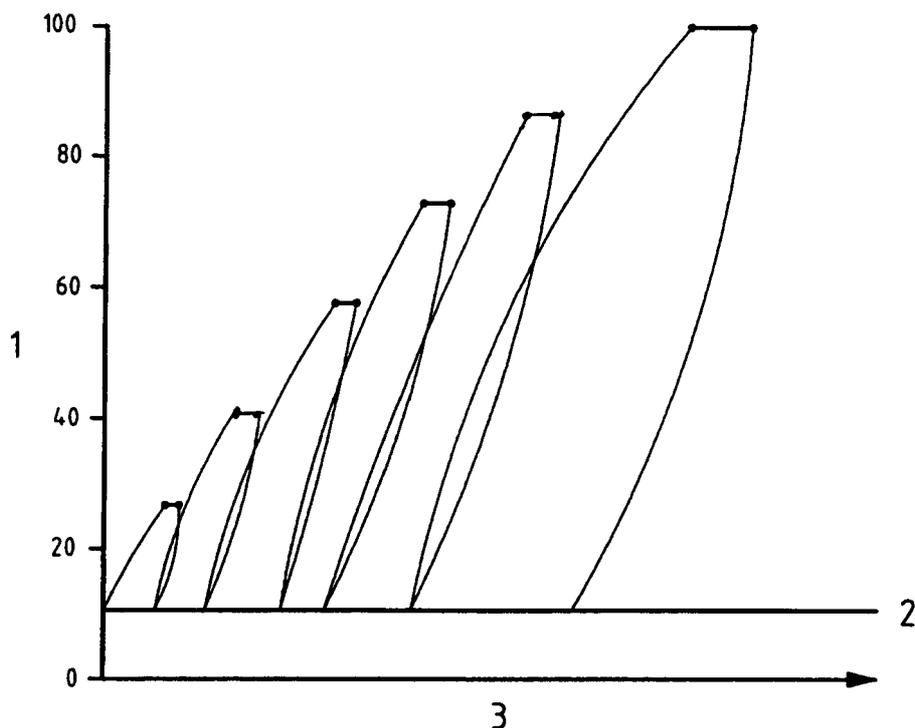
La fluencia límite es el desplazamiento máximo autorizado debido a la fluencia en el nivel de tracción especificado (véanse los apartados E.2.2 y E.2.3).

Se recomienda medir el desplazamiento de la cabeza de anclaje a tracción constante en los tiempos indicados más adelante.

Los tiempos de control sucesivos (en minutos) a la tracción máxima de cada ciclo indicado en la tabla E1, son los siguientes:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \rightarrow 20 \rightarrow 30 \rightarrow 45 \rightarrow 60$$

Cuando los periodos de observación son menores de 60 minutos la secuencia de medida se interrumpe, como se indica en la tabla E.1.



#### Leyenda

- 1 Tracción aplicada en % de  $P_p$
- 2 Tracción de referencia  $P_a$
- 3 Desplazamiento del tirante de anclaje

Fig. E.1 – Procedimiento de puesta en carga. Método de ensayo 1

### E.3 Método de ensayo 2

#### E.3.1 Ensayo de investigación – Procedimiento de puesta en carga

Conviene poner en carga el tirante de anclaje hasta la rotura ( $R_a$ ) o hasta la tracción de prueba ( $P_p$ ) sin sobrepasar, para la tracción en las armaduras, el menor valor de los siguientes:  $0,80 P_{t,k}$  ó  $0,95 P_{t0,1k}$ .

Conviene poner en carga el tirante de anclaje hasta la tracción máxima de ensayo en un mínimo de seis ciclos (véase la figura E2).

Los ciclos de puesta en carga y las duraciones mínimas de observación se dan en las tablas E.1 y E.2.

Cuando a la tracción de bloqueo considerada, las pérdidas de tensión acumuladas después de 7 periodos (3 días) no sobrepasen el valor admisible y la pérdida de tensión por unidad de tiempo no crece, el ensayo se puede acabar y la puesta en carga por ciclo del tirante seguirá hasta  $P_p$  o hasta la rotura. Cuando la pérdida de carga admisible se sobrepasa y/o la pérdida de carga por unidad de tiempo aumenta, el periodo de observación se puede prolongar (10 días) o más, hasta la estabilización. Cuando la estabilización no se alcanza, significa que la tracción aplicada es demasiado elevada para las condiciones de servicio del tirante. Sin embargo se recomienda seguir el ensayo para determinar la tracción de rotura.

#### E.3.2 Ensayo de adecuación – Procedimiento de puesta en carga

Conviene que la tracción de prueba de un tirante de servicio sea mayor que los valores siguientes:

$$P_p \geq 1,25 P_0 \text{ o } P_p \geq R_d$$

Es conveniente que la tracción de la armadura no sobrepase  $0,95 P_{t0,1k}$ .

El tirante de anclaje se puede poner en carga hasta la tracción máxima de ensayo en dos ciclos de aproximadamente 10-25-50-75-100-75-50-10%  $P_p$ , y después puesto en carga a la tracción de bloqueo  $P_0$ .

Los tiempos de observación vienen en la tabla E.2.

Convendrá que la pérdida de carga ( $K_i$ ) bajo tracción de bloqueo  $P_0$  no sobrepase los límites especificados en la tabla E.2 sobre 7 periodos (3 días).

### **E.3.3 Ensayo de recepción – Procedimiento de puesta en carga**

Conviene poner en carga el tirante hasta la tracción de prueba ( $P_p$ ) en un mínimo de tres incrementos de tracción iguales. Conviene descargar enseguida el tirante de anclaje hasta la tracción de referencia  $P_a$  y cargarlo de nuevo hasta la tracción de bloqueo ( $P_0$ ). Conviene que la tracción de prueba sea al menos igual a  $1,25 P_0$  pero sin sobrepasar  $0,9 P_{t0,1k}$ .

NOTA – Las curvas de tracción-alargamiento puede proporcionar informaciones complementarias sobre el terreno y sobre el comportamiento de los elementos del tirante en el terreno.

Conviene seguir el comportamiento bajo tracción de bloqueo durante 3 periodos (50 minutos) y no sobrepase la pérdida de tensión acumulada indicada en la tabla E.2. Cuando la pérdida de tensión sea superior a la pérdida de tensión límite, conviene proseguir el ensayo hasta que se alcance la estabilidad, y que se mida una pérdida de tensión aceptable.

Cuando la precisión del sistema de medida no sea conforme con el apartado 9,2 en términos de ensayo de pérdida de carga pero es conforme con el apartado 9,2 en términos de ensayo de despegue, se puede aceptar el tirante a partir de un ensayo de despegue que presente una pérdida de carga acumulada  $k_i$  inferior al 6 % después de 6 periodos (1 día).

No conviene sobrepasar los siguientes límites:

- a) pérdida de carga  $k_i$  de 3% de  $P_0$  en 50 min; o
- b) pérdida de tensión  $k_i$  de  $P_0$  en 24 h.

### **E.3.4 Determinación de las características de pérdida de tensión**

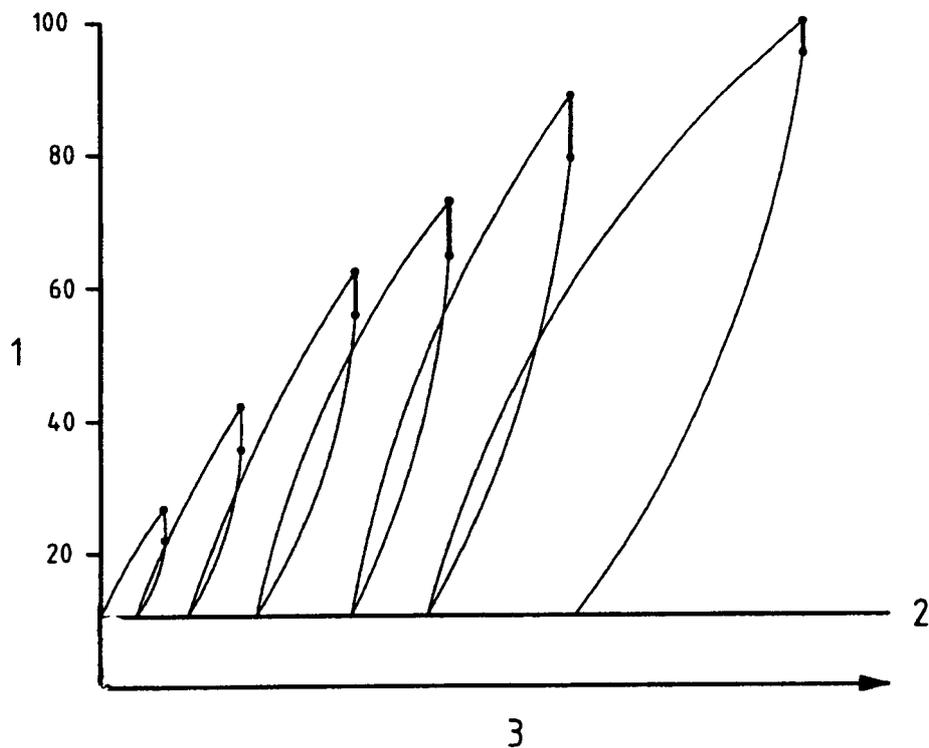
Conviene mantener constante el desplazamiento de la cabeza de anclaje con relación a la estructura anclada y controlar la tracción en la tracción de bloqueo. Para determinar el porcentaje de pérdida de carga  $k_i$  conviene fijar sobre la cabeza de anclaje un captador de fuerza o un gato inactivo, y la pérdida de carga al final de cada periodo hasta diez días o más.

La pérdida de carga límite es la pérdida de carga máxima acumulada permitida al final de un periodo de tiempo, a un nivel de carga especificado.

Se recomienda proceder a la medición de las pérdidas de tensión tal como se exige en el apartado E.3.4, en los tiempos indicados en la tabla E.2. La duración mínima de observación son las siguientes:

- Ensayo de investigación – 7 periodos (3 días);
- Ensayo de adecuación – 7 periodos (3 días);
- Ensayo de recepción – 3 periodos (50 minutos).

Las características de pérdida de carga son representativas de las verdaderas pérdidas de fuerza que afectan la estructura y la cabeza de anclaje. Cuando se utilizan para interpretar la fluencia real de la parte sellada, se procederá a una corrección para tener en cuenta la influencia de la parte libre, es decir que para una misma fluencia absoluta de la parte fija, el efecto de la pérdida de carga es tanto más pequeña cuanto mayor sea la parte libre.



#### Leyenda

- 1 Tracción aplicada en % de  $P_p$
- 2 Tracción de referencia  $P_a$
- 3 Desplazamiento del tirante de anclaje

Fig. E.2 – Procedimiento de puesta en tensión – Método de ensayo 2

### E.4 Método de ensayo 3

#### E.4.1 Ensayo de investigación – Procedimiento de puesta en carga

Conviene poner en carga el tirante de anclaje hasta la ruptura ( $R_a$ ) o hasta la tracción de prueba ( $P_p$ ) sin sobrepasar, para la tracción en las armaduras, el más pequeño de los siguientes valores:  $0,80 P_{tk}$  o  $0,95 P_{t0,1k}$ .

Conviene poner en tensión el tirante de anclaje hasta la tracción máxima de ensayo, con un mínimo de seis escalones (ver tabla E.3).

Los palieres de tracción y las duraciones mínimas de observación se dan en la tabla E.3.

Las duraciones mínimas de observación se podrán reducir a 30 minutos cuando no se produce ninguna fluencia significativa.

#### E.4.2 Ensayo de adecuación – Procedimiento de puesta en tensión

Conviene que la tracción de prueba para un tirante de servicio sea el más grande de los siguientes valores.

$$P_p \geq 1,25 P_o \text{ ó } P_p \geq R_d$$

Conviene que la tracción de la armadura no sobrepase  $0,90 P_{t0,1k}$ .

El tirante de anclaje podrá ponerse en tensión hasta la tracción máxima en un mínimo de cinco escalones, omitiendo el primer escalón de la tabla E.4.

Los mínimos periodos de observación y los escalones de carga se dan en la tabla E.4.

Cuando no se han realizado ensayos previos, conviene que el desplazamiento máximo ( $\alpha$ ) bajo la tracción de prueba sea inferior a 0,8 mm por unidad logarítmica de tiempo (véase la figura E.4). Cuando se han realizado ensayos previos, conviene que el valor de  $\alpha$  por unidad logarítmica de tiempo bajo tracción de prueba de los ensayos de control no sobrepasen:

- 1,2 mm para un tirante provisional
- 1,0 mm para un tirante permanente

En todos los casos, conviene que el nivel de tracción de prueba para los ensayos de control de tirantes de anclaje del proyecto no sobrepasen la tracción crítica de fluencia  $P_c$ .

#### **E.4.3 Ensayo de recepción – Procedimiento de puesta en tensión**

Conviene poner en carga el tirante de anclaje a partir de la tracción de referencia  $P_0$  hasta una tracción de prueba  $P_p$  igual a  $1,25 P_0$  o  $R_d$ , en un mínimo de cuatro incrementos. La tracción de prueba y se mantiene constante al menos durante 15 minutos.

Después de haber mantenido constante la tracción de prueba durante el periodo deseado, el contratista puede efectuar un ciclo parcial o completo de descarga puesta en carga (véase la figura E.3c)

NOTA – Las curvas de tracción – alargamiento pueden suministrar informaciones complementarias sobre el terreno y sobre el comportamiento de los elementos de los tirantes en el terreno.

Cuando se utiliza el método de ensayo 3 conforme a 9.4, la longitud libre equivalente se puede calcular utilizando el método indicado en la figura E.3c. Cuando hay un rozamiento significativo en la parte libre, se puede hacer un ciclo parcial y determinar la longitud libre equivalente determinado  $\Delta P$  y  $\Delta s$  sobre la curva corregida de rozamiento.

Conviene medir los desplazamientos de fluencia bajo la tracción de prueba entre los minutos 3 y 15.

Conviene que el valor de  $\alpha$  por unidad logarítmica de tiempo sea inferior a:

- 1,2 mm para los tirantes provisionales o permanentes sin ensayos previos
- 1,5 mm para los tirantes permanentes con ensayos previos
- 1,8 mm para los tirantes provisionales con ensayos previos

#### **E.4.4 Determinación de la fluencia y de las tracciones características**

Conviene determinar la fluencia y las tracciones características como sigue:

- medida del aumento del desplazamiento de la cabeza del tirante con relación a un punto fijo medido en cada escalón de carga en distintos tiempos;
- determinación de la fluencia  $\alpha$  en cada escalón de carga como se indica en la figura E.4; la fluencia  $\alpha$  es en este caso la pendiente de la curva queda en el desplazamiento de la cabeza de anclaje en función del logaritmo del tiempo al final de cada escalón de carga;

- determinación de la resistencia externa del tirante  $R_a$  como la tracción correspondiente a la asíntota vertical de la curva queda  $\alpha$  en función de la tracción aplicada. Si esta asíntota no se puede determinar, se considerará que  $R_a$  es la tracción correspondiente a un valor de  $\alpha$  igual a 5 mm (véase la figura E.5):
- determinación de la tracción crítica de fluencia  $P_c$  como se indica en la figura E.5. La tracción crítica de fluencia es la tracción correspondiente al fin de la primera parte lineal de la curva que da  $\alpha$  en función de la tracción. Cuando  $P_c$  no se puede determinar con precisión, otra tracción  $P'_c$  se determina como indica la figura E.5 y  $P_c$  se define como:

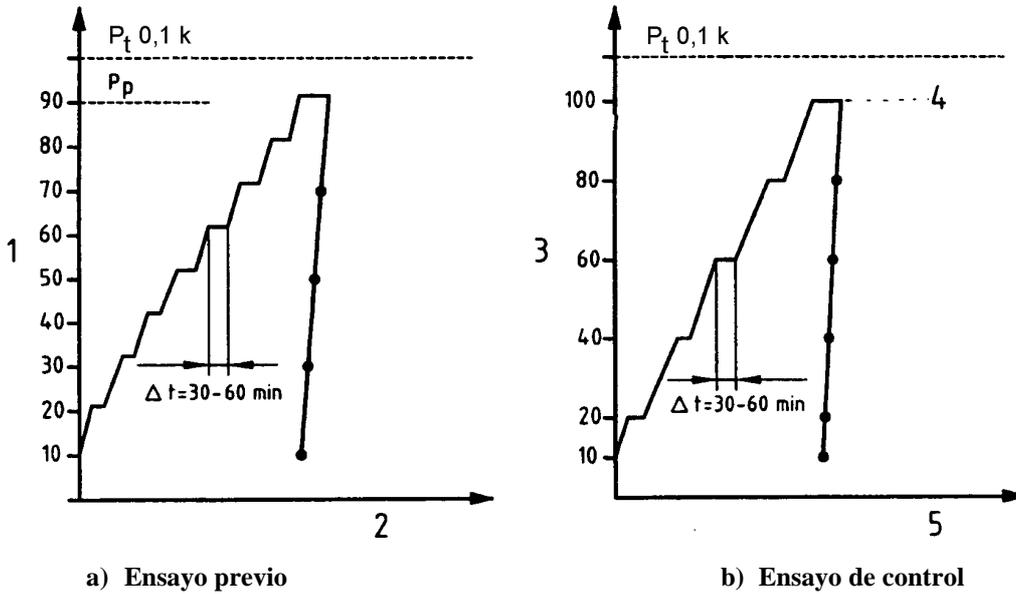
$$P_c = 0,9 P'_c$$

En cada escalón de carga, se recomienda medir el desplazamiento a tracción constante en los tiempos indicados a continuación. Las duraciones de observación para cada escalón serán:

- ensayo de investigación – 30 o 60 minutos;
- ensayo de investigación – 30 o 60 minutos;
- ensayo de recepción – al menos 15 minutos bajo tracción de prueba.

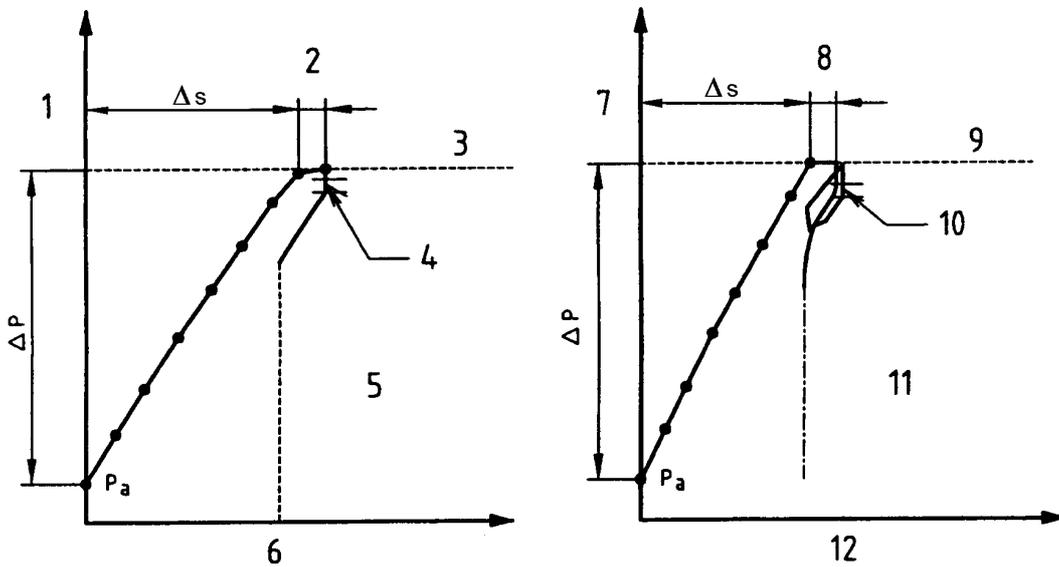
El tiempo de controles sucesivos (en minutos) sobre cada escalón de tracción serán los siguientes:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \rightarrow 20 \rightarrow 30 \rightarrow 45 \rightarrow 60$$



Leyenda

- 1 Tracción aplicada en % de  $P_{t0,1k}$
- 2 Desplazamiento
- 3 Tracción aplicada en % de  $P_p$
- 4 Tracción de prueba
- 5 Desplazamiento



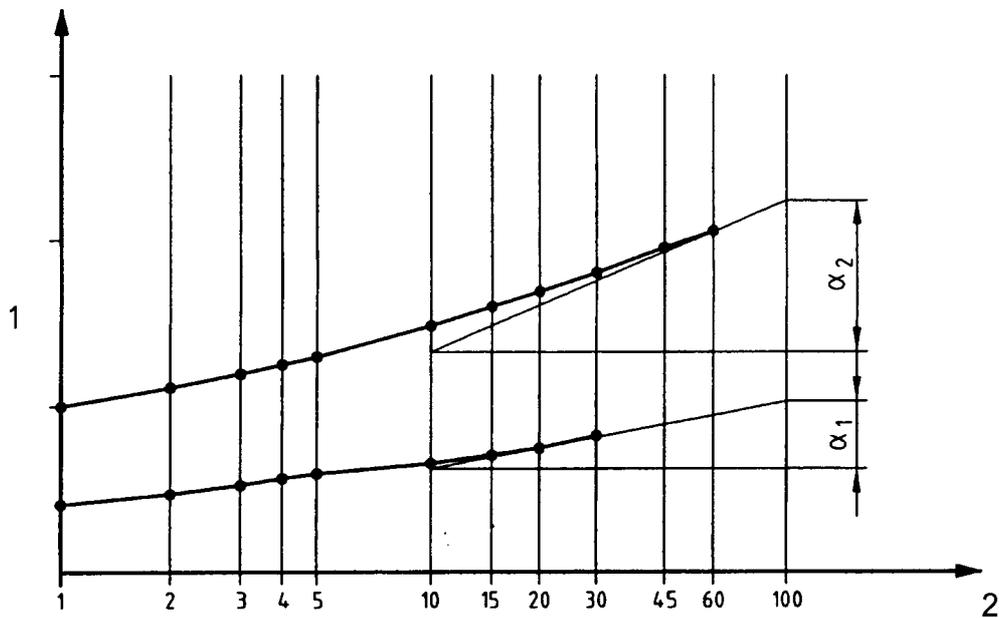
$$L_{app} = A_t \cdot E_t \cdot \Delta s / \Delta P(1-f)$$

c) Ensayo de recepción

Leyenda

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1 Tracción aplicada                     | 7 Tracción aplicada                   |
| 2 Fluencia ( $\Delta t \geq 15$ min.)   | 8 Fluencia ( $\Delta t \geq 15$ min.) |
| 3 Tracción de prueba $T_p$              | 9 Tracción de prueba $P_p$            |
| 4 Rozamiento $f$ en % de $P_p$          | 10 Rozamiento $f$ en % de $P_p$       |
| 5 Sin ciclo                             | 11 Con ciclo parcial                  |
| 6 Desplazamiento del tirante de anclaje | 12 Desplazamiento                     |

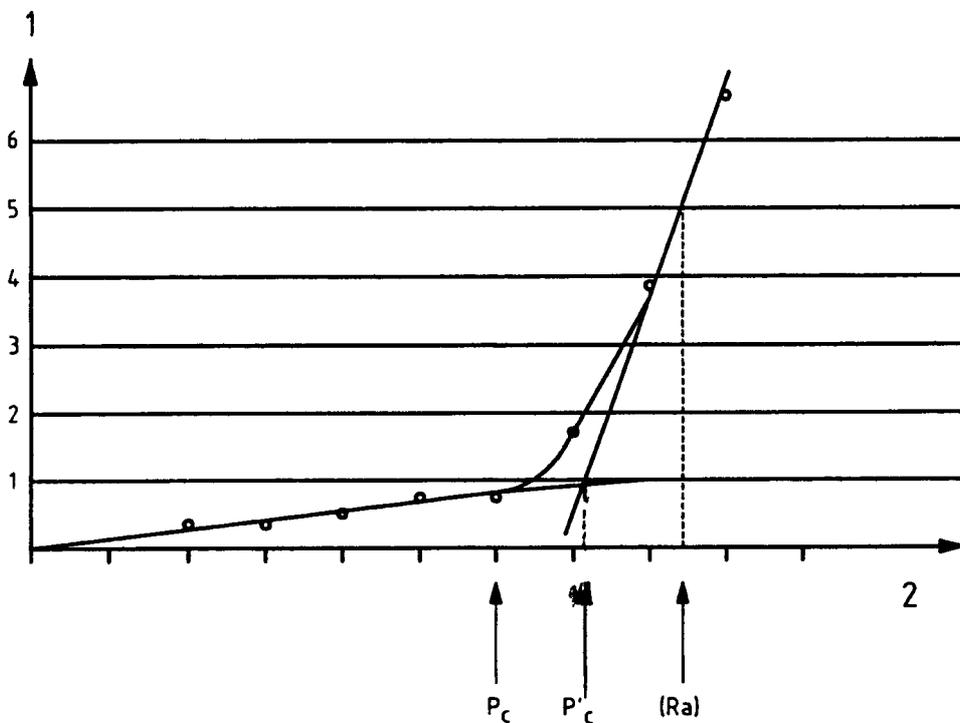
Fig. E.3 – Procedimiento y puesta en carga – Método de ensayo 3



Leyenda

- 1 Desplazamiento de la cabeza del tirante
- 2 Tiempo

Fig. E.4 – Desplazamiento bajo la acción de tracción en función del logaritmo del tiempo y de la pendiente  $\alpha_n$   
Método de ensayo 3



Leyenda

- 1 Pendiente  $\alpha$  (mm/unidad logarítmica del tiempo)
- 2 Tracción aplicada

Fig. E.5 – Pendiente  $\alpha$  en función de la tracción aplicada – Método de ensayo 3

**E.5 Cuadro general para los procedimientos de puesta en carga**

**Métodos de ensayo 1.2 y 3**

**Cuadro E.1**  
**Ciclos de tracción y duración mínima de observación para los ensayos previos de los tirantes**  
**y para los ensayos de control – Métodos de ensayo 1 y 2**

Nivel de tracción % P <sub>p</sub>						Duración mínima de observación en minutos (Sólo método de ensayo 1)
Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100*	15 (60 180 <sup>1)</sup> )
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

1) Para el método de ensayo 2, cuando la tracción máxima de ensayo es igual a la tracción de bloqueo P<sub>0</sub> la duración de la observación se prolongará. Véase la tabla E.2.

**Tabla E.2**  
**Duración de observación, periodos y criterios de aceptación de pérdidas de tensión – Método de ensayo 2**

Duración de observación en minutos	Periodo N°	Pérdida de tensión acumulada k <sub>t</sub> admisible (% de la tracción aplicada)
5	1	1
15	2	2
50	3	3
100	4	4
500	5	5
1 500 (alrededor 1 día)	6	6
5 000 (alrededor 3 día)	7	7
15 000 (alrededor 10 día)	8	8

**Tabla E3**  
**Escalones de carga y duración mínima de observación – Ensayos previos – Método de ensayo 3**

Fases de tracción % $P_{t0,1k}$ <sup>1) 2) 3)</sup>								
Nº escalón	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3	Escalón 4	Escalón 5	Escalón 6	Escalón 7	Escalón 8
% $P_{t0,1k}$	20	30	40	50	60	70	80	90
Duración de observación (minutos)	60 (30)							

1) Principio del ensayo a la tracción de referencia  $P_a = 0,1 P_{t0,1k}$   
 2)  $P_{max} \leq 0,9 P_{t0,1k}$   
 3) Ejemplo para 8 escalones

**Tabla E.4**  
**Escalones de carga y duración mínima de observación**  
**Ensayos de control – Método de ensayo 3**

Escalones de tracción % $P_p$ para tirante de servicio <sup>1) 2)</sup>						
Nº escalón	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3	Escalón 4	Escalón 5	Escalón 6
% $P_p$	25	40	55	70	85	100
Duración de observación (minutos)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)

1) Principio del ensayo a tracción de referencia  $P_a = 0,1 P_p$   
 2) Ejemplo para 6 escalones

ANEXO F (Informativo)

EJEMPLOS DE PARTES Y ACTA

		Parte de ejecución			Doc.	
0.1) Contrato						
0.2) Situación						
0.3) Tipo de tirante/Proyecto						
0.4) N° Tirante						
Perforación	101) Implantación XY	m				
	102) Nivel Z	m				
	103) Orientación N/E	°				
	104) Inclinación horizontal	°				
	105) Método de perforación					
	106) Diámetro de perforación	mm				
	107) Longitud total	m				
	108) Entubado de/a	m				
	109) Fluido de perforación					
	110) Nivel de la capa freática	m				
	111) Características del terreno					
	112) Inyección previa (si es necesario)					
	113) Ensayo					
	114)					
	115) Fecha de perforación					
Armadura	201) Tipos de armadura					
	202) N°/Diámetro	/mm				
	203) Sección de la armadura $A_t$	mm <sup>2</sup>				
	204) Resistencia del acero $f_{tk}$	N/ mm <sup>2</sup>				
	205) Módulo de elasticidad $E_t$	N/ mm <sup>2</sup>				
	206) Longitud del empotramiento $L_{fija}$	m				
	207) Longitud libre $L_{libre}$	m				
	208) Longitud total del gato	m				
	209) Longitud total L	m				
	210) Protección $L_{fija}$					
	211) Protección $L_{libre}$					
	212) Separadores $L_{fija}$					
	213) Separadores $L_{libre}$					
	214) Tubos de inyección					
	215)					
216)						
Inyección	301) Tipo de cemento					
	302) Aditivos					
	303) A/C					
	304) Consumo de cemento	kg				
	305) Presión de inyección	MPa				
	Notas:					
Operadores:						





---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32