

**GRUPO TÉCNICO ANCLAJES**

**RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO,  
EJECUCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES  
INYECTADOS Y POSTENSADOS EN SUELOS Y ROCAS**



*Octubre 2001*

**CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO**  
Cámara Chilena de la Construcción

*LA CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO  
AGRADECE LA COLABORACIÓN DE LAS SIGUIENTES EMPRESAS  
EN LA PUBLICACIÓN DE ESTE DOCUMENTO TÉCNICO*



**ESTRATOS**

Tratamientos Especiales del Terreno S.A.



**PILOTES TERRATEST**



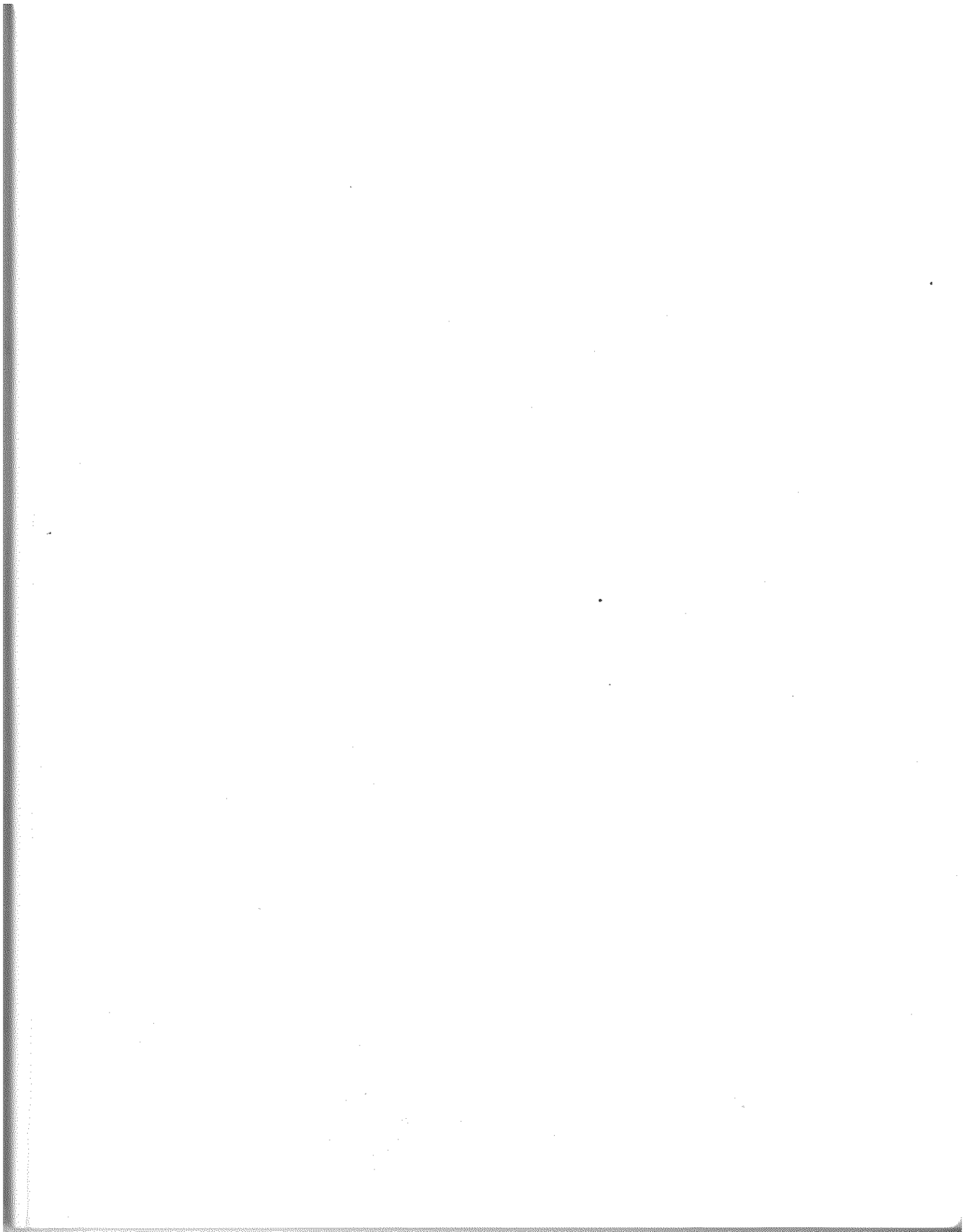
**SOLETANCHE BACHY**

LAS TECNOLOGIAS DEL SUELO



CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLÓGICO  
Cámara Chilena de la Construcción





# **GRUPO TÉCNICO ANCLAJES**

## **RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES INYECTADOS POSTENSADOS EN SUELOS Y ROCAS**

**Octubre 2001**

**CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO**  
Cámara Chilena de la Construcción

Edición cofinanciada por el proyecto  
CORFO-FONTEC 201-2851  
"Consultoría Especializada en el Uso de Anclajes Postensados en Zonas Sísmicas"

1ª Edición, Octubre 2001, 300 ejemplares

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES INYECTADOS EN SUELOS Y ROCAS

Es propiedad de la

Corporación de Desarrollo Tecnológico.

Marchant Pereira 221, Of. 11

Providencia, Santiago de Chile

Fono (56-2) 2042840 - FAX (56-2) 2042845

E-mail: [cdt@cdt.cl](mailto:cdt@cdt.cl)

Prohibida su reproducción total o parcial sin citar la fuente.



# PRÓLOGO

La Corporación de Desarrollo Tecnológico, dependiente de la Cámara Chilena de la Construcción, con el apoyo de las Empresas instaladoras de tendones y anclajes y la Sociedad Chilena de Geotécnia presenta este documento técnico denominado "Recomendaciones para el Diseño, Ejecución y Control de Anclajes Inyectados Postensados en Suelos y Rocas" el que recoge el estado del arte de la moderna técnica de transmitir cargas de tracción al terreno.

Antes de la década del 70, los edificios altos de Santiago contaban a lo sumo con dos subterráneos cuyos muros perimetrales eran apuntalados mientras se construían los muros interiores que resistirían los empujes.

Con el aumento de altura de los nuevos edificios y la necesidad de empotrarlos a mayor profundidad, se hizo imprescindible cambiar el sistema de apuntalamiento de los muros de gran esbeltez, apuntalamiento que fue reemplazado por tendones y anclajes.

En un principio el anclaje se realizaba mediante galerías de dimensiones mínimas hechas por hombres manejando herramientas manuales, con el fin de posicionar los muertos de anclaje necesarios. Demás está decir los riesgos en cuanto a seguridad que estas faenas involucraban.

Junto con el mayor conocimiento que se fue obteniendo del fluvial de Santiago, se ensayó el uso de "Martillos de Fondo" el que tuvo éxito en algunas ocasiones pero en la mayoría de los casos se desmoronaba la perforación, lo que complicaba el retiro de la herramienta y la colocación del cable y anclaje.

A medida que mejoraron las perforadoras, aparece el equipo "Down the Hole" el que se perfecciona aún más con el "Casing Advance" y el problema de instalación de cables y anclajes queda resuelto.

Colocados los cables o tendones y sus respectivos anclajes, se hace necesario asegurar en el tiempo la duración de este sistema mediante inyecciones.

Por último se necesita conocer la capacidad de tracción máxima posible de ser resistida con el fin de evaluar y cumplir los factores de seguridad requeridos.

Hasta antes de este documento técnico, cada proyectista usaba su metodología propia ignorando normas aceptadas por diferentes países, lo que acarrea gran dispersión de resultados y opiniones.

El presente documento homologa, entre otras, la "Norma Europea" la que se basa en otra serie de normas de disciplinas relacionadas y ha sido complementado con las normas chilenas. También a lo largo de su texto se hacen comentarios y análisis lo que lo transforma en una guía de diseño y construcción de gran valor.

En representación de la Sociedad Chilena de Geotécnia deseo agradecer a la Corporación de Desarrollo Tecnológico y Cámara Chilena de la Construcción por el esfuerzo desplegado en la preparación de esta guía de diseño. Debo también agradecer la participación de las empresas que colocan tendones y anclajes en Chile por su participación en esta recomendación. Por último, un reconocimiento muy especial a los miembros de la Sociedad Chilena de Geotécnia que colaboraron en su desarrollo.

**Guillermo Noguera L.**

Presidente Sochige

# Grupo Técnico Anclajes

---

## Presidente

Ing. Aldo GUZMÁN

Gerente General  
Pilotes Terratest S.A.

## Secretario Técnico

Dr. - Ing. Luis EBENSPERGER

Jefe de Proyectos  
Corporación de Desarrollo Tecnológico

## Integrantes

Arnaud CHAPUIS

Ing. Dpto. Desarrollo  
Soletanche - Bachy Chile S.A.

Antonio FERNÁNDEZ

Socio  
FCQ Geotécnica e Ingeniería Ltda.

Juan Manuel FERNÁNDEZ

Gerente Técnico  
Pilotes Terratest S.A.

Eugenio GARCÉS

Socio  
EDIC Ingeniería Ltda.

Nelson GONZÁLEZ

Ing. Dpto. Desarrollo  
Soletanche - Bachy Chile S.A.

Issa KORT

Consultor Geotécnico, Socio  
Ingeniería Issa Kort

Pedro ORTIGOSA

Director  
IDIEM, Universidad de Chile

Félix TENORIO

Gerente General  
Estratos S.A.

Héctor VENTURA

Gerente General  
Ventura y Asociados

Ramón VERDUGO

Jefe Área Geotecnia y Pavimentos  
IDIEM, Universidad de Chile

Marcelo ZELADA

Ing. Dpto. Desarrollo  
Soletanche - Bachy Chile S.A.

# **INTRODUCCIÓN**

*Se denomina Anclaje Postensado Inyectado a un dispositivo capaz de transmitir una carga de tracción al terreno, constituido fundamentalmente por tubos, barras o cables, generalmente de acero, introducida en el macizo mediante una perforación de pequeño diámetro y sellada en parte de su longitud al terreno, suelo o roca, con lechada de cemento, mortero, resinas o similares.*

*Las principales aplicaciones de los anclajes son:*

- *Sostenimiento de entibaciones y muros de contención*
- *Estabilización de taludes*
- *Anclaje de estructuras al terreno*

*La experiencia nacional e internacional ha demostrado que los anclajes constituyen actualmente un medio seguro y controlado de sostener muros de contención en excavaciones, sobre todo en presencia de construcciones vecinas y entornos complejos.*

*Estas recomendaciones se han basado fundamentalmente en la norma europea EN 1537 sobre la «Ejecución de trabajos geotécnicos especializados - Anclajes Postensados» del año 2000, en recomendaciones del Post Tensioning Institute PTI de 1996, y en la experiencia teórica y práctica de especialistas chilenos.*

*A lo largo del texto se resalta en letra cursiva y con líneas verticales aquellos párrafos con aclaraciones pertinentes a la realidad del país.*



# Índice general

Prólogo	5
Grupo Técnico Anclajes	7
Introducción	9
<b>1 ALCANCES</b>	<b>15</b>
<b>2 NORMAS DE REFERENCIA</b>	<b>17</b>
<b>3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SIMBOLOGÍA</b>	<b>19</b>
Definiciones	19
Simbología	23
<b>4 REQUISITOS ESPECÍFICOS</b>	<b>25</b>
4.1 Generalidades	25
4.2 Planificación de los trabajos	25
<b>5 INVESTIGACIÓN DEL TERRENO</b>	<b>27</b>
<b>6 MATERIALES Y PRODUCTOS</b>	<b>29</b>
6.1 Generalidades	29
6.2 Tendones	29
6.3 Cabeza del anclaje	30
6.4 Acoplamientos	30
6.5 Longitud de adherencia del tendón	30
6.6 Espaciadores y otros elementos insertos en la perforación	31
6.7 Lechadas de cemento y aditivos	31
6.8 Inyecciones de resina	32
6.9 Protección anticorrosiva de los tendones de acero y de componentes de acero en tensión	32
6.9.1 Generalidades	32
6.9.2 Anclajes temporales	33
6.9.3 Anclajes permanentes	33
6.10 Productos y materiales comúnmente utilizados como barrera de protección contra la corrosión	36
6.10.1 Vainas y tubos plásticos	36
6.10.2 Vainas termocontraíbles	37
6.10.3 Sellos	37
6.10.4 Lechadas de cemento	38
6.10.5 Resinas	38
6.10.6 Productos de protección contra la corrosión	38
6.10.7 Recubrimiento metálico de protección	39
6.10.8 Otros recubrimientos para piezas de acero	39
6.10.9 Tubos y caperuzas de acero	39

6.11	Aplicación de la protección contra la corrosión	40
6.11.1	Generalidades	40
6.11.2	Longitud libre y fija de los tendones	40
6.11.3	Cabeza de anclaje	41
6.12	Evaluación de la protección contra la corrosión para anclajes permanentes mediante pruebas de sistema	42
<b>7</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>EJECUCIÓN</b>	<b>47</b>
8.1	Perforación	47
8.1.1	Generalidades	47
8.1.2	Métodos de perforación	48
8.2	Fabricación, transporte, manipulación e instalación de tendones	49
8.2.1	Fabricación	49
8.2.2	Transporte, manipulación e instalación	50
8.3	Inyección	50
8.3.1	Generalidades	50
8.3.2	Control de la perforación	51
8.3.3	Inyección previa	52
8.3.4	Inyección previa en roca	52
8.3.5	Inyección previa en suelo	52
8.3.6	Inyección de los anclajes	52
8.4	Tensado	53
8.4.1	Generalidades	53
8.4.2	Equipos	54
8.4.3	Procedimiento de tensado	54
<b>9</b>	<b>PRUEBAS, SUPERVISIÓN Y MONITOREO</b>	<b>57</b>
9.1	Generalidades	57
9.2	Precisión de las mediciones	58
9.3	Carga de referencia	58
9.4	Métodos de pruebas	58
9.5	Pruebas de investigación	59
9.6	Pruebas de aptitud	60
9.7	Pruebas de aceptación	60
9.8	Carga máxima de bloqueo	61
9.9	Determinación de la longitud libre aparente	61
9.10	Supervisión de la construcción y pruebas	62
9.11	Controles	62
<b>10</b>	<b>INFORMES</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>PRESCRIPCIONES PARTICULARES</b>	<b>65</b>

<b>ANEXO A</b>		<b>67</b>
Verificación eléctrica de la protección anticorrosiva		67
A.1	Generalidades	67
A.2	Medición de la resistencia eléctrica I ( MRE I )	67
A.3	Medición de la resistencia eléctrica II (MRE II)	69
<b>ANEXO B</b>		<b>71</b>
Prueba de sistema de la protección anticorrosiva		71
Prueba A		71
Prueba B		71
<b>ANEXO C</b>		<b>73</b>
Recomendaciones para criterios de aceptación de productos viscosos de protección anticorrosiva y normas para ensayo de propiedades de esos materiales		73
Ejemplos de normas de evaluación de los materiales		73
<b>ANEXO D</b>		<b>77</b>
Diseño de anclajes postensados		77
D.1	Generalidades	77
D.2	Estados límite	77
D.3	Solicitaciones, propiedades del suelo, datos geométricos y situaciones de diseño	78
D.4	Métodos de diseño	79
D.5	Determinación de estado límite de diseño	80
D. 5. 1	Principios y requerimientos	80
D.5.2	Resistencia interna característica del anclaje.	82
D.5.3	Resistencia externa característica del anclaje	82
D.6	Cálculo del estado límite de servicio del anclaje	83
<b>ANEXO E</b>		<b>85</b>
Ejemplos de métodos de prueba de anclajes		85
E.1	Generalidades.	85
E.2	Método de prueba 1	85
E.2.1	Prueba de investigación - Procedimiento de carga.	85
E.2.2	Prueba de aptitud - Procedimiento de carga.	86
E.2.3	Prueba de aceptación – Procedimiento de carga.	86
E.2.4	Medición de las características de fluencia.	87
E.3	Método de prueba 2	88
E.3.2	Prueba de aptitud - Procedimiento de tensado.	88
E.3.3	Prueba de Aceptación - Procedimiento de Tensado.	89
E.3.4	Medición de las Características de Pérdida de Carga.	89

E.4	Método de prueba 3	90
	E.4.1 Prueba de Investigación - Procedimiento de Tensado.	90
	E.4.2 Prueba de Aptitud - Procedimiento de Tensado.	90
	E.4.3 Prueba de aceptación - Procedimiento de tensado.	90
	E.4.4 Medición de la fluencia y cargas características	91
E.5	Tablas generales de procedimientos de carga.	
	Métodos de prueba 1, 2 y 3	94
<b>ANEXO F</b>		<b>97</b>
	Ejemplo de Planillas de Registro	97
<b>ANEXO G</b>		<b>99</b>
	Bases de Diseño de anclajes postensados	99
G.1	Generalidades	99
G.2	Principios básicos del diseño de estructuras ancladas	99
	G.2.1 Mecanismos de falla de sistemas anclados	99
G.3	Estructuras de contención con anclajes	102
	G.3.1 Tipos de muros o pantallas de contención	102
	G.3.2 Empujes de suelos	102
	G.3.3 Cálculo de las cargas en los anclajes	104
	G.3.4 Cálculo y dimensionamiento de la estructura de contención	105
	G.3.5 Verificación de la estabilidad global del sistema muro-anclaje	106
G.4	Bibliografía	108

# 1 Alcances

Estas recomendaciones son aplicables a la instalación, pruebas y monitoreo de anclajes al terreno, tanto permanentes como temporales, en los que se ensaye la capacidad de carga. Un anclaje está compuesto de una cabeza de anclaje, una longitud libre y una longitud fija, la cual está unida al terreno mediante lechada o mortero. El término "terreno" se utiliza en estas recomendaciones para denominar tanto suelo como roca.

*El propósito de estas recomendaciones es el de definir algunos principios que pueden considerarse ya adquiridos, tanto en el extranjero como en Chile, y que son seguidos por la mayoría de las empresas especializadas.*

La planificación y el diseño de anclajes al terreno requieren experiencia y conocimientos en este campo especializado, y si bien estos tópicos están cubiertos brevemente por la norma ENV 1997-1 Código Europeo 7: Diseño en Geotecnia, Parte 1: Reglas generales, se incluye un anexo en estas recomendaciones que trata el diseño de los anclajes al terreno en forma más detallada.

*Esta referencia no es obligatoria, pudiendo el calculista definir su metodología, siempre y cuando no se contraponga con los principios vertidos en la norma mencionada.*

La instalación y la prueba de anclajes requiere de mano de obra y de una supervisión calificada y entrenada. Esta norma no puede reemplazar al conocimiento y la experiencia necesaria para aplicar la misma, lo cual obra en poder del personal y los contratistas especializados.

*La mayoría de los incidentes o accidentes ocurridos durante la puesta en obra de anclajes postensados se debe a la intervención de empresas que no manejan esas técnicas, a la falta de experiencia de proyectistas, o a la falta de control del personal que ejecuta los trabajos.*

Esta recomendación no trata sistemas alternativos de anclajes, como pilotes traccionados, anclajes de tornillo o hélice, anclajes mecánicos, bulones o nails, anclajes con elementos de expansión o muertos de anclaje.

*Donde estos anclajes sean utilizados como alternativas de anclajes al terreno, es importante considerar los efectos de la corrosión sobre los componentes de acero y donde sea posible aplicar los conceptos sobre protección anticorrosiva descritos en el Capítulo 6. Estos sistemas también deben ser sometidos a igual grado de pruebas como las requeridas para anclajes inyectados al terreno según el Capítulo 9.*

La recomendación establece y define principios relacionados con la tecnología de los anclajes. Cuando los sistemas de anclaje no cumplan con las definiciones dadas en el texto de la norma, se ofrece flexibilidad en el uso de estos sistemas mediante la aceptación por escrito del Representante Técnico del Cliente.

## 2 Normas de referencia

La norma europea EN - 1537 incluye referencias con o sin fecha, sobre disposiciones de otras publicaciones. Estas 5 normas de referencia son citadas en el texto y sus publicaciones están listadas a continuación. Para aquellas referencias incluyendo la fecha, las sucesivas revisiones o enmiendas de cualquiera de estas publicaciones se aplicarán a esta norma sólo cuando sean incorporadas a ésta por revisión o enmienda. Para referencias no sujetas a fechas, tendrán validez las últimas ediciones de las publicaciones de referencia.

*Se podrá hacer referencia a normas equivalentes de uso común en Chile, como las mencionadas más abajo.*

En la lista de normas de referencia se incluye, en forma excepcional, a normas preliminares europeas que se encuentran en la fase de diseño. Si alguno de estos documentos se transforma en norma europea, la referencia dada aquí debe ser verificada.

### EN 45014

Criterios generales para la declaración de aceptación.

*ACI 318-95, Capítulos 3, 4 y 5*

### ENV 206

Hormigón – Ejecución, producción, colocación y criterios de aceptación.

*NCh 170 Of. 85: Hormigón – Requisitos generales.*

### ENV 1991-1-1

Eurocódigo 1: Bases para el diseño y solicitudes sobre estructuras – Parte 1-1: Bases para el diseño.

*ACI 318-95, Capítulo 8*

### ENV 1992-1-1

Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón – Parte 1-1: Reglas generales – Reglas generales y normas para edificios.

*NCh 211 Of. 69: Barras con resaltes en obras de hormigón armado.*



**ENV 1992-1-5**

Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón – Parte 1-5: Estructuras con tendones pretensados no adheridos y externos

*ACI 318-95, Capítulo 18*

**ENV 1993-1-1**

Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero – Parte 1-1: Reglas generales y normas para edificios.

**ENV 1994-1-1**

Eurocódigo 4: Diseño de estructuras compuestas de hormigón y acero – Parte 1-1: Reglas generales y normas para edificios.

**ENV 1997-1:1994**

Eurocódigo 7: Diseño en geotecnia – Parte 1: Reglas generales.

**prEN 445**

Lechada o mortero para tendones pretensados – Métodos de prueba.

*NCh 158 Of. 67: Cemento – Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento.*

**prEN 446**

Lechada o mortero para tendones pretensados – Procedimientos de inyección

**prEN 447**

Lechada o mortero para tendones pretensados

**prEN 10138:**

Diseño de acero pretensado – Especificación para lechada o mortero corriente.

*NCh 860 Of. 72: Acero – Cordones desnudos de acero, sin tensiones internas, para tendones para hormigón pretensado – Especificaciones.*

## 3 Términos, definiciones y simbología

### Definiciones

Los principales términos están concordantes con todos los Eurocódigos. Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones:

#### 3.1.1 Acoplamiento

Dispositivo para unir las barras o cables, que forman el tendón de un anclaje.

#### 3.1.2 Anclaje

Es un dispositivo capaz de transmitir una carga de tracción a una zona del terreno.

#### 3.1.3 Anclaje permanente

Un anclaje con una vida útil de diseño superior a dos años.

#### 3.1.4 Anclaje temporal

Anclaje con una vida útil de hasta dos años.

#### 3.1.5 Cabeza del anclaje

Parte del anclaje que transmite la carga de tracción desde el tendón a una placa o estructura de apoyo.

#### 3.1.6 Carga crítica de fluencia

Carga del anclaje correspondiente al punto final de la primera parte recta de un gráfico carga del anclaje versus coeficiente de fluencia (ver Anexo E).

#### ***Carga de servicio***

*Con el uso de coeficiente global de seguridad es necesario definir el término "carga de servicio o trabajo" como la sollicitación del anclaje estimada para un estado de cargas.*

#### 3.1.7 Carga de bloqueo

La carga transferida a la cabeza del anclaje inmediatamente después de completar la operación de tensado.

#### 3.1.8 Carga de prueba

Máxima carga de prueba a la cual se somete un anclaje.

### 3.1.9 Carga de referencia

Carga del anclaje a partir de la cual se mide el desplazamiento de la cabeza del anclaje durante una prueba de carga. En general, se adopta el 10% de la carga de prueba.

*La DIN 4125 sugiere  $F_i \leq 0,2 F_w$ , donde*

*$F_i$  = carga de referencia*

*$F_w$  = carga de servicio o trabajo*

### **Celda de carga**

*Dispositivo ubicado entre la cabeza del anclaje y la estructura que permite medir la carga del anclaje.*

### 3.1.10 Decantación

Separación del agua de la lechada de cemento.

### 3.1.11 Diámetro de una perforación

Se define por el diámetro de la broca o del revestimiento, excluyendo todo ensanchamiento.

### 3.1.12 Encapsulación

Protección contra la corrosión aplicada al menos a la longitud de adherencia del tendón.

### 3.1.13 Lechada o mortero

Material aglomerante que transfiere la carga desde el tendón al terreno a lo largo de la longitud fija del anclaje, y que puede llenar el resto de la perforación. Puede además contribuir a la protección contra la corrosión.

### 3.1.14 Límite de pérdida de carga

Pérdida de carga acumulada permitida al final de un período de tiempo especificado.

### 3.1.15 Longitud de adherencia del tendón

Longitud del tendón adherida directamente a la lechada o mortero y capaz de transmitir la carga de tracción aplicada. Normalmente coincide con la longitud fija del anclaje.

### 3.1.16 Longitud fija del anclaje o bulbo

Longitud de diseño del anclaje considerada para transmitir la carga al terreno a través de la lechada o mortero.

### 3.1.17 Longitud libre del anclaje

Es la parte del anclaje situada entre la cabeza del anclaje y el extremo más próximo de la longitud fija.

### 3.1.18 Longitud libre del tendón

Longitud del tendón entre la cabeza del anclaje y el extremo más próximo de la longitud de adherencia del tendón.

### 3.1.19 Longitud libre aparente del tendón

Longitud del tendón entre el punto de conexión del tendón con el gato de tensado y un punto ficticio del tendón determinado a partir de una prueba de carga en el anclaje.

### 3.1.20 Prueba de aceptación

Es una prueba de carga que mide que cada anclaje cumpla con los criterios de aceptación establecidos.

### 3.1.21 Prueba de aptitud

Prueba de carga para confirmar que un diseño específico de un anclaje será adecuado en condiciones del terreno particulares.

### 3.1.22 Prueba de investigación

Prueba de carga para establecer la carga máxima de un anclaje en la interfase lechada/terreno y para determinar las características de un anclaje en el rango de la carga de servicio.

*El anclaje utilizado para la prueba de investigación se denominará "anclaje de prueba" y no se utilizará como anclaje de servicio, ya que esta prueba es destructiva.*

### 3.1.23 Prueba de sistema

Prueba que se realiza en un sistema de anclaje para verificar su desempeño con respecto al comportamiento requerido.

### 3.1.24 Resistencia externa del anclaje

La resistencia de un anclaje en la interfase entre el terreno y la longitud fija del anclaje.

### 3.1.25 Resistencia interna característica del anclaje

Capacidad de carga característica del tendón del anclaje.

### 3.1.26 Representante Técnico del Cliente

Respecto al cliente éste es un profesional experto en geotecnia completamente familiarizado con todos los aspectos de los trabajos relacionados con el uso de los anclajes, incluyendo un conocimiento especializado de la tecnología de anclajes.

*En el mercado nacional, la figura del "Representante Técnico del Cliente" es cubierta por la ITO (Inspección Técnica de Obra).*

### 3.1.27 Tendón

Parte del anclaje capaz de transmitir la carga de tracción desde la longitud fija a la cabeza del anclaje.

### 3.1.28 Velocidad límite de fluencia

Máxima velocidad de fluencia permitida para un nivel de carga especificado.

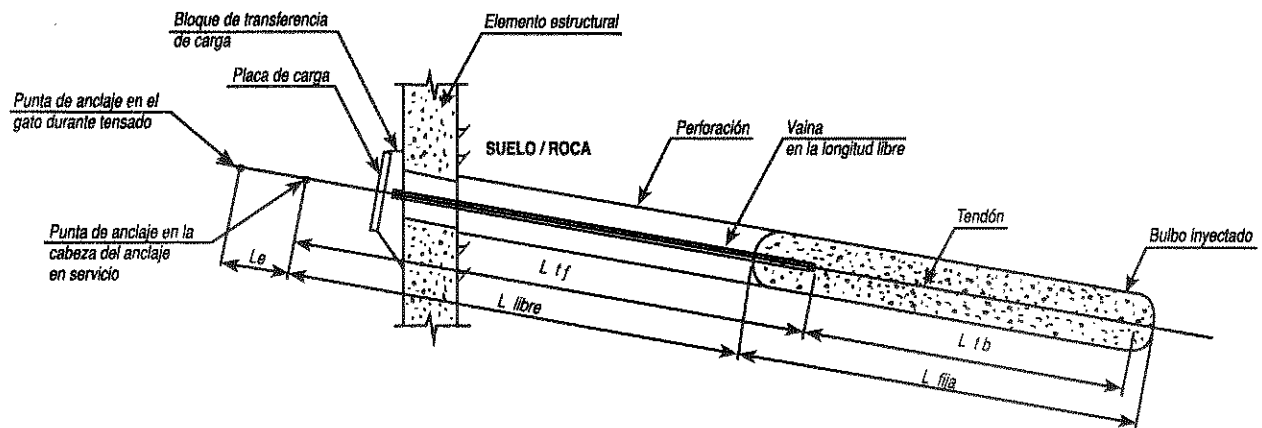


Figura 1:

Esquema de un anclaje en suelo o roca – Detalles de la cabeza del anclaje omitiendo la protección de la cabeza

## Simbología

$A_t$	Area de la sección transversal del tendón del anclaje
$E_d$	Valor de diseño del efecto de una acción
$E_{d.dst}$	Valor de diseño del efecto de una sollicitación desestabilizadora
$E_{d.stb}$	Valor de diseño del efecto de una sollicitación estabilizadora
$E_t$	Módulo de elasticidad del tendón del anclaje
$f$	Pérdida por fricción como porcentaje de $P_p$
$f_{tk}$	Resistencia a la tracción característica de un tendón
$f_{t0.1k}$	Resistencia a la tracción característica a la cual se produce una deformación permanente del 0,1%
$f_r$	Área relativa de los resaltes
$k_s$	Razón (cuociente) de fluencia
$k_l$	Pérdida de carga
$L_{app}$	Longitud libre aparente del tendón
$L_e$	Longitud externa de un tendón medido desde el anclaje del tendón en la cabeza de anclaje hasta la mordaza del gato hidráulico
$L_{fixed}$	Longitud fija del anclaje = L fija
$L_{free}$	Longitud libre del anclaje = L libre
$L_{tb}$	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
$P_{c'}$	Aproximación a la carga crítica de fluencia
$P_o$	Carga de bloqueo del anclaje
$P_p$	Carga de prueba
$P_{tk}$	Carga de tracción característica del tendón
$P_{t0.1k}$	Carga de tracción característica a la cual se produce una deformación permanente de 0,1%
$R_a$	Resistencia externa del anclaje
$R_{ak}$	Resistencia característica externa del anclaje
$R_{ik}$	Resistencia característica interna del anclaje
$R_d$	Resistencia de diseño de un anclaje
$R_k$	La menor de las resistencias características entre la interna y la externa
$s$	Desplazamiento de la cabeza del anclaje
$t$	Tiempo desde la aplicación del incremento de carga o bloqueo de la carga
$\alpha$	Pendiente de la curva de fluencia con carga constante versus logaritmo del tiempo
$\Delta P$	Diferencia entre la carga de prueba y la carga de referencia del anclaje
$\Delta s$	Deformación medida del tendón bajo un incremento de carga $\Delta P$
$\gamma_q$	Coefficiente de mayoración de la carga del anclaje
$\gamma_R$	Coefficiente de seguridad de la resistencia del anclaje



## 4 Requisitos específicos

### 4.1 Generalidades

Los anclajes al terreno pueden ser diseñados en forma eficiente únicamente sobre la base de un conocimiento sólido del proyecto de la obra, de los requerimientos estructurales de los anclajes y de las propiedades geotécnicas del suelo. Las pruebas de los anclajes y la verificación de los parámetros de diseño son elementos necesarios en el procedimiento constructivo para la ejecución económica de anclajes que resulten efectivos.

Se deben definir las responsabilidades de todas las partes involucradas en el diseño, ejecución, pruebas y mantenimiento de anclajes al terreno. La Tabla 1 muestra, a modo de guía, una división apropiada de las actividades de diseño y ejecución.

Antes del inicio de los trabajos, debe ser entregada la información suficiente para contribuir al diseño y la ejecución de los anclajes, información que debe ser actualizada durante la ejecución de los mismos.

NOTA: El diseño completo o partes del mismo pueden ser realizados por el cliente, el contratista principal, el contratista especializado o por un consultor.

### 4.2 Planificación de los trabajos

La siguiente información será suministrada previamente a la provisión y ejecución del sistema de anclajes:

- Detalles del proyecto de anclajes, de la secuencia de construcción y del plan de trabajos;
- Un informe de la investigación del terreno, incluyendo una clasificación geotécnica y las propiedades del suelo en el cual se instalarán los anclajes;
- Información de todas las condiciones de borde, incluyendo servicios presentes en el subsuelo, fundaciones existentes y requerimientos relevantes respecto de la posición y funcionamiento de los anclajes;
- Información sobre los propietarios del subsuelo en el cual se ejecutarán los anclajes;
- Información sobre cualquier acuerdo requerido para obtener acceso al suelo en el cual se ejecutarán los anclajes;

El alcance de los trabajos de investigación y diseño depende del tipo y tamaño del proyecto, de la complejidad del suelo y del grado de riesgo implícito.

**TABLA 1**  
**Actividades de diseño y ejecución**

**Actividades generales**

1. Entrega de datos de los estudios de suelos para la ejecución de anclajes al terreno.
2. Decisión de utilizar anclajes al terreno, pruebas requeridas y elección de una norma o especificación.
3. Obtención de las autorizaciones legales y de los permisos para invadir terrenos de propiedad de terceros.
4. Diseño global de la estructura anclada, cálculo de las fuerzas de anclaje requeridas. Definición de los factores de seguridad a ser empleados.
5. Definición de la vida útil de los anclajes (permanentes/temporales) y requerimientos para la protección anticorrosiva.
6. Especificación de la separación entre anclajes y sus orientaciones, cargas de anclajes y requerimientos de estabilidad global.
7. Especificación de la distancia mínima desde la estructura hasta el centro del bulbo o longitud fija para garantizar la estabilidad de la estructura.
8. Especificación del mecanismo de transferencia de carga del anclaje a la estructura (anclada).
9. Especificación de cualquier tipo de secuencia requerida por la estructura para la aplicación de la carga y de los niveles apropiados de las mismas.
10. Especificación de los sistemas para control de comportamiento de los anclajes y para la interpretación de los resultados.
11. Supervisión de los trabajos.
12. Especificación de la mantención de los anclajes durante la vida útil.
13. Instrucciones a todas las partes involucradas sobre puntos relevantes en la filosofía de diseño a los cuales debe prestarse especial atención.

**Actividades de ejecución especializada**

1. Evaluación de los datos de la investigación del terreno con respecto a las hipótesis de diseño.
2. Selección de los componentes de los anclajes y detalles constructivos.
3. Determinación de las dimensiones de la longitud fija o longitud de bulbo.
4. Detalles del sistema de protección anticorrosiva para los anclajes.
5. Provisión e instalación del sistema de anclajes.
6. Provisión e instalación del sistema de control de comportamiento de los anclajes.
7. Control de calidad de los trabajos.
8. Ejecución e interpretación de las pruebas sobre los anclajes.
9. Evaluación de las pruebas de aceptación sobre los anclajes.
10. Mantención de los anclajes de acuerdo con las especificaciones.

## 5 Investigación del terreno

El terreno es un elemento esencial en un sistema de anclajes; por tal motivo, es fundamental una investigación geotécnica calificada. Una causa común de falla de un anclaje individual en la etapa de la prueba de aceptación es la ausencia de información detallada sobre las condiciones del terreno en el área del anclaje.

Teniendo en cuenta que se instalan anclajes inclinados tan frecuentemente como anclajes verticales, hay que investigar tanto las variaciones laterales como las verticales de las propiedades del suelo.

Toda investigación geotécnica deberá realizarse de acuerdo con los requerimientos y recomendaciones del ENV 1997-1-1 Eurocódigo 7, Parte 1.

La investigación geotécnica deberá extenderse hasta los límites de una zona tal que el perfil de los estratos pueda obtenerse por interpolación a partir de las zonas investigadas, sin necesidad de extrapolar fuera de las mismas. Donde sea posible, deberá extenderse, para incluir zonas del terreno fuera de obra.

La investigación geotécnica deberá definirse para asegurar que:

- a) se trata de una formación geológica conocida; o
- b) ningún estrato inferior afectará el diseño y
- c) las condiciones de las napas freáticas sean conocidas.

Además de la litología y estructura del suelo de acuerdo con ENV 1997-1-1 Eurocódigo 7 Parte 1, también deberá conocerse lo siguiente:

- a) En suelos:
  - descripción y clasificación del suelo (granulometría, humedad, peso específico, densidad relativa, límites de Atterberg);
  - resistencia al corte, compresibilidad y rigidez radial;
  - permeabilidad;
  - condiciones de las napas freáticas;
  - agresividad del suelo y del agua subterránea;
  - existencia de corrientes eléctricas parasitarias.
- b) En rocas:
  - clasificación (geometría de las discontinuidades, peso específico, grado de meteorización, pruebas de clasificación);
  - estratificación de la roca;
  - resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa;
  - resistencia al corte y deformabilidad del macizo rocoso;
  - permeabilidad;
  - condiciones de las napas freáticas;
  - agresividad del suelo y del agua subterránea;
  - existencia de corrientes eléctricas parasitarias;

A partir de esta información, habrá que determinar las probabilidades o dificultades relativas a:

- obstáculos en la perforación;
- metodología de ejecución de las perforaciones (factibilidad);
- estabilidad de la perforación;
- afluencia de agua a la perforación;
- pérdida de la lechada o mortero desde la perforación.

## 6 Materiales y productos

### 6.1 Generalidades

Hay que utilizar sistemas de anclaje para los cuales exista una experiencia comprobada y documentada de su funcionamiento y su durabilidad.

Todo sistema de anclaje debe someterse, como mínimo, a una prueba de sistema para verificar su validez. Se debe elaborar un informe detallado de los resultados de la prueba.

El informe de prueba de sistema debe ser aprobado por el Representante Técnico del Cliente conforme a los principios establecidos en esta norma.

Todos los materiales utilizados deben ser compatibles entre sí. Esto se aplica en particular a los materiales adyacentes con una superficie común. Durante todo el tiempo de utilización previsto para el anclaje, los materiales deben conservar propiedades adecuadas para que el anclaje no pierda su función.

Está autorizado el uso de anclajes que utilicen nuevos materiales o nuevos métodos de ejecución, siempre y cuando su capacidad de anclaje y la durabilidad de los materiales utilizados hayan sido probadas mediante pruebas de sistema, y hayan sido aprobadas por el Representante Técnico del Cliente, con el fin de garantizar que el funcionamiento del sistema de anclaje podrá ser mantenido durante la vida útil de la estructura anclada.

### 6.2 Tendones

Los tendones de acero deben cumplir con las siguientes normas europeas:

- Aceros de construcción: ENV 1993-1: Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero. Parte 1: Requisitos generales.
- Aceros para hormigón armado: ENV 1992-1-1 Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón. Parte 1: Requisitos generales y requisitos para edificios.
- Tendones para pretensado: pr EN 10138 : Diseño de tendones de pretensado.
- pr EN 1992-1-5 Eurocódigo 2: Cálculo de estructuras de hormigón. Parte 1-5: Uso de tendones pretensados no adherentes.

- *NCh 203 Of. 77: Acero para uso estructural - Requisitos*
- *NCh 211 Of. 69: Barras con resaltes en obras de hormigón armado*
- *NCh 860 Of. 72: Acero – Cordones desnudos de acero, sin tensiones internas, para tendones para hormigón pretensado - Especificaciones*

Los tendones no metálicos pueden ser utilizados solamente cuando su conveniencia como elemento de anclaje haya sido demostrada y cuando hayan sido aprobados por el Representante Técnico del Cliente.

### 6.3 Cabeza del anclaje

La cabeza del anclaje debe permitir la puesta en tensión de los tendones, la aplicación de la tracción de prueba y, si fuera necesario, una descarga, un destensado y una nueva puesta en tensión. Debe ser capaz de soportar el 100% de la carga de tracción característica  $P_{tk}$  de los tendones del anclaje.

La cabeza del anclaje debe cumplir con la norma ENV 1992-1: Eurocódigo 2, salvo que las variaciones sean justificadas. La cabeza del anclaje debe ser diseñada para permitir desviaciones angulares de los tendones, con respecto a la normal a la cabeza, hasta 3° como máximo, cuando está sometida al 97% de la carga de tracción característica  $P_{tk}$  de los tendones.

La cabeza del anclaje debe distribuir, conforme al diseño de la estructura global, los esfuerzos de tracción de los tendones a la estructura principal o al terreno, mediante elementos calculados o probados.

La cabeza del anclaje debe ser capaz de adaptarse a las deformaciones que pudieran ocurrir durante la vida útil prevista para la estructura.

### 6.4 Acoplamientos

Los acoplamientos deben cumplir con la norma ENV 1992-1-1: Eurocódigo 2, y no deben disminuir la resistencia a tracción requerida para los tendones.

Los tendones no tendrán acoplamientos en la longitud del bulbo.

El libre alargamiento de los tendones de acero no debe estar restringido por la presencia del acoplamiento.

La protección contra la corrosión del acoplamiento debe ser compatible con la protección contra la corrosión de los tendones.

### 6.5 Longitud de adherencia del tendón

En la longitud de adherencia de los tendones se deben utilizar barras corrugadas, cables o tubos de compresión.

A título indicativo, los siguientes tipos de tendones de acero pueden ser anclados por adherencia:

- Hilos estirados en frío, perfilados después del estiramiento.
- Hilos enfriados y templados durante el laminado en caliente.
- Barras corrugadas.
- Torones con 7 hilos.

La superficie relativa de adherencia  $f_a$  de los torones o barras corrugadas debe cumplir con la norma ENV 1992-1-1: Eurocódigo 2.

Los tendones para pretensado con superficie lisa con o sin dispositivo de anclaje especiales probados, pueden ser utilizados solamente para anclajes temporales y deben contar con la aprobación del Representante Técnico del Cliente.



## 6.6 Espaciadores y otros elementos insertos en la perforación

Todos los tendones y las vainas deben ser colocados con un recubrimiento mínimo de 10 mm de lechada con respecto a la pared de la perforación. Esto se puede obtener mediante espaciadores y centralizadores.

Cuando un elemento se instala de manera definitiva en una perforación, debe colocarse de tal manera que no afecte la capacidad del anclaje. Para garantizar una buena posición en la perforación de los tendones, de sus componentes, de los elementos de protección contra la corrosión o de otros elementos, deben colocarse los espaciadores de tal manera que cumplan la exigencia de recubrimiento mínimo y que se logre un relleno completo de los vacíos por la lechada.

Los espaciadores y los centralizadores no deben ser un obstáculo al paso de la lechada.

Cuando, para un anclaje permanente, se utilicen espaciadores en el exterior de una vaina, conviene fabricarlos con materiales resistentes a la corrosión.

El diseño de los centralizadores debe tener en cuenta la forma de la perforación (por ejemplo, la presencia de ensanchamientos "en campana"), el peso de los tendones y la posibilidad de remoción del terreno durante la colocación de los tendones.

## 6.7 Lechadas de cemento y aditivos

Las lechadas de cemento utilizadas en la encapsulación y en el contacto con los tendones metálicos deben cumplir con las normas prEN 445, prEN 446, y prEN 447. En caso de contradicción entre lo estipulado en esas normas y la presente, se adoptará lo estipulado en esta última.

*NCh 158 Of. 67: Cemento – Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento.*

Cuando una lechada de cemento se utilice para sellar tendones en una vaina o para proteger tubos de acero, las propiedades de la lechada deben controlarse para prevenir los efectos de retracción y de decantación. La relación agua/cemento, para las lechadas de anclaje utilizadas entre la vaina y la pared de la perforación, debe elegirse de manera apropiada a las condiciones de terreno.

Los cementos con alto contenido en sulfatos no deben ser utilizados en contacto con los tendones de pretensado.

*Los cementos también deberán cumplir con las siguientes limitaciones en:*

- cloro total < 0,05% peso cemento
- azufre en sulfuros < 0,15% peso cemento

Para elegir el tipo de cemento para lechadas en contacto con el terreno, hay que tener en cuenta la presencia de productos agresivos en el entorno (por ejemplo, ácido carbónico y sulfatos naturales), la permeabilidad del terreno y el tiempo de utilización previsto para el anclaje. La agresividad del entorno se debe definir de acuerdo a la norma ENV 206.

*En la tabla siguiente se proporciona una clasificación de la agresividad de los suelos:*

<i>Agresividad</i>	<i>Entorno</i>
<i>Alta</i>	<i>Terrenos ubicados en la cercanía de fábricas o depósitos de productos químicos corrosivos, a la orilla del mar o en terrenos con alto contenido natural de sulfatos.</i>
<i>Media</i>	<i>Terrenos ubicados en la cercanía del mar o en contacto con aguas muy agresivas (aguas ácidas o con alto contenido de sulfatos).</i>
<i>Baja</i>	<i>Ninguno de los casos anteriores.</i>

Pueden utilizarse aditivos para mejorar la trabajabilidad o la durabilidad de la lechada, para reducir su decantación o su retracción, o para acelerar su fraguado. La utilización de aditivos en presencia de tendones para pretensado debe ser autorizada por el Representante Técnico del Cliente. Los aditivos no deben contener elementos susceptibles de dañar los tendones para pretensado o la lechada. No se puede utilizar ningún aditivo que contenga más del 0,1% (en peso) de cloruros, sulfatos o nitratos.

Si fuera necesario, se pueden incorporar áridos inertes (por ejemplo, arena) a la lechada de cemento, para limitar las pérdidas de lechada en la perforación.

Deben realizarse pruebas en laboratorio e "in-situ" para verificar la composición de la mezcla, la eficiencia del mezclado, los tiempos de fraguado y las características de la lechada. Las pruebas deben realizarse de acuerdo a la norma prEN 445, cuando ésta sea aplicable.

## **6.8 Inyecciones de resina**

Las resinas y los morteros de resina se pueden utilizar para la ejecución de anclajes, en lugar de las lechadas de cemento, siempre y cuando se compruebe su conveniencia mediante pruebas de sistema.

Se deben realizar pruebas en laboratorio e "in-situ" para verificar la composición de la mezcla, la eficiencia del mezclado, los tiempos de fraguado y el comportamiento de la lechada.

## **6.9 Protección anticorrosiva de los tendones de acero y de componentes de acero en tensión**

### **6.9.1 Generalidades**

No hay modo efectivo de identificar las condiciones corrosivas con la suficiente precisión como para predecir la velocidad de corrosión del acero en el suelo. Todos los componentes de acero que se hallan en tensión deben estar protegidos contra la corrosión durante su vida útil. Los elementos de protección deberán ser capaces de transmitir las cargas del tendón de acero cuando sea necesario.

*La importancia de la protección se determina también en función de la agresividad del suelo o del entorno.*

El grado de protección anticorrosiva está definido por la vida útil del anclaje:

- Los anclajes temporales se definen como aquellos en los que se requiere una vida útil no superior a dos años.
- Los anclajes permanentes se definen como aquellos que tendrán una vida útil mayor a dos años.

### 6.9.2 Anclajes temporales

Los componentes de acero de un anclaje temporal deben contar con una protección que inhiba o prevenga la corrosión durante una vida útil mínima de dos años.

Si existe la posibilidad de que la vida útil del anclaje sea extendida, aunque siempre con un carácter no permanente, o si el anclaje se instala en condiciones de terreno conocidas como agresivas, entonces se tomarán medidas para proteger todos los componentes del anclaje contra la corrosión, las que deberán ser aprobadas por el Representante Técnico del Cliente.

En la Tabla 2 se describen ejemplos de protección anticorrosiva que pueden considerarse para satisfacer los principios anteriormente indicados para los anclajes temporales.

### 6.9.3 Anclajes permanentes

La mínima protección anticorrosiva rodeando al tendón del anclaje será una capa única continua de material de protección que no se degrade durante la vida útil del anclaje.

El tendón de un anclaje permanente debe estar provisto con alguno de los siguientes sistemas de protección:

- a) Dos barreras de protección, tal que una barrera permanezca intacta, en caso de que la otra sea dañada durante la instalación o el tensado del anclaje; o
- b) Una única barrera de protección contra la corrosión, cuya integridad debe ser comprobada mediante la prueba de cada anclaje en terreno (ver Anexo A);
- c) Un sistema de protección anticorrosivo formado por un tubo de acero tipo "tubo con manguitos" (ver 6.10.4 y 6.10.9);
- d) Un sistema de protección anticorrosivo formado por un tubo plástico corrugado del tipo "tubo con manguitos" (ver 6.10.4 y 6.10.9);
- e) Un sistema de protección anticorrosivo formado por un tubo de acero del tipo anclaje de tubo comprimido (ver 6.10.4 y 6.10.6).

En la Tabla 3 se describen ejemplos de protección anticorrosiva que pueden considerarse para satisfacer los principios anteriormente indicados para los anclajes permanentes.

## **Tabla 2: Ejemplos de sistemas de protección anticorrosiva para anclajes temporales**

### **1. Longitud de adherencia del tendón:**

Todos los tendones deben tener un recubrimiento mínimo de 10 mm de lechada de cemento con respecto a la perforación. Donde se tenga conocimiento de la existencia de condiciones agresivas del suelo, puede ser necesario aumentar el grado de protección, por ejemplo mediante el uso de un único tubo corrugado alrededor del tendón (o tendones).

### **2. Longitud libre del tendón:**

El sistema de protección debe tener baja resistencia a la fricción y permitir el libre movimiento del tendón dentro de la perforación. Esto puede lograrse mediante la utilización de alguno de los siguientes elementos:

- a) vaina plástica rodeando cada torón individual, sellada en los extremos para impedir el ingreso de agua;
- b) vaina plástica rodeando cada torón individual y rellena completamente con un compuesto anticorrosivo;
- c) vaina plástica o tubo de acero común a todos los torones, sellada en los extremos para impedir el ingreso de agua;
- d) vaina plástica o tubo de acero común a todos los torones y relleno completamente con un compuesto anticorrosivo;
- b) o d) son soluciones apropiadas para el uso de anclajes temporales con duraciones mayores a las previstas o en ambientes agresivos.

### **3. Transición entre la cabeza del anclaje y la longitud libre (zona interna de la cabeza del anclaje):**

La vaina o tubo de la longitud libre debe estar sellada contra la placa de la cabeza del anclaje (o contra la cabeza) o bien un tubo corto metálico o plástico debe soldarse o sellarse respectivamente contra la placa de la cabeza. Este tubo debe traslapar al tubo de la longitud libre y, para el caso de uso prolongado de los anclajes temporales, rellenarse en su parte inferior con un producto de protección anticorrosiva, cemento o resina.

### **4. Cabeza del anclaje:**

En los casos en que la cabeza del anclaje sea accesible para inspección y posible renovación del recubrimiento, son aceptables las siguientes protecciones:

- a) una protección de compuesto no fluido de protección anticorrosiva o
- b) una combinación de compuesto de protección anticorrosiva y cinta impregnada con un compuesto de este tipo.

Donde la cabeza del anclaje no sea accesible, debe utilizarse un capuchón de plástico o metal relleno con un compuesto de protección anticorrosiva, para el caso de uso por períodos prolongados.

Donde se tenga conocimiento de condiciones agresivas, se utilizará un capuchón de plástico o metal relleno con un producto de protección anticorrosiva.

### **Tabla 3: Ejemplos de sistemas de protección anticorrosiva para anclajes permanentes**

#### **Verificación de la protección ofrecida**

- a) Todos los sistemas de protección anticorrosiva deben estar avalados por uno o varios ensayos que verifiquen la competencia del sistema. Los resultados de todos los ensayos deben quedar correctamente documentados.
- b) El Representante Técnico del Cliente efectuará una evaluación técnica de los resultados de los ensayos del sistema de protección anticorrosiva, para así verificar que la protección ofrecida por cada barrera en el sistema esté asegurada. Se debe destacar que en ciertos sistemas la integridad de la barrera de protección interna depende de la mantención de la integridad de la barrera externa.
- c) Donde se ha provisto una sola barrera de protección en la longitud fija del anclaje, la integridad de esta barrera debe ser chequeada por un ensayo "in-situ", tal como una prueba de resistencia eléctrica.

#### **1. Longitud fija del anclaje**

La encapsulación puede estar constituida por uno de los siguientes sistemas:

- a. Un solo tubo de plástico corrugado conteniendo el (los) tendón(es) y la lechada de cemento.
- b. Dos tubos de plástico concéntricos corrugados conteniendo el (los) tendón (es), completamente inyectados (con cemento o resina) en la parte central y el espacio anular entre los tubos antes de la instalación.
- c. Un solo tubo de plástico corrugado conteniendo una barra (o barras) preinyectadas con lechada de cemento. Se le da un mínimo de recubrimiento de 5 mm entre el tubo y la barra. Las barras tienen una superficie nervurada continua. El ancho de las fisuras de la lechada inyectada entre el tubo y la barra no debe exceder 0,1 mm durante la carga de servicio.
- d. Un solo tubo-manguito de acero o de plástico corrugado, de espesor no inferior a 3 mm, recubierto con un mínimo de 20 mm de lechada inyectada a una presión no inferior a 500 kPa, en intervalos a lo largo del tubo-manguito no mayores de 1 m. Entre el tubo y los tendones debe asegurarse un mínimo de 5 mm de recubrimiento. El ancho de las fisuras de la lechada no debe exceder 0,2 mm bajo la carga de servicio.
- e. Un solo tubo de acero corrugado (tubo de compresión) recubriendo estrechamente un tendón de acero engrasado. El tubo y la caperuza de plástico al nivel de la cabeza de anclaje se protegen por el recubrimiento de la lechada de cemento en un espesor no inferior a 10 mm, y donde el espesor de las fisuras no exceda 0,1 mm bajo la carga de servicio.

#### **Barreras de protección "in-situ"**

- a. Un tubo plástico.
- b. Dos tubos plásticos.
- c. Lechada de cemento interna y tubo plástico envolvente.
- d. Lechada de cemento interna y tubo plástico o de acero envolvente.
- e. Tubo de acero y lechada de cemento envolvente.

## 2. Longitud libre del anclaje (Viene de tabla 3)

El sistema de protección permite movimientos libres del tendón dentro de la perforación. Puede ser ejecutado según los siguientes sistemas:

- a. Una vaina plástica para cada tendón individual, completamente rellena con un compuesto de protección a la corrosión flexible, más las disposiciones de los puntos A, B, C o D de más abajo.
- b. Una vaina plástica para cada tendón individual, completamente rellena con lechada de cemento, más las disposiciones de los puntos A o B de más abajo.
- c. Una vaina plástica común a todos los tendones, completamente rellena con lechada de cemento, más las disposiciones del punto B.
- A. Vaina plástica común o tubo relleno con un compuesto de protección anticorrosiva flexible.
- B. Vaina plástica común o tubo cerrado en su extremo para prevenir la entrada de agua.
- C. Vaina plástica común o tubo relleno con lechada de cemento.
- D. Tubo de acero común relleno con una lechada densa de cemento.

Para permitir el libre movimiento del tendón durante la puesta en tensión, las vainas, sean individuales o comunes, no deben estar unidas al tendón o deben tener una superficie de contacto lubricada.

## 3. Unión de la cabeza del anclaje con la longitud libre

Un tubo metálico o plástico pintado y sellado será unido o soldado a la cabeza del anclaje. Este tubo se une a la vaina o al tubo de la longitud libre y se rellena con un producto de protección anticorrosiva, lechada de cemento o resina.

## 4. Cabeza del anclaje

Una caperuza metálica recubierta y/o galvanizada con una pared mínima de 3 mm de espesor, o una caperuza de plástico rígido con espesor de pared mínimo de 5 mm, será conectada a la placa de apoyo. Si es removible, se rellena con un compuesto de protección a la corrosión flexible y se equipa con un sello de estanqueidad. Si es inamovible, puede rellenarse con lechada de cemento o resina.

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

## 6.10.1 Vainas y tubos plásticos

Las vainas y los tubos plásticos deben cumplir con las normas europeas de los productos correspondientes y, en particular, deben ser continuos, impermeables al agua, resistentes al resquebrajamiento por envejecimiento y al daño producido por la radiación ultravioleta durante su almacenamiento, transporte o instalación. Las uniones entre componentes de plástico serán totalmente selladas, para prevenir el ingreso de agua por contacto directo o por los sellos de estanqueidad. Si se utiliza PVC, éste deberá ser resistente al envejecimiento y no producir cloruros libres.

El espesor mínimo de la pared de un tubo externo corrugado común al tendón deberá ser:

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



El espesor mínimo de la pared de una vaina o tubo externo liso deberá ser 1 mm mayor que el indicado para un tubo corrugado, o de lo contrario deberá ser reforzado.

El espesor mínimo de la pared de la vaina interior deberá ser de 1,0 mm, y el del tubo interior corrugado deberá ser 0,8 mm.

*NOTA: Donde se han previsto dos barreras plásticas, la barrera externa asegura una cierta protección de la barrera interna durante la colocación.*

Cuando los tubos de plástico sean usados para transferir cargas, éstos deberán tener ondulaciones o ser corrugados. La altura y frecuencia de los resaltes o de las acanaladuras debe tener relación con el espesor de la pared y debe permitir la transferencia de carga sin pérdida de tensión por fluencia.

Cuando un tubo corrugado utilizado para la inyección de lechada bajo presión sea considerado como una barrera de protección, debe demostrarse que, después de la inyección de lechada, el agua no puede penetrar por los orificios de inyección.

El tubo debe tener 3 mm de espesor mínimo y debe establecerse por una prueba de sistema (ver 6.12) que la altura y la frecuencia de las acanaladuras permiten la transferencia de las fuerzas. Igualmente se debe comprobar, bajo tensión, la integridad de la barrera de protección (ver 6.12).

Donde un tubo plástico sea la única barrera de protección de un anclaje permanente, se llevará a cabo una prueba "in-situ" para verificar la integridad del tubo plástico en toda la longitud del anclaje. Se hará mediante una prueba eléctrica que se realizará después de la inyección y del tensado, para asegurar el aislamiento completo del tendón de acero del suelo. Los detalles de un método de prueba adecuado se adjuntan en el Anexo A de esta norma.

### **6.10.2 Vainas termocontraíbles**

Las vainas termocontraíbles pueden usarse para encapsular los elementos de protección contra la corrosión que cubren la superficie de un elemento de acero.

El calentamiento de la vaina termocontraíble deberá aplicarse de manera que los otros elementos del sistema de protección contra la corrosión no modifiquen sus especificaciones estándares; por ejemplo, no deformarse ni quemarse por la aplicación de calor o, por otro lado, disminuir su capacidad de protección.

La razón de contracción deberá ser tal que se evite toda aparición de aberturas en el largo plazo. El espesor de la pared de la vaina después de la contracción no debe ser menor a 1 mm.

### **6.10.3 Sellos**

Las juntas mecánicas se sellan con juntas tóricas (o-rings), sellos de estanqueidad o vainas termocontraíbles.

Los sellos de estanqueidad u otros dispositivos equivalentes deben prevenir cualquier fuga del producto de protección o cualquier penetración de agua desde el exterior, cualesquiera que sean los movimientos relativos entre elementos adyacentes sellados.

#### 6.10.4 Lechadas de cemento

Las lechadas de cemento inyectadas en la perforación se permiten como protección temporal siempre que el recubrimiento del tendón no sea menor a 10 mm en toda su longitud.

Las lechadas de cemento densas, inyectadas bajo condiciones de taller o en condiciones controladas, se permiten como una de las dos barreras de protección permanente, siempre que el recubrimiento entre el tendón y la barrera exterior no sea menor a 5 mm, y sujeto a que se compruebe que el espesor de las fisuras bajo la carga de servicio no supere 0,1 mm (ver 6.12).

En el caso de anclajes con tubos de manguitos, donde el tubo de acero o plástico corrugado tiene al menos 3 mm de espesor, cubierto por un mínimo de 20 mm de lechada inyectada bajo una presión de al menos 500 KPa, se debe probar que el espesor de las fisuras en la lechada entre el tendón y los tubos será inferior a 0,2 mm bajo la condición de carga de servicio.

La distribución y el espesor de las fisuras pueden, en ciertas condiciones, ser controlados por la distribución de resaltes sobre el tendón, cuando éste está constituido por una barra.

Durante la inyección de protección se debe efectuar un control de calidad y verificar los volúmenes inyectados durante la inyección de protección.

#### 6.10.5 Resinas

Las resinas inyectadas o aplicadas de una manera controlada con un recubrimiento mínimo del tendón de 5 mm se permiten como una barrera de protección permanente siempre que estén confinadas, sin tensión y no se fisuren.

*Las resinas deben ser estables en el tiempo. No deben contener aditivos o impurezas susceptibles a provocar corrosión del tendón (en particular, el contenido en sulfatos no debe sobrepasar el 0,5% del peso total). El rotulado de los envases debe indicar la fecha límite de utilización de los componentes.*

#### 6.10.6 Productos de protección contra la corrosión

Comúnmente se utilizan productos de protección contra la corrosión basados en parafinas y grasas.

En el Anexo C se adjuntan recomendaciones relativas a los criterios de aceptación para los productos viscosos anticorrosivos y ejemplos de pruebas para medir sus propiedades.

Los productos anticorrosivos deben incluir entre sus propiedades ser estables en presencia de oxígeno y resistentes al ataque de bacterias y microorganismos.

Los productos anticorrosivos usados como barreras de protección permanentes deberán estar confinados en una robusta vaina impermeable, tubo o caperuza, que sea también resistente a la corrosión. En estas circunstancias, estos productos también actúan como lubricantes y sellantes de huecos, con lo cual impiden la entrada de gas y agua.

Los productos anticorrosivos no confinados pueden usarse como protección temporal cuando son eficazmente aplicados como un recubrimiento. Una cinta impregnada con anticorrosivos sólo puede ser usada como una protección temporal, ya que tiene tendencia a deteriorarse al ser expuesta al aire o al agua.

#### **6.10.7 Recubrimiento metálico de protección**

Los recubrimientos metálicos de protección no se aplicarán al tendón.

Los recubrimientos metálicos de protección pueden usarse en otros elementos de acero, tales como placas de apoyo, caperuzas y tubos trompeta.

#### **6.10.8 Otros recubrimientos para piezas de acero**

El alquitrán epóxico (brea), alquitrán poliuretánico y recubrimientos epóxicos unidos por fusión pueden aplicarse en superficies de acero decapadas por arenado y libres de cualquier material nocivo. Pueden usarse como protección contra la corrosión de los tendones de anclajes temporales si se aplican en fábrica.

Este tipo de recubrimiento es adecuado como protección contra la corrosión para el tendón de un anclaje permanente si la capa es aplicada en taller y el espesor no es menor de 0,3 mm y si son excluidas las fallas de aplicación tales como burbujas, en base a un adecuado control de fabricación.

Estos recubrimientos sólo se permiten en la longitud fija si la capacidad de la protección contra la corrosión se verifica mediante pruebas (ver 6.12).

#### **6.10.9 Tubos y caperuzas de acero**

Las partes de acero que están externamente protegidas pueden considerarse barreras permanentes de protección contra la corrosión. Tal protección puede ser dada por una lechada densa de cemento, por hormigón, por galvanizado en caliente o por aplicación múltiple de varias capas de recubrimiento aprobados por el Representante Técnico del Cliente.

Sólo se permiten elementos de acero con recubrimiento sometidos a tensión durante el tensado del anclaje si se verifican mediante pruebas la adherencia y la integridad del tratamiento contra la corrosión (ver 6.12).

Para que un tubo usado para la inyección de lechada sea considerado como una barrera de protección, debe demostrarse que los orificios de inyección no permiten el ingreso de agua después de la inyección.

El tubo no deberá tener menos de 3 mm de espesor, estar recubierto por un mínimo de 20 mm de lechada y la capacidad de adherencia y la integridad de la protección contra la corrosión deben ser verificadas por una prueba de sistema (ver 6.12).

Cualquier degradación potencial del acero o del recubrimiento deberá considerarse en el diseño del anclaje y en la selección de espesores y tamaños de los elementos.

## 6.11 Aplicación de la protección contra la corrosión

### 6.11.1 Generalidades

Los conceptos de protección contra la corrosión son los mismos para todas las partes de un anclaje, pero son necesarios tratamientos distintos para la longitud fija, longitud libre y la cabeza de anclaje.

El sistema de protección no debe constituir un obstáculo a las operaciones de tensado o de destensado, ni ser dañado por las mismas. Las vainas, ya sean individuales o comunes, no deben ser selladas al tendón en su longitud libre y deben tener una superficie de contacto lubricada para permitir el libre movimiento del tendón durante la puesta en tensión.

*Por ejemplo, la protección de las eventuales coplas del tendón.*

La protección de las zonas de transición de una protección a otra, así como la protección de los puntos terminales, deben realizarse con un cuidado especial.

La manipulación del anclaje, o de cualquier parte de éste, debe realizarse de manera tal, que el sistema de protección contra la corrosión no sea dañado.

### 6.11.2 Longitud libre y fija de los tendones

Cuando el tendón está envuelto por un sistema de protección contra la corrosión, no debe presentar huellas de corrosión, en particular picaduras. Una capa delgada de oxidación superficial es aceptable, siempre y cuando se pueda eliminar y la superficie sea recubierta a continuación con lechada de cemento.

La protección de la longitud libre de un anclaje temporal se puede aplicar in-situ, en la obra o antes del despacho a obra.

La protección de la longitud fija de un anclaje temporal se aplica generalmente in-situ.

Cuando la protección contra la corrosión de anclajes permanentes se realiza antes de la colocación del tendón en la perforación, mediante tubos o vainas plásticas, tubos metálicos, lechadas de cemento o resina, o productos anticorrosivos, se debe realizar esta protección en fábrica, o en obra en talleres construidos para este efecto y donde se puedan asegurar condiciones de limpieza y aire seco.

Las condiciones ambientales deben ser tales que la aplicación de la protección contra la corrosión pueda realizarse conforme a la presente norma.

Cuando la protección contra la corrosión de los anclajes permanentes se realiza in-situ mediante tubos y vainas plásticas, tubos metálicos, lechadas de cemento o resina, o productos anticorrosivos, se recomienda tomar todas las precauciones para que el tendón y el tubo metálico queden limpios y libres de materiales corrosivos durante esta operación.

La inyección interna de protección de anclajes permanentes debe realizarse desde el fondo de la vaina, de manera continua hasta que termine.

*Se prohíbe la utilización de aditivos expansores para lechada de cemento.*

El tendón no debe ser expuesto a corrientes parásitas nocivas.

### **6.11.3 Cabeza de anclaje**

Cuando el medio ambiente es agresivo, se debe considerar la protección temprana de la cabeza de anclaje, tanto para anclajes temporales como para anclajes permanentes.

El objetivo de la protección interna de la cabeza de anclaje es proveer un traslape efectivo con la protección de la longitud libre, para proteger la corta longitud de tendón expuesto ubicado detrás de la placa de apoyo y atravesando esta última.

Cuando se emplean técnicas de inyección, se recomienda utilizar un tubo de inyección en la longitud inferior y un tubo de evacuación de aire en la parte superior, con el fin de asegurar un relleno completo de los vacíos. Cuando la parte interna de la cabeza de anclaje no está accesible, se puede utilizar un producto anticorrosivo.

Cuando no se requiera un control y/o retensado posterior, se pueden ocupar resinas, lechadas y otros materiales de estanqueidad en el interior de la caperuza. Cuando se exige una puesta en tensión posterior o un control de tracción, la protección de la parte exterior de la cabeza de anclaje, incluyendo la caperuza y su contenido, debe ser removible. El relleno de la caperuza con productos anticorrosivos debe ser posible después de estas operaciones.

Se debe obtener una adecuada estanqueidad, así como un buen acople mecánico entre la caperuza y la placa de apoyo.

En el caso de anclajes permanentes, la placa de apoyo y los otros elementos de acero de la cabeza de anclaje expuestos a la corrosión deben ser protegidos antes de ser despachados a la obra, conforme a las normas europeas correspondientes relativas a los revestimientos de estructuras de acero.

*En Chile no se encuentra definido a través de normas el tema de la protección anticorrosiva en elementos metálicos en la construcción.*

El espesor mínimo de las caperuzas de acero para anclajes permanentes será de 3 mm.

Se pueden ocupar caperuzas de plástico reforzado de espesor mínimo de 5 mm, con la aprobación del Representante Técnico del Cliente.

El sistema de protección aplicado a las partes exteriores e interiores de la cabeza de anclaje debe ser sometido a una prueba de sistema (ver 6.12.).

## 6.12 Evaluación de la protección contra la corrosión para anclajes permanentes mediante pruebas de sistema

Todos los sistemas de protección contra la corrosión deben someterse a lo menos a una prueba, para verificar su idoneidad. Se debe presentar un informe detallado de los resultados de esta prueba.

El tipo de prueba a realizar para cada sistema de anclaje debe ser aprobado, conforme a los principios definidos en esta norma, por el Representante Técnico del Cliente, quien debe evaluar los resultados de las pruebas de protección y verificar que la protección ofrecida por cada barrera cumple con su función.

El procedimiento de puesta en tensión debe ser conforme a uno de los tres tipos de prueba de control descritos en el artículo 9.

Las condiciones de confinamiento de la longitud fija ensayada deben simular las encontradas en el terreno, ya sea roca o suelo.

*NOTA: Se pueden realizar pruebas in-situ o pruebas de simulación en laboratorio. Las pruebas en laboratorio pueden incluir o bien una puesta en tensión uniforme del tendón encapsulado, o bien una simulación de la transferencia de los esfuerzos en la longitud fija.*

Cuando se realizan pruebas in-situ, el procedimiento de construcción debe simular al utilizado para la ejecución de los anclajes en obra.

Después de su puesta en tensión, los anclajes deben ser descubiertos con precaución, con el fin de poder observar los efectos de la puesta en tensión sobre el sistema de protección contra la corrosión.

Las siguientes propiedades del sistema de protección contra la corrosión que se detallan a continuación deben ser evaluadas, según el caso, por inspección o por medición:

- Espesor e integridad de los tubos de plástico.
- Integridad de los sellos de estanqueidad.
- Recubrimiento de lechada y comportamiento de los espaciadores y centralizadores.
- Ubicación y espaciamiento de las fisuras en la lechada de cemento cuando está utilizada como barrera de protección contra la corrosión.
- Grados de relleno y volúmenes de lechadas, resinas y productos anticorrosivos en los tubos.
- Daños a los revestimientos.
- Grado de adherencia o de pérdida de la adherencia en las interfaces.
- Dislocación de los componentes durante la instalación y la puesta en tensión.

Se debe notar que para algunos sistemas de protección, la integridad de la barrera interna depende de la mantención de la integridad de la barrera externa.

Cuando se utilizan tubos de plástico como barrera contra la corrosión en la longitud fija de un anclaje permanente, se debe demostrar mediante una prueba de sistema la integridad de la encapsulación. La prueba debe simular las condiciones reales de puesta en tensión, en un medio que reproduzca aproximadamente las condiciones de terreno. Se debe además demostrar, al examinar el plástico después de su puesta en tensión,

que la protección no haya sido dañada. Para una disposición dada de los elementos del tendón y un tamaño dado de tubo, es suficiente una sola prueba de sistema documentada que reproduzca las condiciones de puesta en tensión (un ejemplo de prueba está descrito en el anexo B).

Cuando un solo tubo de protección de plástico está complementado por una lechada de fisuración controlada, se recomienda verificar mediante una prueba de sistema el espaciamiento de las fisuras en el interior del encapsulado (contando el número de fisuras por metro). A partir de las características elásticas del tendón y del espaciamiento de las fisuras observado, debe verificarse que el espesor de las fisuras no sobrepase 0,1 mm bajo la tracción de servicio. Debe demostrarse mediante un examen del plástico que la protección no ha sido dañada después de su puesta en tensión. Para una disposición dada de los elementos del tendón y un tamaño dado de tubo, es suficiente una sola prueba de sistema documentada que reproduzca las condiciones de puesta en tensión (un ejemplo de prueba está descrito en el anexo B).

Cuando un solo tubo de manguitos de acero de 3 mm de espesor, o de plástico corrugado, está complementado con una lechada de fisuración controlada de 20 mm de espesor mínimo, se debe efectuar una prueba del sistema que establezca el espaciamiento de las fisuras en el interior de la encapsulación (en términos de fisuras por metro). A partir de las características elásticas del tendón y del espaciamiento observado de las fisuras, se debe verificar que el ancho de las fisuras no sobrepase 0,2 mm bajo la tracción de servicio. Para una disposición dada de los elementos del tendón y un tamaño dado de tubo, es suficiente una sola prueba de sistema documentada que reproduzca las condiciones de puesta en tensión.

## 7 Consideraciones de diseño

Este capítulo presenta los puntos que se recomienda tomar en cuenta a nivel del proyecto de ejecución de un anclaje, para permitir el correcto diseño del sistema.

Para el cálculo detallado de un anclaje, conviene referirse al anexo D de esta norma. Para el cálculo de la estructura global, conviene referirse a las normas ENV 1991-1-1: Eurocódigo 1 y ENV 1997-1: Eurocódigo 7 – Parte 1.

*Estas recomendaciones incluyen en Anexo G un completo análisis de bases de diseño en zonas sísmicas.*

*En cuanto a las normas, debe referirse a ACI 318-99, Capítulo 8 por ENV 1991-1-1.*

Las estructuras ancladas pueden ser de los siguientes tipos:

- Estructuras de contención,
- Obras de estabilización de terraplenes o taludes,
- Excavaciones a cielo abierto,
- Obras subterráneas y losas sometidas a subpresiones generadas por napas subterráneas,
- Obras que transfieren al terreno esfuerzos de tracción generados por la superestructura o por sollicitaciones sobre la superestructura.

Se deberá indicar claramente en los planos de construcción, cuando se requiera, lo siguiente:

- Secciones mínimas y características de los materiales de todos los elementos del sistema de anclaje,
- Longitudes libre y fija,
- Ángulos de inclinación de las perforaciones destinadas a recibir los anclajes,
- Tolerancias sobre las dimensiones, las inclinaciones y las ubicaciones de los anclajes.

El diseño de un sistema de anclaje depende de los parámetros del suelo y de la geometría de la disposición de los anclajes. Cuando se proponen modificaciones de replanteo, de separación o de inclinación, deben realizarse estudios o pruebas apropiadas para demostrar que estas modificaciones son aceptables.

El diseño de un anclaje debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Sollicitaciones y esfuerzos generados por los anclajes sobre la estructura global, con el fin de permitir el diseño de ésta,
- La forma en que se aplican las tracciones al anclaje durante su vida útil; es decir, si son esfuerzos estáticos o dinámicos,
- La repartición de los esfuerzos del dispositivo de anclaje sobre la estructura anclada durante la puesta en tensión de los anclajes y durante la vida útil de la estructura anclada,
- La conexión entre el anclaje y la estructura, de manera de asegurar la estabilidad de la estructura en todas las etapas,
- Las consecuencias de la falla de un anclaje durante o después de la puesta en tensión, y la posibilidad de disponer de emplazamientos de reserva para ejecutar anclajes adicionales, si fuera necesario.



# 8 Ejecución

## 8.1 Perforación

### 8.1.1 Generalidades

Las perforaciones para los anclajes deben ser realizadas con las tolerancias especificadas.

*La ejecución de un anclaje consta de las siguientes etapas:*

1. *Ejecución de la perforación en la cual se coloca el anclaje*
2. *Colocación del anclaje*
3. *Materialización del bulbo (o sellado del tendón)*
4. *Puesta en tensión del anclaje*
5. *Encapsulación de la cabeza del anclaje*
6. *Eventualmente, en el caso de anclajes temporales: destensado o extracción (parcial o total) del anclaje.*

*NOTA 1: En caso de presentarse condiciones imprevistas en la obra, el proyectista podrá introducir modificaciones al proyecto o aprobar la ejecución de alternativas. Durante la ejecución, el diámetro de la perforación podrá ser incrementado por la necesidad de utilizar encamisado o revestimiento. En caso de que el diseño de la estructura permanezca sin cambios, es importante el cumplimiento de las tolerancias en la posición de los anclajes. En general, se evitarán las perforaciones horizontales, debido a los problemas para rellenar la perforación completamente con lechada o mortero.*

El diámetro de la perforación será tal que garantice el adecuado recubrimiento de los tendones de acero a lo largo de la longitud fija.

En caso de que el detritus de la perforación no pueda ser removido del fondo de la misma, se permitirá una longitud de perforación adicional a la longitud especificada.

A menos que se especifique de otra manera, la elección y el posicionado del equipo de perforación deben satisfacer las siguientes condiciones:

- El eje del emboquille de la perforación en la cabeza del anclaje tendrá una tolerancia radial de 75 mm.
- La alineación inicial al posicionar la perforadora será tal que no se produzcan desvíos de más de 2° del eje especificado de la perforación.

La desviación debe chequearse luego que la perforación haya avanzado 2 metros.

Durante la perforación se deberá cumplir una tolerancia máxima en la desviación de 1/30 de la longitud del anclaje. En ciertas ocasiones, las condiciones del terreno podrán determinar la necesidad de apartarse de esta tolerancia.

*NOTA 2: La plataforma de trabajo y el montaje del equipo de perforación deben ser lo suficientemente rígidos si se quiere alcanzar la exactitud deseada en la alineación de la perforación. En caso de duda, el posicionado debe ser controlado durante la perforación. El cumplimiento de las tolerancias es importante en virtud de la interacción entre las longitudes fijas de los*

anclajes. Los de mayor longitud pueden requerir tolerancias angulares menores para evitar la intersección o interferencia de las longitudes fijas.

NOTA 3: El cumplimiento de las tolerancias en las desviaciones es importante si se quiere evitar una instalación dificultosa del tendón, fricciones no deseadas durante el tensado e interacción entre las longitudes fijas. La medición de las desviaciones de la perforación no es una práctica de rutina, pero en casos especiales se pueden utilizar inclinómetros para determinarla. La desviación de la perforación puede minimizarse utilizando barras y tubos de perforación de mayor diámetro y rigidez. La desviación de sistemas rígidos usualmente proviene de obstrucciones o estratos inclinados. Existen otros procedimientos para controlar las desviaciones que no se describen aquí.

### 8.1.2 Métodos de perforación

El método de perforación debe ser elegido considerando las condiciones del terreno, de forma de causar un mínimo de perturbación o mejorando éstas, beneficiando así la capacidad de carga de los anclajes y permitiendo que la resistencia de diseño (Rd) sea movilizada.

NOTA 1: Las razones para perturbar el terreno lo menos posible son las siguientes:

- Prevenir el desmoronamiento del pozo durante la perforación y durante la instalación del tendón (donde sea necesario debe ser utilizada una camisa o revestimiento);
- Minimizar la pérdida de compacidad en el suelo circundante a la perforación en el caso de suelos granulares;
- Minimizar el cambio de nivel de la napa freática;
- Minimizar el ablandamiento de la pared de la perforación en el caso de suelos cohesivos y rocas degradables.
- Se prohíbe la cementación de la perforación mediante lechada de yeso, por su alto contenido de sulfatos.

*El método de perforación e instalación debe garantizar el recubrimiento con lechada del tendón en toda la longitud fija.*

La modificación de las condiciones del terreno debe ser limitada, de forma de reducir los efectos negativos; por ejemplo: fisuración, preconsolidación y posconsolidación asociadas con cada operación. El fluido utilizado para el barrido y los posibles aditivos de la perforación no deben tener efectos adversos sobre el tendón, su protección, la lechada o sobre las paredes de la perforación, sobre todo en el tramo de la longitud fija.

NOTA 2: La relación entre el área de la sección de entrada del fluido de perforación, la sección anular de salida o retorno del barrido, el tamaño y densidad de las partículas del detritus y la densidad del fluido de barrido son críticos para definir la eficiencia del sistema de perforación. El uso de barrido con aire puede ocasionar taponamientos en el caso de suelos cohesivos con humedad y resulta en una disturbación innecesaria del suelo circundante. En el caso de las arcillas, margas y rocas margosas, éstas pueden tender a expandirse o ablandarse si se exponen a un barrido con agua por períodos de tiempo innecesariamente largos.

*El fluido de perforación se elige en función de la naturaleza de los terrenos. Los fluidos mayormente utilizados son el agua, el aire, lodos bentoníticos o lodos de bentonita, cemento.*

*De la misma manera, la elección del tipo de herramienta de perforación depende del método de perforación y de la naturaleza de los terrenos (triconos, bit de botones o de cruz, coronas, escariadores, etc.).*

Se deben tomar precauciones especiales en caso de perforar en suelos bajo presión artesiana.

*NOTA 3: Las arenas pueden perder su compacidad y sifonarse en el caso de gradientes hidráulicos adversos en el terreno que rodea la perforación.*

Las técnicas para contrarrestar la presión del agua y para prevenir escapes repentinos de aire, colapso o erosión durante la perforación, instalación del anclaje e inyección, deben ser determinadas previamente e implementarse en el momento que sean requeridas. En el caso de napas superficiales, es apropiado el uso de fluidos de perforación más pesados.

*NOTA 4: Las posibles medidas preventivas incluyen:*

- *El uso de equipamiento auxiliar de perforación, como sellos u obturadores;*
- *La depresión de la napa freática, siempre que se hayan evaluado y descartado los riesgos de asentamiento del terreno circundante;*
- *Preinyección del suelo.*

La perforación debe ser realizada de forma tal que cualquier variación importante en las características del terreno, respecto de las consideradas para el diseño de los anclajes, sea detectada inmediatamente.

Se debe implementar un registro o parte de la perforación utilizando datos prácticos simples para la identificación del terreno (p.e.: clase de suelo, color del barrido de retorno o pérdida del fluido de barrido dentro del pozo), los cuales puedan ser fácilmente reconocidos por el operador.

Cualquier variación importante del registro esperado debe ser reportada inmediatamente al proyectista.

## **8.2 Fabricación, transporte, manipulación e instalación de tendones**

### **8.2.1 Fabricación**

Durante la fabricación y almacenamiento, los tendones y sus componentes se deben mantener limpios y libres de corrosión, de daños mecánicos y de salpicado con soldadura.

Los tendones no deben ser doblados con radios menores a los mínimos especificados por el fabricante.

En caso de que los tendones estén compuestos de cables engrasados envainados, los elementos en la longitud de anclaje del tendón deben ser limpiados y desengrasados cuidadosamente mediante vapor o solventes.

*Se deben destrenzar los cables, para asegurar la limpieza de los alambres.*

Si se utilizan solventes para desengrasar los cables, se debe tener el cuidado que aquellos no sean agresivos para ningún componente del anclaje y que, luego de su aplicación, la interfase lechada-tendón sea capaz de transferir las cargas de tracción sin manifestar fluencia lenta.

Los centralizadores dispuestos para asegurar el recubrimiento requerido de los tendones deben ser amarrados firmemente a los mismos.

*NOTA: La separación entre separadores dependerá fundamentalmente de la rigidez y peso por unidad de longitud del tendón.*

## 8.2.2 Transporte, manipulación e instalación

Durante la carga, transporte e instalación del anclaje, se debe tener cuidado de no plegar el mismo ni de causar daños a sus componentes o sistemas de protección anticorrosiva.

Previamente a la instalación del tendón, se controlará la perforación en longitud y también en su limpieza e inexistencia de obstrucciones. La instalación del tendón debe ser realizada en forma controlada, teniendo cuidado de no producir un desplazamiento relativo entre sus componentes. En anclajes con inclinación ascendente, se debe sujetar el tendón una vez instalado, para evitar que se produzcan movimientos no deseados durante la inyección.

*Se recomienda proteger la longitud del tendón que sobresale de la perforación y limpiarlo después de haber inyectado, para no perjudicar el bloqueo del anclaje.*

Los intervalos de tiempo entre las diferentes operaciones requeridas para la construcción de un anclaje deben estar relacionados con las propiedades del suelo. En todo caso, estos tiempos deben ser tan breves como sea posible.

**NOTA:** *Donde haya riesgos de suelos expansivos o ablandamiento del terreno, la instalación e inyección de los anclajes se deben realizar en forma inmediata luego de la perforación. Como regla general, la instalación de los anclajes y la inyección se deben realizar el mismo día de la perforación de la longitud del bulbo. Si no se puede evitar una demora en la instalación-inyección, entonces se debe taponar cada perforación, para evitar la entrada de materiales nocivos.*

## 8.3 Inyección

### 8.3.1 Generalidades

La inyección cumple una o varias de las siguientes funciones:

- a) Formar el bulbo inyectado, para que la carga aplicada pueda ser transferida desde el tendón hasta el terreno circundante al anclaje;
- b) Proteger de la corrosión al tendón;
- c) Reforzar el terreno en la zona adyacente a la longitud fija del anclaje, con el fin de aumentar la capacidad de carga de los anclajes;
- d) Sellar el terreno en la zona del bulbo, con el fin de impedir la pérdida de la lechada.

*El fluido inyectado puede ser:*

- *Una lechada de cemento, con o sin aditivos*
- *Un mortero de cemento*
- *Una resina*

*Las lechadas deben prepararse en mezcladores o agitadores de alta turbulencia.*

**NOTA:** Si se inyecta un volumen de lechada superior a tres veces el volumen de la perforación a presiones que no excedan la presión total del terreno, entonces es necesaria la inyección de relleno de los huecos del suelo, lo cual escapa de las operaciones de rutina de construcción de los anclajes. Para cumplir con las funciones c) y d) indicadas arriba, solamente se deben esperar consumos normales de lechada de inyección.

Para poder formar la longitud fija sin una pérdida incontrolada de lechada a lo largo de la misma, se deben considerar las siguientes operaciones:

- Control de la perforación
- Inyección previa
- Inyección del anclaje

### 8.3.2 Control de la perforación

Una vez completada la perforación, o durante la inyección del anclaje, se deben tomar medidas que aseguren que la longitud fija quede totalmente inyectada una vez que haya fraguado la lechada.

**NOTA 1:** Prueba de inyección de agua: En roca puede ser evaluada la probabilidad de pérdida de lechada a través del análisis de una prueba de inyección de agua. Como rutina, se realiza una prueba de descenso del nivel de agua en la perforación o en la longitud fija mediante un obturador. Una inyección previa no es normalmente necesaria si la filtración o la pérdida de agua en la perforación o en la longitud fija es menor a 5 l/min a una sobrepresión hidrostática de 0,1 MPa medida durante un período de 10.

**NOTA 2:** Prueba de inyección de carga variable: Cuando no se realice una inyección a presión de la longitud fija como parte de las operaciones de rutina en la ejecución de los anclajes, puede llenarse la perforación con lechada y observar el descenso de la misma hasta la estabilización del nivel. Si el nivel continúa descendiendo, debe ser rellenada la perforación, y luego de un fraguado suficiente de la lechada, se debe reperfurar y volver a ejecutar la prueba. Esta prueba puede aplicarse a toda la longitud de la perforación o sólo a la longitud fija, restringiendo la misma mediante un obturador o mediante el encamisado a lo largo de la longitud libre.

Si el nivel no se estabiliza, se puede aumentar la viscosidad de la lechada mediante:

- Una reducción de la razón agua/cemento
- La incorporación de arena a la mezcla

**NOTA 3:** Inyección a presión: En los anclajes en que se realice la inyección del bulbo bajo presión, se limita la zona a inyectar mediante la extracción controlada de la camisa, mediante el uso de obturadores o de tubos de manguitos. Durante la inyección, un caudal controlado con una presión determinada es indicativo de una operación satisfactoria. Una vez completada la inyección de la longitud fija, la eficiencia de esta operación puede ser verificada mediante la observación de la respuesta del terreno a una inyección adicional, si se restaura rápidamente la presión alcanzada en la fase anterior.

Los criterios de inyección se determinan generalmente de manera empírica antes del inicio de los trabajos. Estos valores pueden adaptarse o modificarse en función de lo observado o controlado durante los trabajos.

### 8.3.3 Inyección previa

La inyección previa se ejecuta rellenando la perforación con lechada de cemento. Normalmente se utiliza mortero (cemento/arena/agua), con el fin de reducir la admisión en roca y depósitos de suelos cohesivos muy consistentes a duros con fisuras parcialmente rellenas o abiertas y en el caso de suelos granulares permeables.

Una vez completada la inyección previa, se debe controlar nuevamente la perforación y, si es necesario, debe repetirse el procedimiento de inyección luego de la reperfusión.

### 8.3.4 Inyección previa en roca

En rocas blandas, el momento en el cual se reperfusión se determina en función del incremento de resistencia de la lechada, para evitar problemas de desvíos de la perforación.

En la práctica habitual, no debiera ser necesario el uso de inyecciones químicas; pero en caso de emplearse, ésta no debe tener efectos perjudiciales sobre los anclajes y sobre el medio ambiente (p.e.: contaminación del suelo y agua de la napa).

Cuando una prueba de inyección de agua demuestre que hay una conexión hidráulica con un anclaje aún no tensado, entonces el tensado de éste no debe ser ejecutado antes del fraguado de la lechada del anclaje investigado.

### 8.3.5 Inyección previa en suelo

Cuando el control de la perforación ha permitido determinar que el suelo es altamente permeable, o que la lechada será inyectada a un caudal alto sin generar presión, entonces podrá ser necesario realizar una inyección previa. Este procedimiento no es de rutina, pero es preventivo en caso de esperar la existencia de las condiciones citadas.

En casos excepcionales, puede ser necesario realizar inyecciones de relleno para consolidación del terreno. Esta tarea no se considera como operación de rutina en la construcción de anclajes.

*Estas inyecciones se podrán realizar con morteros (agua, cemento y arena fina)*

### 8.3.6 Inyección de los anclajes

La inyección de lechada se realizará tan pronto como sea posible una vez terminada la perforación.

Cuando se realice la operación con un tubo "tremie", el extremo inferior del tubo de inyección permanecerá sumergido en la lechada dentro del tramo de la longitud de bulbo y la inyección continuará hasta que la consistencia de la lechada que retorna en la superficie sea la misma que la que se inyecta.

*Si el fluido de perforación no presenta suficientes características para asegurar un buen sellado del bulbo, debe ser expulsado de la perforación por la lechada de inyección definitiva, antes de colocar el anclaje*

El proceso de inyección debe comenzar siempre por el extremo inferior del tramo a inyectar. Para perforaciones horizontales o ascendentes, es necesario un sello con un obturador, para evitar la pérdida de lechada en la zona de la longitud fija o bien en toda la longitud del anclaje.

El aire y el agua deben poder escapar, para permitir el completo llenado de la perforación.

Cuando se instalen anclajes aproximadamente horizontales, se deben tomar precauciones especiales, como inyección a presión en varias etapas, para impedir que queden huecos en el tramo inyectado.

Cuando se prevea realizar inyecciones en diferentes etapas o reinyecciones, se debe proveer un tubo de manguitos en el conjunto del anclaje.

En ciertas condiciones del terreno, puede suceder que estando el cuerpo inyectado en la longitud libre adecuadamente confinado, se transfiera parte de la carga desde el bulbo hasta la estructura anclada a través del tramo de lechada en la longitud libre. Para evitar esto, se pueden adoptar algunas de las siguientes medidas:

- Lavado de la lechada en la zona posterior a la estructura en el tramo de longitud libre;
- Reemplazar la lechada en la zona de longitud libre por algún material que no sea capaz de transferir la carga;
- Ubicar un obturador en la interfase entre longitud libre y bulbo.

La inyección a alta presión en varias etapas puede usarse para incrementar la resistencia del anclaje mediante la introducción de lechada adicional en el terreno y aumentar así las tensiones normales en la interfase suelo-bulbo inyectado. Esta operación puede realizarse antes o después de instalar el tendón del anclaje.

*Este método se conoce como IRS (inyección repetitiva selectiva) o reinyección, y se recomienda en el caso de terrenos blandos (arenas de compacidad baja, arcillas).*

*Cuando la operación de inyección se realiza en una única etapa, el método se conoce como IGU (inyección global única).*

En caso de presencia de agua artesisiana dentro de una perforación, la presión de ésta debe ser contrarrestada mediante sobrepresión de la lechada o mediante una inyección previa, independientemente del caudal de agua artesisiana que se presente.

## **8.4 Tensado**

### **8.4.1 Generalidades**

El tensado se requiere para cumplir las siguientes dos funciones:

- Para controlar y registrar el comportamiento en carga del anclaje;
- Para traccionar el tendón y anclarlo a su respectiva carga de bloqueo.

La operación de tensado y registro debe ser realizada por personal experimentado, bajo el control de un supervisor calificado, los cuales preferentemente pertenezcan al contratista especialista en anclajes o a la compañía proveedora del equipamiento de postensado.

#### 8.4.2 Equipos

El equipo de postensado y las celdas de carga en estado de funcionamiento deben ser calibrados a intervalos que no excedan los seis meses, y los certificados de calibración deben estar disponibles para la inspección de obra en todo momento.

*La tracción y el bloqueo del tendón contra la cabeza se logra mediante:*

- *Cuñas (en el caso de cables)*
- *Tuercas (en el caso de barras roscadas)*

El equipo de tensado de anclajes de barra o de cables debe traccionar al conjunto que compone el tendón como un elemento único. En caso de utilizar equipos que traccionen los cables aislados en forma no simultánea, debe proveerse un dispositivo de medición que permita establecer la carga total en cada cable en todo momento durante el tensado. Como alternativa a determinar la carga de cada cable o elemento, se deben realizar ensayos de despegue de la cabeza.

*No se recomienda el uso de tales equipos. Esto se debe a que con ellos no es posible conocer la carga real de bloqueo del anclaje, ni realizar las pruebas de carga.*

NOTA: *El equipo debe ser capaz de tensar con seguridad el tendón hasta la carga de prueba especificada dentro del rango de presiones de la bomba hidráulica.*

*Se aconseja que la carga de prueba no exceda el 90% de la capacidad del equipo de tensado.*

#### 8.4.3 Procedimiento de tensado

Si se requiere una cierta secuencia de carga de los anclajes para controlar el proceso de carga de la estructura anclada, entonces esto debe ser especificado como parte del proyecto.

La estructura anclada debe ser diseñada para poder proveer la reacción necesaria para permitir la prueba de carga de los anclajes de acuerdo a lo establecido en el capítulo 9.

Los métodos de tensado y registro de la carga a ser utilizados en cada sesión de prueba o tensado deben ser detallados previamente a la ejecución de estos trabajos.

El equipo de tensado debe usarse estrictamente de acuerdo a las instrucciones de operación del fabricante del mismo.



El tensado o prueba de los anclajes no debe realizarse mientras no se cuente con suficiente resistencia en la lechada inyectada en la longitud fija o bulbo, lo que normalmente requiere un tiempo de siete días.

*El tensado se realiza cuando se tiene la garantía de que la lechada haya alcanzado una resistencia suficiente. Este tiempo de endurecimiento varía en función de los componentes y dosificación de la lechada (normalmente entre 3 a 7 días).*

*Como referencia, la norma del Post Tensioning Institute (1996) menciona una resistencia mínima a la compresión de la lechada de 21 MPa al momento del tensado.*

*Se recomienda conservar probetas de muestras de lechada, para observar el fraguado.*

En suelos cohesivos sensibles, puede ser apropiado estipular un período de tiempo mínimo entre el término de la instalación del anclaje y la prueba de tensado, para permitir que el suelo recupere sus características.

Durante el tensado de los anclajes de servicio no se permitirán marcas o indentaciones por agarre de las cuñas en los cables o tendones debajo de la cabeza del anclaje, así como tampoco ningún daño a la protección anticorrosiva.

*Se recomienda lavar el tendón en las zonas donde agarren las cuñas o las tuercas. En particular, se debe eliminar toda huella de lechada.*

*No se permitirá el uso de cuñas oxidadas o de cabezas de anclaje que presenten un grado de oxidación avanzado en sus orificios cónicos, o marcas por aplastamiento.*

# 9 PRUEBAS, SUPERVISIÓN Y MONITOREO

## 9.1 Generalidades

La norma ENV 1997-1 distingue dos categorías de pruebas de anclajes denominadas pruebas de evaluación y pruebas de aceptación. En esta norma se diferencian tres tipos de pruebas en sitio. Ellos son:

- Pruebas de investigación
- Pruebas de aptitud
- Pruebas de aceptación

Los dos primeros tipos de pruebas pueden ser considerados como subdivisiones de la categoría general de pruebas de evaluación.

Las **pruebas de investigación** tienen por objetivo establecer, durante la ejecución de los anclajes de servicio:

*La prueba de investigación es la única prueba que se intenta realizar hasta la falla del anclaje en la interfase lechada-suelo.*

- a) la resistencia  $R_a$  del anclaje, en la interfase lechada-suelo;
- b) la carga crítica de fluencia del sistema de anclaje, o
- c) las características de fluencia del sistema de anclaje bajo diferentes niveles de carga hasta la ruptura, o
- d) las características de la pérdida de carga del sistema de anclaje en el estado de servicio límite  $P_o$ , o
- e) una longitud libre aparente  $L_{app}$ .

Las **pruebas de aceptación** tienen por objetivo confirmar, para una situación particular de diseño:

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

Las **pruebas de recepción** tienen por objetivo confirmar, para cada anclaje:

- a) la capacidad del anclaje de soportar una carga de prueba;
- b) las características de fluencia o de pérdida de carga en el estado límite de servicio, cuando sea necesario;
- c) la longitud libre aparente  $L_{app}$ .

La supervisión y evaluación de todas las pruebas de los anclajes deben ser efectuadas por una persona competente y experimentada en la tecnología de anclajes. Los procedimientos establecidos para cada tipo de prueba deben ser utilizados tanto en anclajes temporales como permanentes.

Para cada proyecto donde las encapsulaciones sean inyectadas en la perforación, se debe ejecutar una prueba que considere el relleno total de la encapsulación con un mortero de calidad conforme al punto 6.7, en una operación simulada, en condiciones geométricas similares, y previamente a la inyección del anclaje. La prueba

debe ser efectuada al inicio de los trabajos. Existen otras pruebas de sistema para verificar el desempeño de la protección contra la corrosión provista por el sistema de anclaje. Estas pruebas están descritas en el capítulo 6.

La prueba de investigación es la única prueba que se intenta realizar hasta la falla del anclaje en la interfase lechada-suelo.

## 9.2 Precisión de las mediciones

En cada prueba donde se mida la fluencia, durante los períodos donde la carga se mantiene constante, la precisión de las medidas de desplazamiento debe ser de 0,05 mm. Si no se mide la fluencia, la precisión requerida para las medidas de desplazamiento es de 0,5 mm. Cuando se deba medir la fluencia, el equipo de medición debe tener una sensibilidad de 0,01 mm.

La medición de las cargas en los anclajes debe ser efectuada con dispositivos de medición hidráulicos, eléctricos o mecánicos que tengan una precisión de medición mejor que el  $\pm 2\%$  de la carga máxima aplicada durante cada prueba. Todo dispositivo de medición de carga utilizado para las pruebas de pérdida de tensión debe tener una sensibilidad igual al 0,5% de la carga de prueba.

## 9.3 Carga de referencia

La carga de referencia  $P_a$  adoptada, a partir de la cual se comienza la medición del desplazamiento, es normalmente alrededor del 10% de la carga de prueba.

Se permiten cargas de referencia superiores en pruebas de carga cíclica luego de aplicar los ciclos de carga, si producen deformaciones inusualmente altas (ver Figura 2).

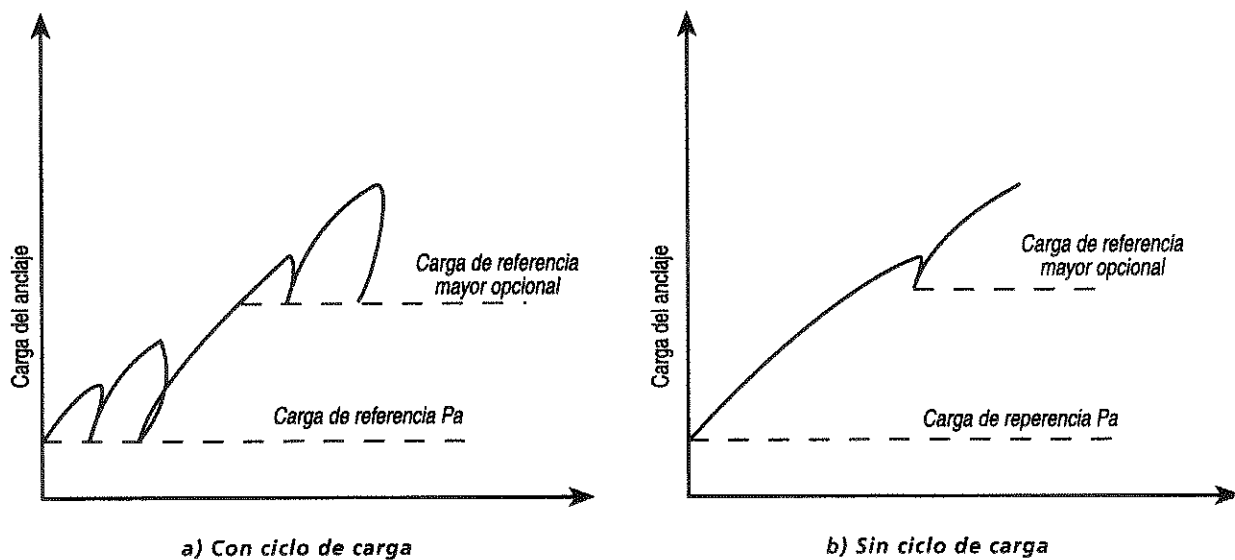


Figura 2: Procedimientos de carga con cargas de referencia superiores

## 9.4 Métodos de pruebas

El representante técnico del cliente debe aprobar el método de prueba y el método de interpretación asociado que se usará en cada tipo de prueba.

En el Anexo E se presentan tres ejemplos de métodos de pruebas aplicables a cada tipo. Ellos son:

- a) **Método de prueba 1:** El anclaje es tensado por incrementos de carga en uno o varios ciclos, a partir de una carga de referencia y hasta una carga de prueba. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden, durante un período de tiempo determinado, para la carga máxima de cada ciclo.
- b) **Método de prueba 2:** El anclaje es tensado por incrementos de carga por ciclos, a partir de una carga de referencia y hasta una carga de prueba o hasta la falla. La pérdida de tensión en la cabeza del anclaje se mide durante un período de tiempo para la carga máxima en cada ciclo.
- c) **Método de prueba 3:** El anclaje es tensado por escalones de carga, a partir de una carga de referencia y hasta una carga máxima. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden bajo la carga constante de cada escalón.

Durante toda la prueba, el anclaje debe cargarse y descargarse suavemente, de modo que no sufra golpes ni solicitaciones dinámicas.

## 9.5 Pruebas de investigación

Las pruebas de investigación pueden ser requeridas por el proyectista para establecer, antes de la instalación de los anclajes de servicio, el valor de la resistencia última en relación con las condiciones de terreno y los materiales utilizados, para comprobar el desempeño del constructor y/o para probar un nuevo tipo de anclaje, llevando la prueba hasta la falla de la interfase lechada/suelo.

Se recomienda efectuar las pruebas de investigación cuando los anclajes se utilicen en condiciones de terreno donde no se hayan realizado estas pruebas previamente, o cuando las cargas de servicio sean superiores a aquellas adoptadas anteriormente en condiciones de terreno similares.

Los anclajes utilizados para las pruebas de investigación son sometidos a cargas más altas que los anclajes de las pruebas de aptitud, por lo que puede ser necesario aumentar la sección del tendón. Los anclajes sometidos a las pruebas de investigación no pueden ser utilizados como anclajes de obra si éstos han sido llevados hasta la falla.

*Según el Post Tensioning Institute (PTI) podrían usarse como anclajes temporales con una carga Po no superior al 50% de la carga de falla. Es de la opinión de este Grupo Técnico de Trabajo que además se debe verificar esta carga mediante una prueba de aceptación.*

Se recomienda que el diámetro de la perforación y las dimensiones de los elementos de anclaje, con excepción del tendón, sean los mismos que los de los anclajes de servicio.

Cuando no es posible incrementar la capacidad del tendón, se puede reducir la longitud fija del anclaje en la prueba para inducir la falla lechada/terreno.

Cuando un anclaje con longitud fija reducida es ensayado hasta la falla, no debe esperarse un aumento de la resistencia del anclaje directamente proporcional a la longitud del bulbo para los anclajes que tienen una longitud fija mayor.

Cuando el diámetro de la perforación se aumenta, es posible que el comportamiento de un anclaje en la prueba de investigación no sea directamente comparable con los anclajes de servicio.

El anclaje de prueba debe ser tensado a la carga de falla ( $R_p$ ) o a la carga de prueba ( $P_p$ ), la que debe limitarse a  $0,80 P_{TK}$  ó  $0,95 P_{10,1K}$  según cual sea la menor.

Según el Post Tensioning Institute (PTI) podrían usarse como anclajes temporales con una carga  $P_o$  no superior al 50% de la carga de falla. Es de la opinión de este Grupo Técnico de Trabajo que además se debe verificar esta carga mediante una prueba de aceptación.

## 9.6 Pruebas de aptitud

Antes de realizar las pruebas de aptitud, habrá que considerar las conclusiones de las pruebas de investigación y evaluar los resultados de cada una de dichas pruebas.

Los objetivos de una prueba de aptitud son:

- a) Si se han efectuado pruebas de investigación, verificar las características de fluencia y de pérdidas de tensión aceptables para las cargas de prueba y de bloqueo para las futuras pruebas de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- b) Si no se han efectuado las pruebas de investigación ni estén disponibles resultados de pruebas de investigación sobre anclajes similares en condiciones de terreno parecidas, determinar las características indicadas en el punto anterior a), y determinar los criterios de fluencia o de pérdida de tensión aceptables para la carga de prueba en las pruebas de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- c) Determinar la longitud libre aparente.

Al menos deben efectuarse tres pruebas de aptitud sobre anclajes ejecutados en condiciones idénticas a los anclajes de servicio.

Si no se han ejecutado pruebas de investigación, el tendón de los anclajes para las pruebas de aptitud puede tener una capacidad superior a la de un anclaje de servicio.

## 9.7 Pruebas de aceptación

Cada anclaje de servicio debe ser sometido a una prueba de aceptación.

Los objetivos de una prueba de aceptación son:

- a) Demostrar que la carga de prueba, la que depende del método de prueba, puede ser soportada por el anclaje.
- b) Determinar la longitud libre aparente.
- c) Asegurar que la carga de bloqueo, excluyendo las fuerzas de rozamiento, se sitúa al nivel de la carga de diseño.
- d) Determinar, si es necesario, las características de fluencia y de pérdida de tensión en el estado límite de servicio.

## 9.8 Carga máxima de bloqueo

Cuando no se exceda el límite de fluencia o de pérdida de tensión, la carga máxima de bloqueo ( $P_0$ ) debe limitarse a  $0,60 P_{tk}$ .

Si en una prueba de aptitud o de aceptación se excede el límite de fluencia o de pérdida de tensión, la carga máxima de bloqueo debe reducirse a un valor en el que se satisfagan los criterios de fluencia o de pérdida de tensión.

## 9.9 Determinación de la longitud libre aparente

La longitud libre aparente  $L_{app}$  se calcula a partir de la elongación  $\Delta s$  del tendón, medida a partir del punto de fijación del tendón al gato o de un punto de referencia ligado al tendón. Esta medición define la ubicación de un punto ficticio del anclaje, el que es comparado con el final de la longitud libre del tendón y el inicio de la longitud fija del anclaje.

*Nota:* En general, se utiliza la siguiente ecuación para calcular la longitud libre aparente:

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

donde:

$L_{app}$  es la longitud libre aparente

$A_t$  es la sección del tendón

$E_t$  es el módulo de elasticidad del tendón

$\Delta s$  es la elongación elástica del tendón (entre la carga de prueba y la de referencia)

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

Los límites entre los que se debe encontrar el valor  $L_{app}$  son:

- límite superior  
el mayor de los dos valores siguientes:

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

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

- límite inferior

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

Si hay una fricción significativa en la longitud libre, se puede utilizar el método mostrado en la figura 3 para estimar la magnitud de la rigidez elástica aparente de la longitud libre ( $\Delta P/\Delta s$ ), considerando el ciclo de histéresis en la curva de carga y descarga.

*Nota:* Si la fricción excede el 5% de  $P_p$ , entonces se debe considerar para determinar la carga mínima de prueba o de bloqueo. Si es necesario, la carga de prueba puede reducirse.

Si la longitud libre aparente se encuentra fuera de los límites definidos más arriba, el anclaje puede ser sometido a ciclos de carga repetidos hasta  $P_p$ . Si el anclaje muestra una repetición de su comportamiento carga/elongación, el anclaje podrá ser aceptado por el proyectista.

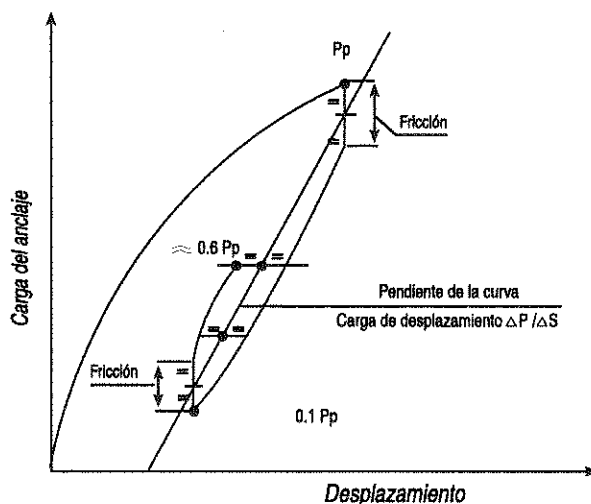


Figura 3: Estimación de la rigidez elástica en el caso de una fricción significativa

## 9.10 Supervisión de la construcción y pruebas

La instalación y la realización de las pruebas de todos los anclajes deberán ser supervisadas, y el informe respectivo deberá hacerse en el sitio (ver capítulo 10).

Si la inspección tiene dudas respecto de la calidad de los anclajes instalados, se deberán efectuar investigaciones complementarias para determinar el estado de los anclajes ejecutados.

## 9.11 Controles

Los anclajes pueden ser instalados con un dispositivo de control. Si una estructura anclada es sensible a las modificaciones de cargas o a los movimientos del terreno, se puede utilizar dicho dispositivo para seguir su comportamiento durante su vida útil.

El número de anclajes a controlar y la frecuencia de las mediciones deben ser especificados.

*Nota: En ciertos casos, debido a los movimientos de la estructura anclada, puede ser necesario retensar periódicamente los anclajes, con la finalidad de mantener la carga del anclaje sobre el nivel mínimo requerido.*

La protección contra la corrosión de las partes accesibles de la cabeza del anclaje debe ser verificada periódicamente y, si es necesario, reconstituida.

## 10 Informes

Es necesario preparar un plano de ejecución de los anclajes, que contenga las especificaciones técnicas relativas al sistema de anclaje utilizado. Este plano deberá estar disponible en la obra.

*Nota: El plano de ejecución de los anclajes puede, según sea necesario, contener las informaciones siguientes:*

- *El tipo de anclaje con su designación,*
- *El número de anclajes,*
- *La ubicación y la orientación de cada anclaje, así como las tolerancias de ubicación,*
- *La longitud libre y la longitud fija,*
- *La carga de servicio y la carga de bloqueo,*
- *La metodología de puesta en obra (perforación, colocación, inyección y postensado),*
- *Los obstáculos conocidos,*
- *Toda otra dificultad ligada a los trabajos de anclaje.*

*Se recomienda exigir al menos los primeros cinco puntos dentro de la información contenida en un plano de obra.*

Los informes de ejecución de los anclajes deben realizarse conforme a la ENV 1997-1, para servir de referencia posterior. Deben entregar la siguiente información:

- Las guías de despacho de los materiales como cemento, resinas, aditivos,
- Los antecedentes geotécnicos,
- La metodología de perforación,
- La metodología de colocación y la geometría de los elementos de los anclajes,
- La fecha y hora de instalación de cada anclaje,
- Para los anclajes inyectados: materiales, presiones, volúmenes inyectados, longitud inyectada, duración de la inyección,
- La puesta en obra de la encapsulación elegida,
- La inyección,
- La puesta en tensión,
- Las pruebas de carga.

Se deberá preparar un informe firmado referente a la ejecución de cada anclaje. Este informe deberá incluir todas las características particulares de ejecución. Todos los informes de ejecución y de pruebas deben conservarse después de la obra. Una vez ejecutados los anclajes, deben elaborarse y conservarse planos "as-built" con los informes de ejecución. Los certificados de aceptación entregados por las autoridades correspondientes, para todos los materiales utilizados durante la ejecución de los anclajes, deberán adjuntarse a los informes de ejecución.

Se recomienda archivar copias de todos los informes descritos en este párrafo, de tal manera que puedan ser consultados a futuro por las partes involucradas.

En el anexo F se presentan ejemplos de informes adecuados.



## 11 Prescripciones particulares

Durante la ejecución de los trabajos de anclaje, además de todas las normas nacionales, deberán cumplirse todas las especificaciones o prescripciones reglamentarias referentes a:

- La seguridad del sitio,
- La seguridad de los procedimientos de ejecución,
- La seguridad de funcionamiento de los equipos de perforación, de los equipos anexos y de las herramientas.

Se debe dar una atención particular a las operaciones que necesiten la presencia de personal en la proximidad de equipos o herramientas pesadas.

Las molestias y/o daños al medio ambiente que puedan resultar de los trabajos de anclaje se deben reducir al mínimo.

Esas molestias y/o daños al medio ambiente pueden tener como fuente:

- El ruido,
- Vibraciones en los suelos,
- Contaminación de los suelos,
- Contaminación de las aguas superficiales,
- Contaminación de las aguas subterráneas,
- Contaminación del aire.

Durante las puestas en tensión, las medidas de seguridad son fundamentales.

Se recomienda que los operadores y los observadores se mantengan a los lados de los equipos de tensado y no pasen nunca frente a ellos durante la puesta en tensión.

Se recomienda que se dispongan letreros con la inscripción "PELIGRO – puesta en tensión en curso", o algo similar.

## Anexo A

# Verificación eléctrica de la protección anticorrosiva

### A.1 Generalidades

Este anexo describe la medición de la resistencia eléctrica entre un anclaje y el suelo circundante o la estructura, para determinar la eficiencia del sistema de protección utilizado contra la corrosión.

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

### A.2 Medición de la resistencia eléctrica I ( MRE I )

Para la metodología de operación de la prueba MRE I (aislamiento del tendón del anclaje con respecto al suelo y a la estructura), ver figuras A1a y A1b.

Las especificaciones relativas a los equipos a utilizar se indican a continuación:

- Tensión de medición                    500 V c.c.
- Rango de medición                    > 10 k $\Omega$  ( 0,01 )

<i>Equipo de medición METRISO</i>	<i>500 VW ó equivalente</i>
-----------------------------------	-----------------------------

Durante las mediciones, el tendón se debe conectar al polo positivo y el neutro estar conectado al polo negativo en el circuito de medición. Generalmente, se utiliza el suelo húmedo como neutro.

Es posible también ocupar como neutro elementos de armaduras de acero de estructuras de hormigón armado, en contacto con el suelo, tubos metálicos enterrados o clavos hincados en el suelo o en la roca.

Durante las mediciones, los puntos de contacto deben mantenerse limpios.

La prueba MRE I se puede realizar en dos fases separadas:

#### Fase a:

En esta fase se prueba la integridad de la vaina plástica que cubre la longitud libre y la longitud fija del anclaje, después de las distintas etapas de la ejecución del anclaje; es decir, antes del bloqueo del anclaje:

Incluye mediciones:

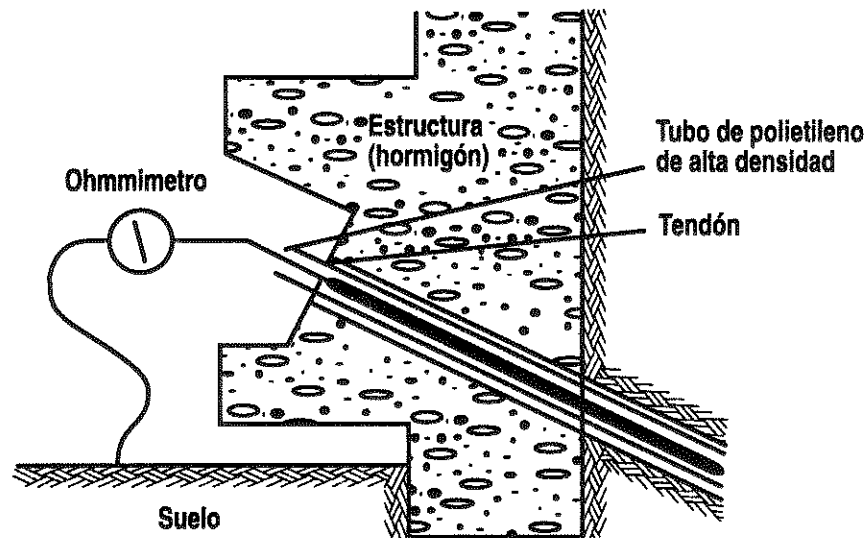
- Después de la instalación del anclaje en la perforación
- Después de la inyección primaria
- Después de una eventual inyección secundaria
- Después de la prueba de aceptación

Una resistencia eléctrica superior o igual a  $0,1 \text{ M}\Omega$  medida entre el tendón y el suelo es la demostración de un nivel de integridad aceptable de la vaina plástica.

*Nota 1:* Una vaina plástica estanca sin defecto da valores de  $R_i > 100 \text{ M}\Omega$ .

*Nota 2:* Se recomienda que esas mediciones sean utilizadas para observar los efectos de las distintas sollicitaciones sobre la integridad de la vaina plástica durante la instalación de los anclajes.

La realización de las mediciones durante esta etapa se ilustra en la figura A1a.



**Figura A1a:** Prueba MRE I antes del bloqueo del anclaje.  $R_i$  entre el tendón y el suelo  $\geq 0,1 \text{ M}\Omega$ .

#### Fase b:

Durante esta fase se prueba la aislación eléctrica global del anclaje con respecto al suelo y a la estructura.

Incluye mediciones:

- Después del bloqueo del anclaje
- Después de la inyección de la cabeza de anclaje
- En cualquier momento durante la vida del anclaje

Una resistencia eléctrica  $R_i$  superior o igual a  $0,1 \text{ M}\Omega$  garantiza una aislación global del anclaje con respecto al suelo y a la estructura.

La realización de las mediciones durante esta etapa se ilustra en la figura A1b.

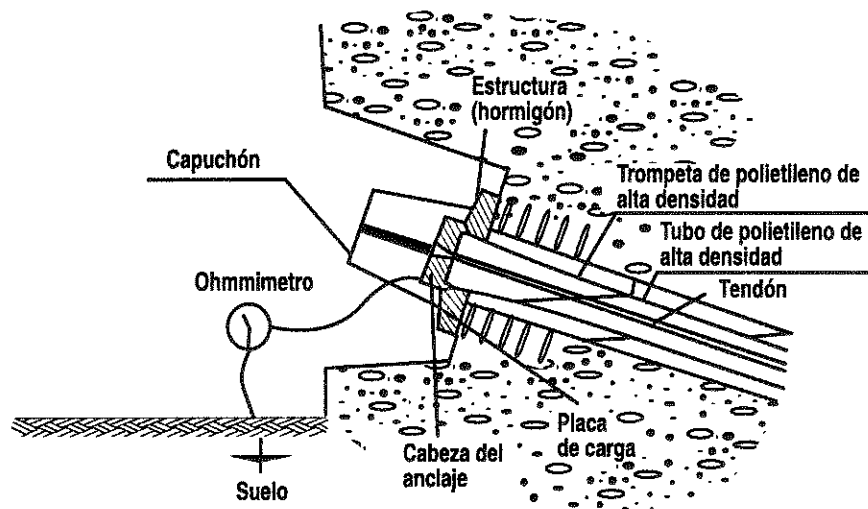


Figura A1b:

**Prueba MRE I después del bloqueo del anclaje.  $R_i$  entre la cabeza de anclaje y el suelo o la estructura  $\geq 0,1 M\Omega$ .**

*Nota: la extremidad de la vaina de polietileno (PE) debe estar limpia y seca.*

### A.3 Medición de la resistencia eléctrica II (MRE II)

Esta medición se efectúa solamente si  $R_i$  después del bloqueo del anclaje es inferior a  $0,1 M\Omega$ , para demostrar que por lo menos no hay ningún contacto directo entre la cabeza de anclaje y las armaduras de acero de la estructura anclada.

La prueba MRE II se realiza sobre el anclaje tensado. La metodología de operación de esta prueba se indica en la figura A2.

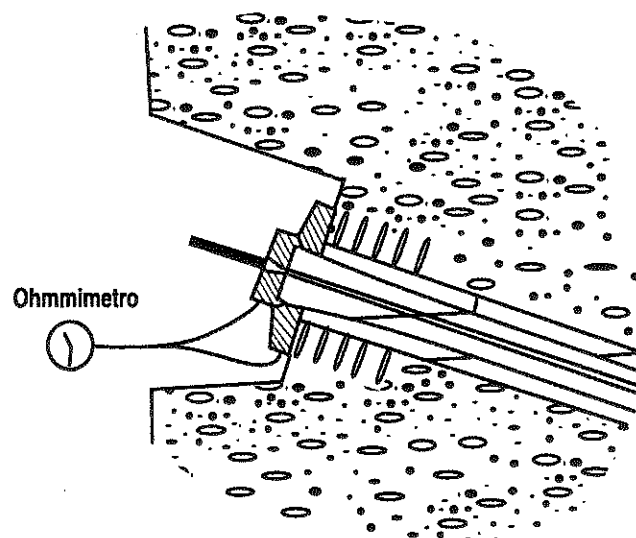


Figura A2:

**Prueba MRE II después del bloqueo del anclaje.  $R_{ii}$  entre la cabeza de anclaje y la placa de apoyo  $\geq 0,1 M\Omega$ .**

*Nota: MRE II se realiza únicamente si  $R_i$  después del bloqueo es inferior a  $0,1 M\Omega$ .*

Las especificaciones relativas a los equipos a utilizar se indican a continuación:

- Tensión de medida                      aproximadamente 40 V corriente alterna
- Rango de medición                    0 a 200 k $\Omega$  ( 0 a 0,2 M $\Omega$  )

*Equipo de medición Norma D3950 ó equivalente*

En general, la placa de apoyo se utiliza como neutro.

También se puede utilizar el acero de la estructura anclada cuando la placa de apoyo está revestida con un material aislante eléctrico.

Durante las mediciones, la cabeza del anclaje y en particular la placa de aislación entre la cabeza de anclaje y la placa de apoyo se mantienen secas. Los puntos de contactos eléctricos se deben mantener limpios y el metal descubierto. Con el fin de garantizar un contacto correcto, se deben utilizar pinzas o imanes potentes. No se utilizarán brocas de conexión para este tipo de mediciones.

La prueba MRE II es sensible a las condiciones climáticas tales como la humedad del aire en la zona de la cabeza de anclaje, como también a eventuales corrientes parásitas en el suelo.

Cuando se realizan varias mediciones sobre un anclaje, se recomienda, siempre y cuando las mediciones se realicen correctamente, adoptar la resistencia más alta medida.

Una resistencia eléctrica  $R_{II}$  superior a 100 $\Omega$  entre la cabeza de anclaje y la placa de apoyo o la armadura de acero de la estructura, garantiza que no hay contacto directo entre la cabeza de anclaje y las armaduras de acero de la estructura anclada.

## Anexo B

### Prueba de sistema de la protección anticorrosiva

Este anexo describe métodos de evaluación que permiten establecer, con tensión o después de la puesta en tensión, la integridad de una encapsulación prefabricada contra la corrosión. Estas pruebas se realizan en un marco de pruebas. La figura B1 ilustra el dispositivo general del equipo de prueba.

#### Prueba A

Esta prueba se refiere a la puesta en tensión de un tendón encapsulado en una protección no confinada.

El tendón, la lechada de protección y el (los) tubo(s) plástico(s) son sometidos a condiciones de puesta en tensión idénticas a las del anclaje en servicio.

El anclaje está tensado a la tensión máxima a la cual estará sometido durante las pruebas in-situ.

La elasticidad y la resistencia a la fisuración del tubo se observan en la superficie exterior, durante la puesta en tensión del anclaje.

El tendón se destensa a continuación hasta una tracción nula.

Una parte del tubo plástico exterior se saca y los tendones se vuelven a tensar hasta la tracción de bloqueo, con el fin de examinar el estado del tubo interior y de verificar la distribución de las fisuras y ancho de las fisuras en la lechada de protección.

#### Prueba B

Esta prueba se refiere a la puesta en tensión de un tendón protegido, confinado y sellado en el tubo desmontable inyectado.

Las condiciones de puesta en tensión simulan las del anclaje en condición de servicio.

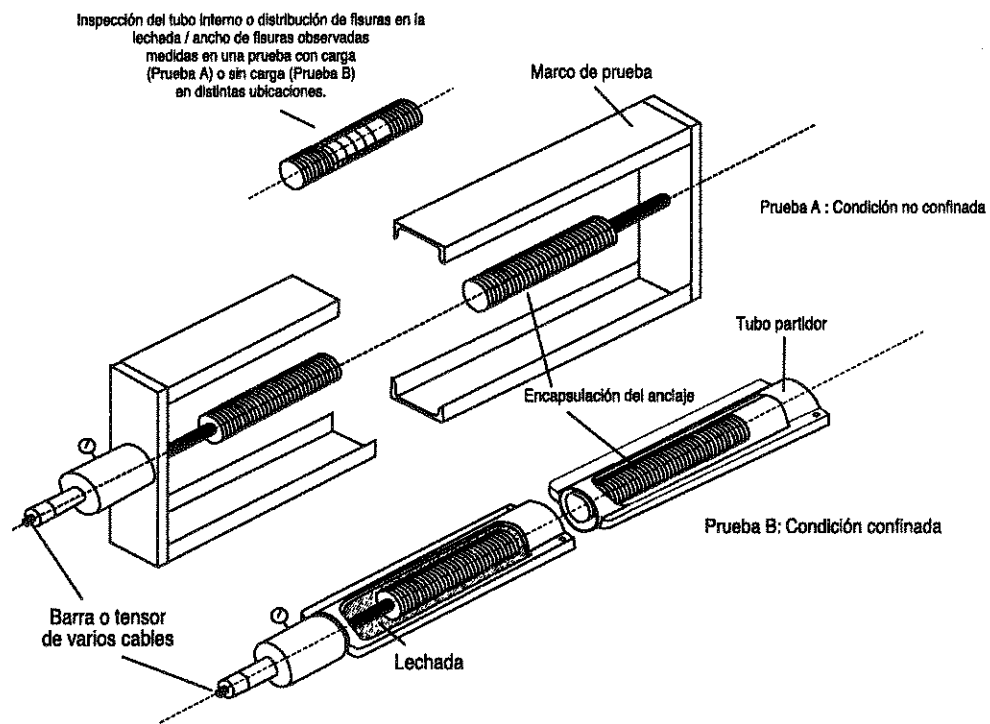
El anclaje está tensado a la tensión máxima a la cual estará sometido durante las pruebas in-situ.

El anclaje se destensa a continuación hasta una tracción nula.

El tubo de encapsulación se desmonta y la lechada inyectada se saca, para separar el tubo plástico externo. Se chequea visualmente la integridad del tubo plástico externo.

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

El alargamiento del tendón bajo la tracción de servicio, dividido por el número de fisuras observadas, da una indicación del ancho promedio de una fisura en la lechada, para condiciones de tracción de servicio.



**Figura B1: Prueba de Sistema de la protección anticorrosiva**

## Anexo C

# Recomendaciones para criterios de aceptación de productos viscosos de protección anticorrosiva y normas para ensayo de propiedades de esos materiales

**Tabla C1:**  
**Criterios de aceptación de productos viscosos de protección anticorrosiva**

Propiedades	Unidades	Valores aceptables
• Contenido de azufre libre, sulfatos y sulfuros	ppm	≤ 50
• Contenido en iones cloruros, nitritos, nitratos, tiocianatos iónicos	ppm	≤ 50
• Resistividad específica	$\Omega \cdot \text{cm}$	≤ 10 <sup>9</sup>
• Absorción de agua 0,1 N KOH, después de 30 días	%	≤ 2
• Saponificación (acidez)	mg KOH / gm	≤ 5
• Pérdida de aceite sobre papel filtro a 50°C, 24 horas: diámetro de la mancha de aceite	mm	≤ 5
• Profundidad de penetración durante la prueba de pérdida de aceite en una lechada de cemento fraguada, de 5 mm de espesor, 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 temperatura de 10°C, cada 2 horas	°C aparición de gotas de aceite	≥ 40
• Punto de goteo	°C	≥ 60
• Protección contra la oxidación – “neblina marina”: 5% NaCl – 168 horas a 35°C	visual	no hay corrosión
• Exudación a 40°C	%	≤ 5

### Ejemplos de normas de evaluación de los materiales:

DIN 51759:

Prüfung von flüssigen Minerlaölerzeugnissen; Prüfung der Korrosionswirkung auf Kupfer; Kupferstreifen-prüfung.

*Pruebas de aceites minerales líquidos – pruebas de corrosión relativas al cobre – método de la lámina de cobre.*



DIN 51576:

Prüfung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen; Bestimmung des Salzgehaltes.

*Pruebas de aceites minerales (hidrocarburos): determinación del contenido en sal.*

DIN 53483:

Prüfung von Isolierstoffen; Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften: Teil 1, 2, 3.

*Pruebas de materiales aislantes: determinación de las propiedades dieléctricas: parte 1, 2, 3.*

DIN 53495:

Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Wasseraufnahme.

*Pruebas de plásticos: determinación de la absorción de agua.*

DIN 53401:

Bestimmung der Verseifungszahl.

*Metodología de prueba para la determinación del número de saponificación. Metodología de prueba para la determinación del número de saponificación.*

DIN 51801:

Bestimmung des Tropfpunktes: Ubbelohde-Verfahren für bituminöse Bindemittel.

*Metodología de prueba para la determinación del punto de licuefacción (goteo): método Ubbelohde para el asfalto.*

ASTM-D-130-88:

Method for detection of copper corrosion from petroleum products by the copper strip tarnish test.

*Metodología para la detección de la corrosión del cobre a partir de hidrocarburos con la prueba de la lámina de cobre (quitar el brillo).*

ASTM-D-94-89:

Test method for saponification no. of petroleum products.

*Metodología de prueba para la determinación del número de saponificación de hidrocarburos.*

ASTM-D-512-89:

Test method for chloride ion in water.

*Metodología de prueba para la determinación del ion cloro en el agua.*

# Anexo D

## Diseño de anclajes postensados

### D.1 Generalidades

Las recomendaciones de este anexo son aplicables a estructuras que son soportadas por anclajes postensados, como los definidos en el capítulo 1, los que transmiten una fuerza de tensión a una formación de suelo o roca.

Las estructuras ancladas pueden ser de los siguientes tipos:

- Estructuras de contención,
- Obras de estabilización de terraplenes o taludes,
- Excavaciones a cielo abierto,
- Obras subterráneas y losas sometidas a subpresiones generadas por napas subterráneas,
- Obras que transfieren al terreno esfuerzos de tracción generados por la superestructura o por sollicitaciones sobre la superestructura.

Este anexo está relacionado con el diseño de anclajes postensados asociados con estructuras, teniendo en cuenta las características y los requerimientos de las estructuras. Para el diseño de estas estructuras en su conjunto, deben tenerse en cuenta las normas ENV 1991-1-1: Eurocódigo 1: Parte 1-1 y ENV 1997-1: Eurocódigo 7: Parte 1-1.

*Ver norma ACI 318-99, Capítulo 7.*

### D.2 Estados límite

Debe compilarse una lista de los estados límite a considerar.

En los Eurocódigos 1, 2 y 7 se indica el número mínimo de estados límite que deben considerarse para el diseño de una estructura anclada.

*Véase normas de referencia equivalentes en el Capítulo 2. Para los efectos prácticos, se solicita ver Figura G1 sobre mecanismos de falla para el sistema muro-anclaje.*

Además se considerarán para las estructuras ancladas los siguientes estados límite:

- Falla del anclaje por tracción.
- Falla estructural del anclaje, debido a esfuerzos de corte, distorsión de la cabeza del anclaje o corrosión.
- Pérdida de la carga del anclaje, debido a un desplazamiento excesivo de la cabeza del anclaje o por fluencia y relajación.
- Falla o excesiva deformación de parte de la estructura, debido a la carga del anclaje.

Para todo tipo de estructuras ancladas, deberá considerarse la combinación de los estados límite antes indicados, como también aquellos aplicados a la estructura en su totalidad.

### D. 3 Solicitaciones, propiedades del suelo, datos geométricos y situaciones de diseño

En la selección de las solicitaciones para calcular los estados límite, se tendrán en cuenta las solicitaciones que se mencionan en el punto 2.4.2 de ENV 1997- 1: 1994.

*Se destacan dentro de este punto como las más habituales:*

- *Peso propio del suelo, roca y agua*
- *Presiones hidrostáticas y presiones originadas por la filtración de agua en el subsuelo*
- *Peso propio de la estructura, así como sobrecargas o cargas útiles y acciones en la zona adyacente a la estructura*
- *Cargas superficiales y de tránsito*
- *Aceleraciones por sismo*
- *Cargas de postensado de anclajes y puntales*

*NOTA 1: Puede requerirse un análisis de la interacción entre la estructura, el anclaje y el suelo, a fin de determinar las solicitaciones de la estructura a adoptar en el diseño del anclaje.*

Las cargas del anclaje se consideran usualmente como solicitaciones.

*NOTA 2: Las cargas del anclaje actúan generalmente de manera favorable. La carga del anclaje se tomará, en este caso, con un valor bajo; es decir, con un valor menor que el calculado, basándose en el análisis efectuado de acuerdo con D.4. Sin embargo, cuando la carga del anclaje sea desfavorable, se adoptará en el diseño un valor mayor al calculado.*

Se deben seleccionar las situaciones apropiadas de diseño, conforme a los principios establecidos en 2.2 de la norma ENV 1997 – 1: 1994.

*Este punto de la norma señala aquellos aspectos de información previa que debe contener todo proyecto.*

Las situaciones de diseño deben considerar las condiciones de medioambiente de acuerdo a 2.3. de la norma ENV 1997 – 1: 1994.

*Este punto de la norma señala aquellos aspectos de durabilidad que debe contener todo proyecto.*

Se deben considerar las situaciones transitorias de diseño que estén asociadas a la etapa de ejecución de los trabajos.

*NOTA 3: Cuando se seleccionan las situaciones de diseño para estructuras ancladas, es importante tener en cuenta el nivel de la napa de agua y las presiones intersticiales en acuíferos confinados.*

Los parámetros de diseño del suelo y los datos geométricos deben definirse de acuerdo con los principios establecidos en 2.4.3 y 2.4.5 de la norma ENV 1997 - 1:1994.

*Estos puntos de la norma señalan aquellos aspectos relacionados con las propiedades del terreno y datos geométricos que debe contener todo proyecto.*

## D.4 Métodos de diseño

El diseño o cálculo de las estructuras ancladas debe efectuarse conforme a lo que se señala en los Eurocódigos 1, 2, 4 y 7, dependiendo del tipo de estructura que se trate. Las verificaciones de diseño que tengan en cuenta el efecto de la carga del anclaje en la estructura, se harán de acuerdo con lo que se señala en este anexo.

*Véase normas de referencia equivalentes en el Capítulo 2.*

Para el diseño de un anclaje individual, será necesario efectuar los siguientes cálculos y verificaciones:

- Verificación de la resistencia interna del anclaje.
- Verificación de la resistencia externa del anclaje.
- Verificación del funcionamiento y la durabilidad del anclaje.
- Cálculo de la longitud libre necesaria del anclaje.
- Determinación de la carga de bloqueo del anclaje.

Los cables y las barras de acero de los anclajes deben cumplir con la norma ENV 1992 - 1-1.

*NCh 211 Of. 69: Barras con resaltes en obras de hormigón.*

La resistencia externa de los anclajes debe determinarse basándose en los resultados de las pruebas de investigación o de aptitud (ver capítulo 9), los resultados de investigaciones de terreno, o de experiencias en suelos similares.

La mínima longitud libre del anclaje y la carga de bloqueo deben deducirse del diseño de la estructura anclada.

*La longitud libre mínima será de 4,5 m para anclajes de cables, y de 3,0 m para anclajes de barras. Longitudes menores deben justificarse técnicamente (ver "Recomendaciones del PTI – Post Tensioning Institute, 1996).*

La carga de bloqueo  $P_0$  debe determinarse de manera tal que la carga  $P$  del anclaje, durante la vida útil de la estructura, esté bajo el límite que fija la siguiente expresión:

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

Donde:

$P_{tk}$  es la carga de tracción característica del tendón

La carga de bloqueo del anclaje será

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

## D. 5 Determinación de estado límite de diseño

### D. 5. 1 Principios y requerimientos

Cada estructura anclada debe verificarse para el estado de carga último, empleando las solicitaciones y situaciones de diseño apropiadas a este estado, como se especifica en el Capítulo D.3. Deben considerarse todos los estados límite que se aplican a la estructura anclada.

Cuando se considera un estado límite de equilibrio estático o un estado límite de grandes desplazamientos de la estructura asimilada a un cuerpo rígido (estabilidad global), debe verificarse que:

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

Donde:

$E_{d,dst}$  es el valor de diseño de las solicitaciones de desestabilización

$E_{d,stab}$  es el valor de diseño de las solicitaciones de estabilización

Cuando se considera un estado límite de falla o de excesiva deformación de una sección, de un anclaje o de su conexión, debe verificarse que:

$$E_d \leq R_d$$

Donde:

$E_d$  es el valor de diseño del efecto de una solicitación, tal como la carga del anclaje  
 $R_d$  es la correspondiente resistencia de diseño calculada, considerando todas las propiedades estructurales con sus respectivos valores de diseño.

El valor de diseño de las solicitaciones del efecto estabilizador  $E_{d,stab}$  y la resistencia de diseño de la estructura anclada  $R_d$  deben calcularse usando la resistencia de diseño del suelo que se especifica en 2.4.3 de la norma ENV 1997 - 1:1994, en conjunto con las resistencias de diseño para materiales estructurales según se especifica en las normas ENV 1992 - 1-1 y ENV 1993 - 1-1.

*NCh 211 Of. 69: Barras con resaltes en obras de hormigón.*

La estimación de las resistencias de diseño de los diferentes materiales debe tomar en cuenta la compatibilidad de las características de comportamiento tensión-deformación, toda vez que son consideradas en conjunto en el diseño.

Deben emplearse valores de diseño de la resistencia del suelo inferiores o superiores, según lo que sea más favorable para la seguridad del proyecto.

La resistencia de diseño  $R_d$  del anclaje depende de la forma como el anclaje es solicitado en el estado límite considerado.

Si el anclaje es solicitado sólo por tracción:

$$R_d = R_k / g_R$$

Donde:

$R_k$  es la menor de las resistencias características entre la interna y externa del anclaje.  
 $g_R$  es el coeficiente de seguridad de la resistencia del anclaje

El coeficiente de seguridad de la resistencia del anclaje  $\gamma_R$  tiene en cuenta lo siguiente:

- Las variaciones de las propiedades del suelo dentro de un estrato de suelo determinado.
- Las variaciones de las dimensiones y propiedades de los componentes del anclaje.
- Las variaciones en la ejecución de los anclajes.

Si el anclaje no sólo está sujeto a tracción, sino que también debe soportar corte y flexión:

$$R_d = \gamma_q P_o$$

Donde:

$\gamma_q$  es el coeficiente de variación de la carga del anclaje.

El coeficiente de variación de la carga del anclaje  $\gamma_q$ , considera los cambios de la carga del anclaje durante el tiempo que transcurre entre la carga inicial de bloqueo del anclaje y la aparición de uno de los estados límite considerados, debidos a:

- relajación del tendón
- fluencia de la longitud fija del anclaje
- desplazamiento de la estructura a nivel de la cabeza del anclaje
- desplazamiento de la estructura como un cuerpo rígido en el estado límite considerado.

El coeficiente de variación de la carga del anclaje  $\gamma_q$  usualmente varía entre los siguientes valores:

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

pero puede alcanzar valores mayores.

Para todos los anclajes el coeficiente de seguridad de la resistencia  $\gamma_R$  debe ser:

$$\gamma_R \geq 1,35$$

NOTA: Ejemplos típicos de modos de falla, donde los anclajes no son directamente arrancados, se muestran en las figuras D1a y D1b. Si se considera el modo de falla que se representa en la figura D1a, la resistencia de diseño del anclaje no puede ser mayor que la carga real del anclaje al momento de la falla, dado que la falla por arrancamiento se producirá sólo después de un gran desplazamiento de la estructura.

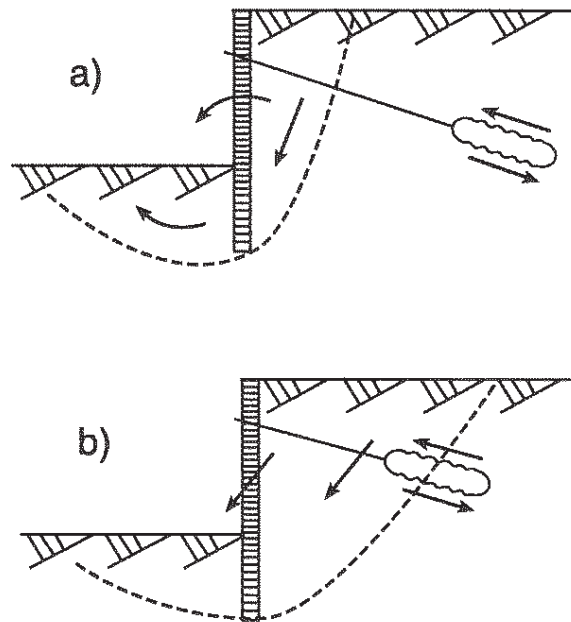


Figura D1: Ejemplo de estados límites de falla de arrancamiento de anclajes.

### D.5.2 Resistencia interna característica del anclaje.

La resistencia interna característica del anclaje  $R_{ik}$  es la capacidad de carga característica del tendón:

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

Donde:

$A_t$  es la sección transversal del tendón del anclaje

$f_{tk}$  es la resistencia a la tracción característica del tendón

El diseño, la construcción y la ejecución del anclaje deben garantizar que la resistencia de falla de la cabeza del anclaje y la resistencia de falla de la adherencia de la interfase (tendón – lechada y donde sea relevante lechada – encapsulación) sea igual o mayor a  $P_{tk}$  (ver 6.3).

### D.5.3 Resistencia externa característica del anclaje

La resistencia externa del anclaje  $R_a$  es la resistencia a la falla del anclaje en la interfase lechada – suelo.



$R_a$  es igual a la carga a la cual se produce un desplazamiento continuo de la longitud fija del anclaje, y a la cual después de un cierto tiempo se produce el arrancamiento del anclaje.

*La longitud fija del anclaje no será menor que 3 m.*

La resistencia externa característica del anclaje  $R_{ak}$  se deriva del valor de  $R_a$  que es recomendable evaluarlo de los resultados de pruebas de carga (Pruebas de investigación, ver capítulo 9).

*NOTA 1: Por razones prácticas, la resistencia externa del anclaje  $R_a$  se define a partir de la carga que causa una razón de fluencia  $k_v$  de la pendiente  $\alpha$  o de una pérdida de carga  $k_f$  (ver Anexo E).*

Cuando se calcula la resistencia característica del anclaje  $R_{ak}$  a partir de valores  $R_a$  medido en pruebas de investigación,  $R_{ak}$  no deberá ser mayor que el menor valor de  $R_a$ .

*NOTA 2: Si el valor  $R_{ak}$  adoptado es mayor que el menor valor medido de  $R_a$ , entonces deberá justificarse. En este caso puede ser necesario efectuar más pruebas de investigación, para reunir más antecedentes.*

La resistencia externa característica del anclaje será igual o mayor que la resistencia interna característica del anclaje:

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

## D.6 Cálculo del estado límite de servicio del anclaje

El diseño y la verificación de una estructura anclada en su estado límite de servicio se efectuarán como se especificó en D.3, usando los valores característicos de las solicitaciones, de las propiedades del terreno y de los datos geométricos de la estructura. Los valores límite de los desplazamientos y deformaciones permitidos de la estructura y del suelo adyacente a la estructura anclada se determinarán de acuerdo con 2.4.6 de la norma ENV 1997 - 1: 1994, teniendo en cuenta las tolerancias a desplazamiento y distorsión que admite la estructura.

En base a experiencias comparables, se deberá estimar la distorsión y desplazamiento de la estructura anclada, y los efectos sobre las estructuras y servicios soportados. Estas estimaciones incluirán los efectos de construcción de las estructuras ancladas. Deberá verificarse que los desplazamientos estimados no excedan los valores límite.

Si los desplazamientos estimados exceden los valores límite, el diseño deberá justificarse con una investigación detallada, incluyendo el cálculo de desplazamientos.

Si la estimación de los desplazamientos excede en 50% al valor límite, deberá efectuarse una investigación más detallada que incluya el cálculo de los desplazamientos en las siguientes situaciones:

- donde las estructuras y los servicios son inusualmente sensibles a los desplazamientos.
- donde la estructura anclada esté soportando a arcillas blandas en toda su altura o éstas estén bajo su base.
- donde experiencias comparables no estén bien establecidas.

El cálculo de desplazamientos tendrá en cuenta la rigidez del suelo, la de los anclajes y la de los otros elementos estructurales y la secuencia de construcción.

*NOTA: El comportamiento de los materiales en el cálculo de los desplazamientos de la estructura será calibrado con el desplazamiento de modelos conocidos. Rigideces apropiadas de estructura y suelos deben adoptarse para las magnitudes de las deformaciones que se anticipen. Comportamientos no lineales de suelo serán considerados, si ello fuese necesario.*

Para verificar una estructura a su estado límite de servicio, el efecto de un anclaje será considerado como una acción o como un resorte elástico precomprimido.

Cuando el efecto de un anclaje se considera como una acción, sea éste el mínimo o el máximo de la fuerza de anclaje que ocurra durante la vida útil de la estructura, cualquiera que sea, se usará en el diseño el más adverso.

Se recomienda considerar en el diseño de la estructura los resultados de la prueba de carga.

Cuando se considera un anclaje como un elástico pretensado, es conveniente considerar la combinación más desfavorable de rigideces o pretensado.

Es conveniente tener en cuenta el efecto de las cargas de pretensado en las deformaciones de la estructura.

La importancia de los desplazamientos de la cabeza del anclaje aumenta cuando las fuerzas de tensión ejercidas en el anclaje exceden a la carga de anclaje.

Para las estructuras ancladas que transfieren cargas generadas por la superestructura o por la acción de la superestructura al suelo, las cargas de anclaje siempre serán mayores que los efectos de la carga de tensión en el anclaje. Esto también es válido para los anclajes verticales.

# Anexo E

## Ejemplos de métodos de prueba de anclajes

### E.1 Generalidades.

En el capítulo 9 se hace referencia a los tres tipos de prueba de anclajes comúnmente utilizados. Éstos son:

- a) **Método de prueba 1:** El anclaje es solicitado por ciclos de carga crecientes a partir de una carga de referencia hasta una carga máxima de prueba. Al alcanzar la carga máxima de cada ciclo de carga creciente, se mide el desplazamiento de la cabeza del anclaje durante un cierto lapso de tiempo.
- b) **Método de prueba 2:** El anclaje es solicitado por ciclos de carga crecientes a partir de una carga de referencia hasta una carga máxima de prueba o hasta la falla. Al alcanzar las cargas de bloqueo y las cargas máximas de cada ciclo de carga creciente se mide la pérdida de carga en la cabeza del anclaje durante un cierto período de tiempo.
- c) **Método de prueba 3:** El anclaje es solicitado en incrementos de carga a partir de una carga de referencia hasta una carga máxima de prueba. En cada incremento de carga se mide el desplazamiento de la cabeza del anclaje bajo carga constante.

*En la norma EN 1537 se adoptan tres métodos para realizar las pruebas de investigación, aptitud y aceptación de anclajes, debido a que en el grupo de trabajo WG2 (anclajes) del Comité Europeo de Normalización CEN, no se llegó a un consenso sobre un único método para las mismas. Esto significa que el representante técnico del cliente o la empresa especialista podrá elegir uno cualquiera de los tres métodos indicados por esta norma.*

Los aspectos esenciales de los procedimientos de carga para los métodos de prueba 1, 2 y 3 se muestran en las Figuras E1, E2 y E3.

### E.2 Método de prueba 1

#### E.2.1 Prueba de investigación - Procedimiento de carga.

El anclaje debe ser cargado hasta la falla ( $R_a$ ) o hasta una carga de prueba ( $P_p$ ), que deben limitarse a  $0,80 P_{rk}$  o  $0,95 P_{t0,1k}$ , la que resulte menor.

El anclaje debe ser cargado hasta la carga máxima de prueba en un mínimo de seis ciclos (ver Figura E1). Los ciclos de carga y los períodos mínimos de observación se presentan en la Tabla E1.

Cuando se controlen desplazamientos de fluencia, la carga máxima de cada ciclo debe mantenerse por un mínimo de 15 minutos para cargas menores a  $P_p$  y 60 minutos para  $P_p$  en suelos no cohesivos ó 180 minutos en suelos cohesivos. Este tiempo debe extenderse hasta que la velocidad de fluencia, para esa carga, sea aproximadamente constante.

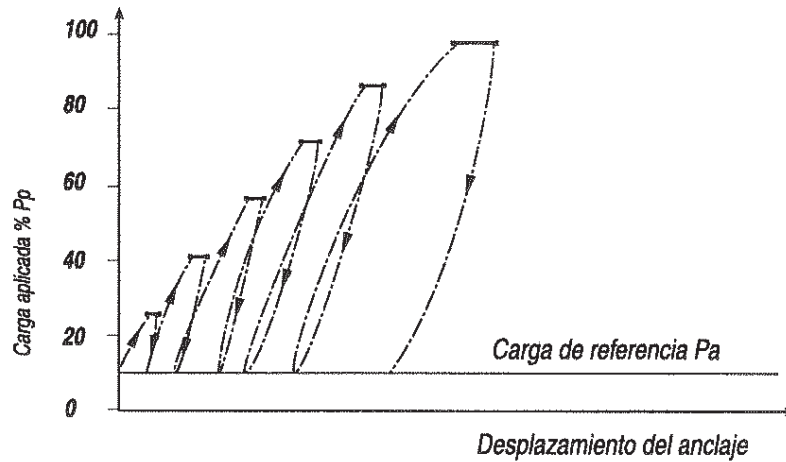


Figura E1: Procedimiento de tensado para Método de Prueba 1

### E.2.2 Prueba de aptitud - Procedimiento de carga.

La carga de prueba para el anclaje de servicio debe ser:

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

la que sea mayor.

La carga en el tendón no debe exceder a  $0,95 P_{t0, 1k}$ .

Los ciclos de carga y los períodos mínimos de observación se presentan en la Tabla E1.

El anclaje debe ser cargado hasta la carga máxima de prueba en un mínimo de cinco ciclos, por omisión del primer ciclo de la Tabla E1.

Cuando se han efectuado pruebas de investigación, la velocidad de fluencia máxima,  $k_f$ , a la carga de prueba no debe ser mayor que 1 mm. Cuando las pruebas de investigación no hayan confirmado la falla (definida como  $k_s = 2$  mm), el valor de  $k_s$  a la carga de prueba no debe exceder 0,8 mm.

### E.2.3 Prueba de aceptación – Procedimiento de carga.

El anclaje debe ser cargado hasta la carga de prueba ( $P_p$ ) mediante un mínimo de tres incrementos iguales. Luego el anclaje debe ser descargado hasta una carga de referencia  $P_a$  y nuevamente recargado hasta una carga de bloqueo ( $P_0$ ). La carga de prueba debe ser como mínimo  $1,25 P_0$ , pero no mayor a  $0,9 P_{t0, 1k}$ .

NOTA: Las curvas carga-deformación pueden proporcionar información adicional sobre el terreno y sobre el comportamiento de los componentes del anclaje en el terreno.

*El período de observación para calcular la razón de fluencia puede ser breve en suelos granulares o roca, los cuales no acusan en general una fluencia importante. En cambio, en suelos cohesivos y de acuerdo con DIN 4125, el período mínimo de observación será de 15 minutos.*

El período de monitoreo no debe ser menor a 5 minutos a la carga de prueba.

*En caso de no cumplirse, el período de observación se ampliará hasta que se cumpla los límites del siguiente párrafo.*

Deben aplicarse los siguientes límites: la velocidad de fluencia  $k_s$  no debe exceder 0,8 mm a la carga de prueba y 0,5 mm a la carga de bloqueo.

Valores mayores de  $k_s$  (hasta 1 mm a la carga de prueba) son recomendables, si ellos han sido probados como aceptables en Pruebas de Investigación previas.

#### **E.2.4 Medición de las características de fluencia.**

Los incrementos de los desplazamientos de la cabeza del anclaje relativos a un punto fijo deben medirse al término de los intervalos de tiempo especificados para los incrementos de carga indicados en la Tabla E1. La velocidad de fluencia debe ser determinada después de que una razón de fluencia constante,  $k_s$ , se mida durante dos intervalos de tiempo.

$k_s$  se define como sigue:

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

Donde:

- $s_1$  = es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo  $t_1$ ;
- $s_2$  = es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo  $t_2$ ;
- $t$  = es el tiempo después de la aplicación del incremento de carga.

La razón de fluencia límite es la máxima velocidad de fluencia permitida al nivel de carga especificado (ver E.2.2 y E.2.3).

Las mediciones del desplazamiento de la cabeza del anclaje deben efectuarse a los tiempos indicados más abajo, manteniendo una carga constante.

Los tiempos sucesivos de control (en minutos) a los niveles de carga máxima de cada ciclo mostrados en la Tabla E1, son los siguientes:

1 → 2 → 3 → 5 → 10 → 15 → 20 → 30 → 45 → 60

Cuando los períodos de observación son menores a 60 minutos la secuencia se acorta según lo indicado en la Tabla E1.



## E.3 Método de prueba 2

### E.3.1 Prueba de investigación - Procedimiento de tensado.

El anclaje debe ser cargado hasta la falla ( $R_d$ ) o hasta una carga de prueba ( $P_p$ ) que debe limitarse a  $0,80 P_{tk}$  ó  $0,95 P_{10,1k}$ , la que resulte menor.

El anclaje debe ser cargado hasta la carga máxima de prueba en un mínimo de seis ciclos (ver Figura E2).

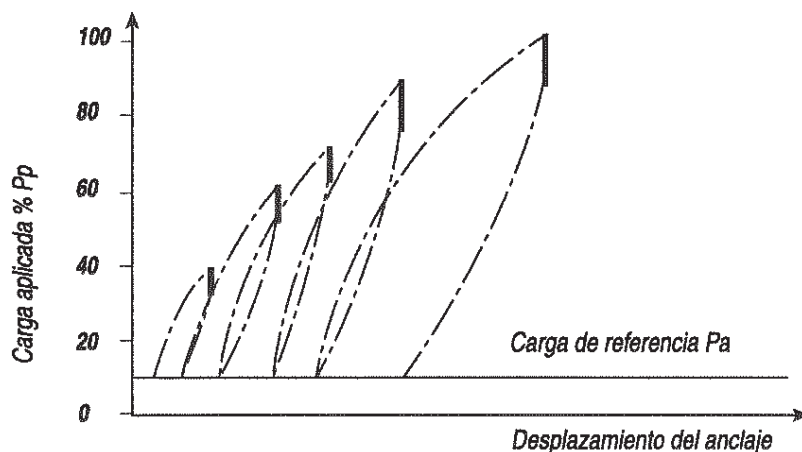


Figura E2: Procedimiento de tensado para Método de Prueba 2.

Los ciclos de carga y los períodos mínimos de observación se presentan en las Tablas E1 y E2.

Si la pérdida de carga acumulada bajo la carga de bloqueo propuesta después de 7 períodos de tiempo (3 días) no excede la admisible y si la pérdida de carga por intervalo de tiempo no está aumentando, se puede finalizar la prueba y la sollicitación cíclica del anclaje se continúa hasta  $P_p$  o hasta la falla. Si la pérdida de carga excede la admisible y/o la pérdida de carga por intervalo de tiempo va aumentando, el período de observación puede extenderse a 8 períodos de tiempo (10 días) o más, hasta que se alcance la estabilidad. Si no se logra la estabilidad, la carga aplicada es demasiado alta para la condición de servicio, pero la prueba debe continuarse hasta determinar la carga de falla.

### E.3.2 Prueba de aptitud - Procedimiento de tensado.

La carga de prueba para el anclaje de trabajo debe ser:

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

la que sea mayor.

La carga en el tendón no debe exceder a  $0,95 P_{10,1k}$

El anclaje debe ser tensado hasta la carga máxima de prueba en dos ciclos de carga de aproximadamente 10-25-50-75-100-75-50-10%  $P_p$  y, luego hasta la carga de bloqueo  $P_0$ .

Los períodos de observación se presentan en la Tabla E2.

La pérdida de carga ( $k_t$ ) a la carga de bloqueo  $P_0$  durante siete periodos de tiempo (3 días) no debe exceder los límites especificados en la Tabla E2.

### E.3.3 Prueba de Aceptación - Procedimiento de Tensado.

El anclaje debe ser tensado hasta la carga de prueba ( $P_p$ ) mediante un mínimo de tres incrementos de tracción iguales. Luego el anclaje debe ser descargado hasta una carga de referencia ( $P_a$ ) y nuevamente recargado hasta una carga de bloqueo ( $P_0$ ). La carga de prueba debe ser como mínimo  $1,25 P_0$  pero no mayor a  $0,9 P_{10,1k}$ .

*NOTA: Las curvas carga-deformación pueden proporcionar información adicional sobre el terreno y sobre el comportamiento de los componentes del anclaje en el terreno.*

El comportamiento bajo la carga de bloqueo debe ser observado durante 3 periodos de tiempo (50 min) y la pérdida de carga no debe exceder la cifra acumulada mostrada en la Tabla E2. Si la pérdida supera el límite, la prueba debe extenderse hasta alcanzar la estabilidad y medir una pérdida de carga aceptable.

Si la precisión del sistema de monitoreo no cumple con el artículo 9.2 en términos de mediciones de pérdida de carga, pero cumple con el artículo 9.2 en términos de mediciones de deformaciones, la aceptación puede ser establecida mediante una prueba de "despegue" durante 6 periodos de tiempo (1 día) que muestren una pérdida de carga acumulada ( $k_t$ ) inferior a 6%.

A la carga de bloqueo deben aplicarse los siguientes límites:

- a) la pérdida de carga  $k_t$  no debe exceder en 3% a  $P_0$  en 50 min;  
ó
- b) la pérdida de carga  $k_t$  no debe exceder en 6% a  $P_0$  en 24 h.

### E.3.4 Medición de las Características de Pérdida de Carga.

A la carga de bloqueo debe medirse la carga, manteniendo constante el desplazamiento de la cabeza del anclaje relativo a la estructura. La cabeza del anclaje debe fijarse a una celda de carga o a un gato inactivo y la pérdida de carga debe medirse al término de cada intervalo de tiempo, durante 10 días, para determinar el porcentaje de pérdida de carga,  $k_t$ .

La pérdida de carga límite es la máxima pérdida de carga acumulada al nivel de carga especificada al término de un cierto número de periodos de tiempo.

Las mediciones de pérdida de carga establecidas en E.3.4 deben efectuarse en los tiempos mostrados en la Tabla E2. La duración mínima de las observaciones será la siguiente:

- Prueba de investigación - 7 periodos (3 días);
- Prueba de aptitud - 7 periodos (3 días);
- Prueba de aceptación - 3 periodos (50 min).

Las características de pérdida de carga son representativas de la pérdida real de carga aplicada a la estructura a través de la cabeza del anclaje. Si son usadas para interpretar los desplazamientos reales de fluencia de la longitud fija, de-

ben efectuarse consideraciones sobre la influencia de la longitud libre del anclaje; es decir, para el mismo desplazamiento absoluto por fluencia del anclaje fijo, a mayor longitud libre, menor deberá ser el efecto de pérdida de carga.

## **E.4 Método de prueba 3**

### **E.4.1 Prueba de Investigación - Procedimiento de Tensado.**

El anclaje debe ser tensado hasta la falla ( $R_d$ ) o hasta una carga de prueba ( $P_p$ ) que deben limitarse a  $0,80 P_{tk}$  ó  $0,90 P_{10,1k}$ , la que resulte menor.

El anclaje debe ser tensado hasta la carga máxima de prueba en un mínimo de 6 incrementos de carga (ver Figura E.3.a).

Los incrementos de carga y los períodos mínimos de observación se presentan en la Tabla E3.

Los períodos mínimos de observación pueden ser reducidos a 30 minutos si no se presenta una fluencia significativa.

### **E.4.2 Prueba de Aptitud - Procedimiento de Tensado.**

La carga de prueba para el anclaje de trabajo debe ser:

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

la que sea mayor.

La carga en el tendón no debe exceder a  $0,90 P_{10,1k}$ .

El anclaje debe ser tensado hasta la carga máxima de prueba en un mínimo de 5 incrementos por omisión del primer incremento en la Figura E.3.b.

Los incrementos de carga y los períodos mínimos de observación se presentan en la Tabla E.4.

Cuando no se han efectuado pruebas de investigación, el desplazamiento máximo de fluencia ( $\infty$ ) para el nivel de la carga de prueba de la prueba de aceptación debe ser menor que 0,8 mm por ciclo logarítmico de tiempo (ver Figura E.4). Cuando se han efectuado pruebas de investigación,  $\infty$  al nivel de la carga de prueba de la prueba de aceptación, debe ser como se indica a continuación:

- 1,2 mm/ciclo log tiempo, para anclajes temporales;
- 1,0 mm/ciclo log tiempo, para anclajes permanentes.

En todo caso, el nivel de la carga de prueba para la prueba de aceptación para los anclajes proyectados no debe ser mayor que  $P_c$ .

### **E.4.3 Prueba de aceptación - Procedimiento de tensado.**

El anclaje deberá ser tensado desde la carga de referencia  $P_a$  hasta la carga de prueba  $P_p$  (igual a  $1,25 P_0$  ó  $R_d$ ) en un mínimo de cuatro incrementos. A continuación, la carga de prueba se mantiene constante por lo menos durante 15 minutos.



Después que la carga de prueba haya sido mantenida durante el período requerido, el contratista podrá llevar a cabo un ciclo parcial o total de descarga-carga (ver Figura E.3.c).

NOTA: *Las curvas carga-deformación pueden proporcionar información adicional sobre el terreno y sobre el comportamiento de los componentes del anclaje en el terreno.*

Cuando se utilice el método de prueba 3 en concordancia con 9.4, la longitud libre aparente del tendón puede ser calculada a partir de la curva, desde la carga de referencia hasta la carga de prueba, usando el método mostrado en la Figura E.3.c. Cuando exista una fricción significativa en la longitud libre, se puede ejecutar un ciclo parcial y calcular la longitud libre aparente del tendón al determinar  $\Delta P$  y  $\Delta s$  a partir de la curva corregida sin fricción.

La deformación debida a la fluencia a la carga de prueba debe ser medida entre los minutos 3<sup>ro</sup> y 15<sup>to</sup>.

El valor de  $\alpha$  correspondiente deberá ser inferior a:

- 1,2 mm para anclajes permanentes y temporales sin pruebas de investigación;
- 1,5 mm para anclajes permanentes con pruebas de investigación;
- 1,8 mm para anclajes temporales con pruebas de investigación.

#### E.4.4 Medición de la fluencia y cargas características

Las cargas de fluencia y característica deben ser medidas y evaluadas como sigue:

- El incremento del desplazamiento de la cabeza del anclaje en relación a un punto fijo debe ser medido en cada incremento de carga en diferentes momentos;
- El desplazamiento de fluencia ( $\alpha$ ) debe determinarse en cada escalón de carga según se indica en la Figura E4. El desplazamiento de fluencia ( $\alpha$ ) se define como la pendiente de la curva que representa el desplazamiento de la cabeza del anclaje versus el logaritmo del tiempo al final de cada escalón de carga;
- La resistencia del anclaje  $R_a$  es la carga correspondiente a la asíntota vertical de la curva  $\alpha$  versus carga aplicada. Si la asíntota no puede ser determinada, se considera que  $R_a$  es la carga correspondiente a un valor de  $\alpha$  igual a 5 mm (ver Figura E5).
- La carga crítica de fluencia  $P_c$  debe determinarse como se indica en la Figura E5. La carga crítica de fluencia es la carga correspondiente al final de la primera parte lineal de la curva  $\alpha$  versus carga aplicada. Donde sea difícil determinar  $P_c$  con exactitud, se determina una resistencia alternativa  $P'_c$  como se indica en la Figura E5 y  $P_c$  se define como:

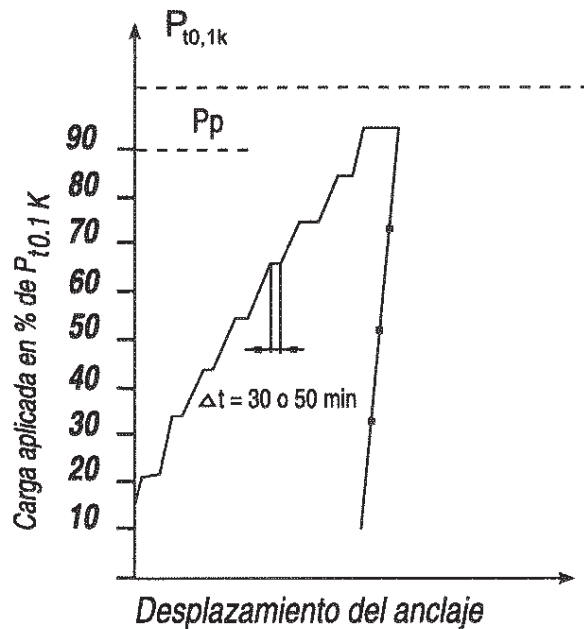
$$P_c = 0,9 P'_c$$

La medición del desplazamiento de fluencia debe hacerse en los tiempos indicados abajo, después de cada incremento de carga. Los periodos de observación para cada escalón son:

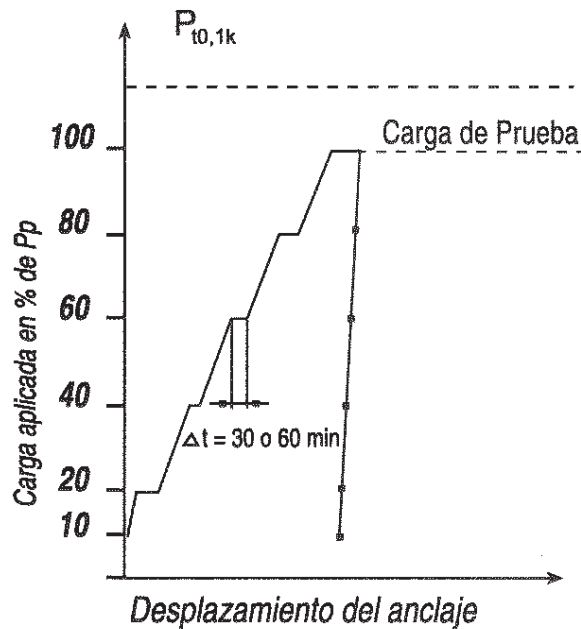
- prueba de investigación: 30 o 60 minutos;
- prueba de aptitud: 30 o 60 minutos;
- prueba de aceptación: no menos de 15 minutos con la carga de prueba.

Los tiempos (en minutos) de toma de datos sucesivos en cada escalón de carga son los siguientes:

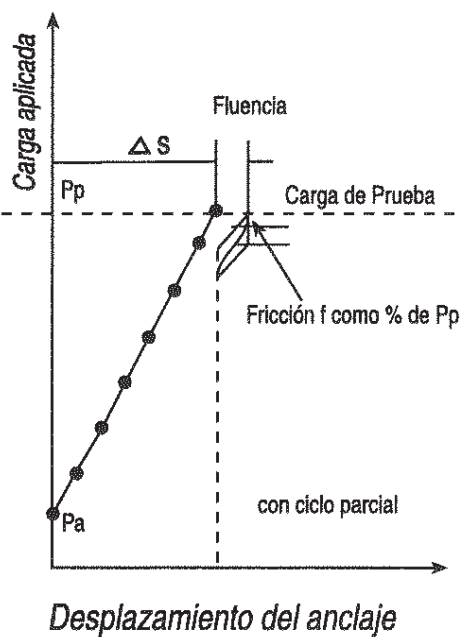
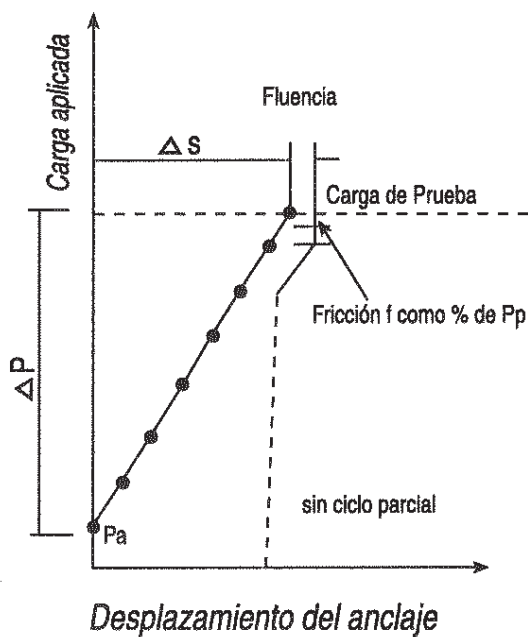
1 → 2 → 3 → 5 → 10 → 15 → 20 → 30 → 45 → 60



a) Prueba de investigación



b) Prueba de aptitud



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

c) Prueba de aceptación

Figura E3: Procedimientos de tensado para Método de Prueba 3

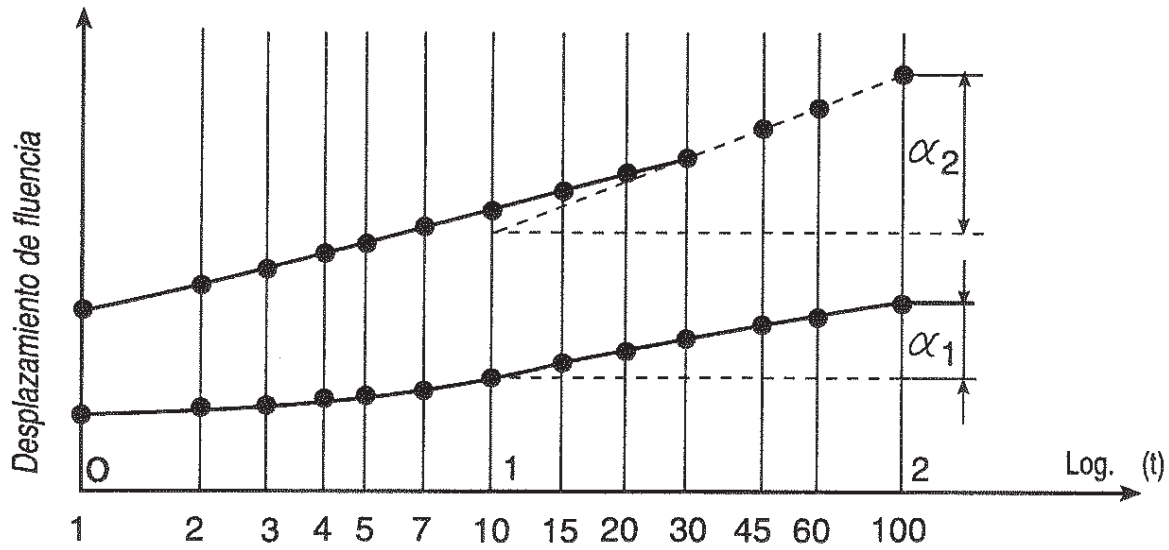


Figura E4: Desplazamiento fluencia versus log tiempo y pendiente  $\alpha_n$  para Método de Prueba 3

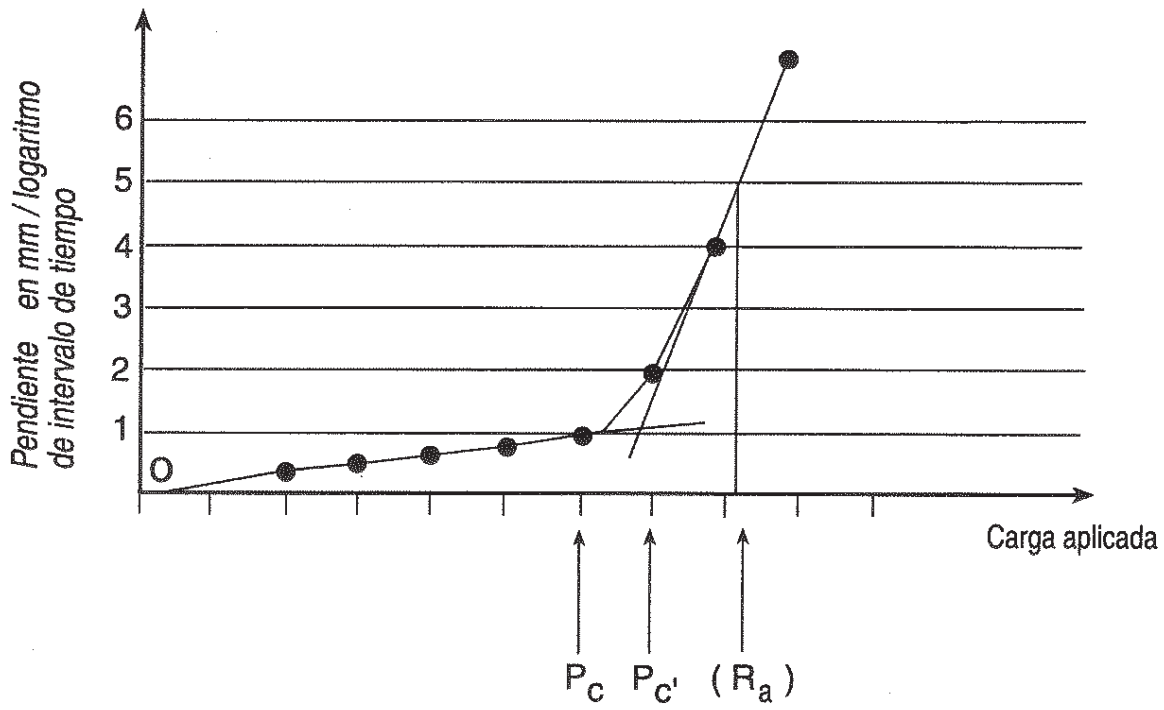


Figura E5: Fluencia versus carga aplicada para Método de Prueba 3

## E.5 Tablas generales de procedimientos de carga. Métodos de prueba 1, 2 y 3

**Tabla E1: Ciclos de carga y periodos mínimos de observación para Pruebas de investigación y conformidad de anclajes, Métodos de Prueba 1 y 2**

Niveles de carga en % de $P_p$						Período mínimo de observación en minutos (Prueba tipo 1 solamente)
ciclo 1	ciclo 2	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 o 180 <sup>1)</sup> )
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

1) En el Método de Prueba 2, donde la carga máxima es la carga de bloqueo  $P_p$ , el período de observación se extiende (ver Tabla E2).

**Tabla E2: Tiempos y periodos de observación y criterios de aceptación para pérdidas de carga, Método de Prueba 2**

Tiempo de observación en minutos	Número Período de tiempo	Pérdida de carga acumulada permitida $k_1$ (% carga aplicada)
5	1	1
15	2	2
50	3	3
150	4	4
500	5	5
1.500 (aprox. 1 día)	6	6
5.000 (aprox. 3 días)	7	7
15.000 (aprox. 10 días)	8	8

**Tabla E3: Escalones de carga y periodos mínimos de observación para Pruebas de investigación de anclajes, Método de Prueba 3**

Incrementos de carga % $P_{t0,1k}$ 1) 2) 3)									
Carga de referencia	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3	Escalón 4	Escalón 5	Escalón 6	Escalón 7	Escalón 8	Escalón número
10	20	30	40	50	60	70	80	90	% $P_{t0,1k}$
0	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	Período de observación (minutos)

1) Inicio de la Prueba con la carga de referencia  $P_a=0,1P_{t0,1k}$   
 2)  $P_{max} \leq 0,9 P_{t0,1k}$   
 3) Ejemplo para 8 escalones

**Tabla E4: Escalones de carga y períodos mínimos de observación para Pruebas de conformidad de anclajes, Método de Prueba 3**

Incrementos de carga % $P_p$ para anclajes de servicio 1) 2)							
Carga de referencia	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3	Escalón 4	Escalón 5	Escalón 6	Escalón número
10	25	40	55	70	85	100	% $P_p$
0	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	Período de observación (minutos)

1) Inicio de la Prueba con la carga de referencia  $P_a=0,1 P_p$   
 2) Ejemplo para 6 escalones

Anexo E



# Anexo F

## Ejemplo de Planillas de Registro

		PLANILLA DE REGISTRO PARA ANCLAJES	Documento			
1) Contrato						
2) Ubicación						
3) Tipo de Anclaje / Dibujo						
4) Anclaje Nº						
	101) Posición de la cabeza XY	a				
	102) Cota de la cabeza Z	m				
	103) Azimut N/E	°				
	104) Inclinación respecto horizontal	°				
	105) Método de perforación					
	106) Diámetro de perforación	mm				
	107) Longitud total	m				
	108) Revestimiento desde/hasta	m				
	109) Sistema de barrido					
	110) Nivel freático	m				
	111) Características del terreno					
	112) Preinyección ( si hay )					
	113) Prueba					
	114)					
	115) Fecha de perforación					
	201) Tipo de tendones					
	202) Nº /Diámetro	/mm				
	203) Área del tendón A <sub>t</sub>	mm <sup>2</sup>				
	204) Resistencia del acero f <sub>pk</sub>	N/mm <sup>2</sup>				
	205) Módulo de Elasticidad E <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>				
	206) Longitud fija L <sub>fixed</sub>	m				
	207) Longitud libre L <sub>free</sub>	m				
	208) Longitud adicional para tensado	m				
	209) Longitud total L	m				
	210) Tipo de protección L <sub>fixed</sub>					
	211) Tipo de protección L <sub>free</sub>					
	212) Separadores L <sub>fixed</sub>					
	213) Separadores L <sub>free</sub>					
	214) Tubos de inyección					
	215)					
	216)					
	301) Tipo de cemento					
	302) Aditivos					
	303) Relación A/C					
	304) Consumo de cemento	kg				
	305) Presión de inyección	Mpa				
Notas:						
Operadores:						

Anexo F



## Anexo G

### Bases de Diseño de anclajes postensados

#### G.1 Generalidades

En este anexo se tratan temas de diseño para anclajes y estructuras ancladas, buscando fijar bases conceptuales que guíen el proyecto de los mismos tanto para los estados de carga habituales como para el caso de carga sísmica. Se hace hincapié en todos los puntos que deben verificarse para diseñar correctamente una estructura anclada. El contenido de este anexo se orienta en particular al diseño de estructuras de contención de suelos. Para otros casos de aplicación se deben considerar válidos los conceptos que rigen el diseño y que se vierten en este anexo.

En general, se consideran válidos tanto los métodos de cálculo que utilicen coeficientes de seguridad globales como parciales. Sin embargo, la norma europea EN 1537 y el Eurocódigo EC7 utilizan coeficientes parciales, siguiendo la tendencia internacional en este sentido, prefiriéndose por lo tanto esta alternativa.

#### G.2 Principios básicos del diseño de estructuras ancladas

##### G.2.1 Mecanismos de falla de sistemas anclados

Un sistema estructural que incluya anclajes postensados puede fallar por varios motivos. A continuación se listan los motivos más relevantes, tomando como ejemplo una estructura típica de muro o pantalla de contención (ver Figura G1).

##### I. Mecanismos de falla por motivo del anclaje (falla interna):

- a. **Falla del tendón:** En este tipo de falla se agota la capacidad resistente del tendón por tracción. Para evitarla debe verificarse la capacidad de carga para el tendón en todos los casos de carga con un factor de seguridad adecuado.
- b. **Falla de la interfase grout-suelo (o lechada-suelo):** En este caso se verifica la capacidad del bulbo de transferir la carga del anclaje al terreno, y es uno de los puntos más críticos en el diseño, ya que es donde más se basa el proyectista o el contratista especializado de la experiencia práctica.
- c. **Falla de la interfase tendón-grout (o tendón-lechada):** Por lo general, no se verifica especialmente para los tipos de tendones de uso habitual: barras corrugadas o con hilo y cables de postensado.
- d. **Falla del suelo por delante del anclaje:** Esta falla se refiere al empuje pasivo necesario delante del anclaje para poder transferir la carga al terreno: sólo se verifica en casos muy extremos. Normalmente no requiere verificarse, si se cumple que la longitud fija o bulbo se inicia a una profundidad mayor que 4,50 m.

##### II. Mecanismos de falla por el muro anclado:

- a. **Falla del muro por flexión y corte:** Los muros anclados están sometidos a flexión, corte y fuerza axial por efecto del empuje del suelo. Deben verificarse las secciones críticas contra estas solicitaciones.
- b. **Falla del muro por ficha insuficiente:** La ficha, o penetración del muro en el terreno por debajo del



nivel de excavación, debe ser lo suficientemente profunda, para evitar la falla por empuje pasivo en el pie. Ésta puede producirse tanto en un estado previo a la colocación de anclajes, girando la cabeza del muro hacia la excavación, como en una fase posterior, ya instalados uno o varios niveles de anclajes. En este caso, el pie del muro gira hacia la excavación.

- c. **Falla del muro por hundimiento:** En caso de cargas axiales verticales elevadas (p.e., por el mismo efecto de anclajes postensados inclinados), se puede asentar el muro si no es posible transferir estas cargas al terreno: debe verificarse esta alternativa en caso de cargas verticales elevadas.

### III. Mecanismos de falla globales (fallas externas):

- a. **Falla por la cuña profunda:** Esta falla envuelve a toda la estructura anclada, incluyendo el muro y los anclajes. Este tipo de falla se produce en superficies de deslizamiento que pasan por los anclajes y tiene dos variantes cinemáticas: en una de ellas se produce una rotación y en la otra una traslación.
- b. **Falla global por rotación de toda la masa de suelo:** Este tipo de falla es conceptualmente idéntica a la falla de un talud o corte en el terreno, incluyendo la estructura anclada dentro de la masa o bloque de suelo que gira.

#### G.2.2 Selección de parámetros para el diseño

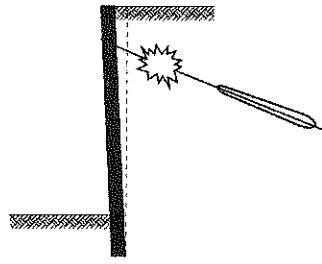
Los parámetros del terreno que influyen en el diseño de estructuras ancladas son:

- a) El peso específico natural y boyante de las diferentes capas de suelos
- b) La resistencia al corte

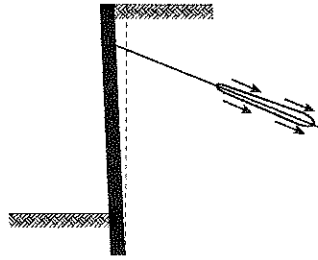
Los parámetros que más afectan al diseño son los que definen la resistencia al corte. En suelos granulares (arenas, gravas) se basa el diseño en los parámetros drenados  $c' = 0$ ,  $\phi'$ . No se recomienda el uso de cohesiones aparentes producto de la capilaridad en suelos granulares.

En arcillas normalmente consolidadas se recomienda la verificación para resistencias de corto plazo con cohesión no drenada  $c_u$ . En cambio, para arcillas preconsolidadas es recomendable utilizar parámetros drenados. En este caso, si el muro o estructura anclada es flexible y por lo tanto susceptible de sufrir deformaciones mayores durante el servicio, se recomienda despreciar o reducir la cohesión  $c'$  correspondiente al suelo cohesivo drenado. (Ejemplo: debería despreciarse o reducirse la cohesión  $c'$  para el caso de suelos cohesivos –arcillas y limos– y estructuras flexibles como un muro berlinés o un tablestacado metálico. Por el contrario, si se utiliza un muro pantalla o de pilotes de gran diámetro, sería aceptable considerar la cohesión  $c'$ .)

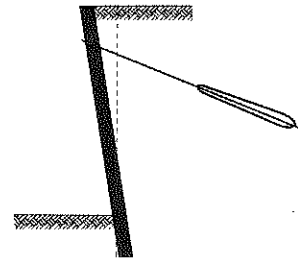
El diseño definitivo se realizará exclusivamente en base a parámetros definidos en los informes geotécnicos, los cuales deberán priorizar la determinación de aquellos en base a ensayos de laboratorio o campo.



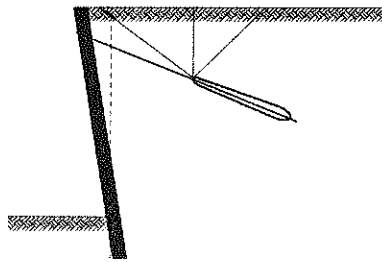
I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



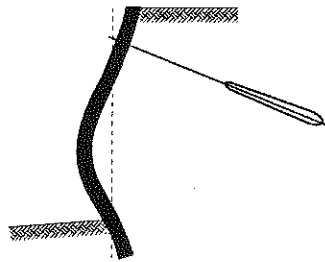
I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO



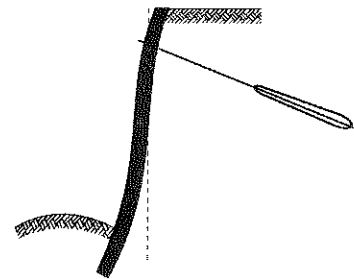
I (c) FALLA DE LA INTERFASE LECHADA - TENDON



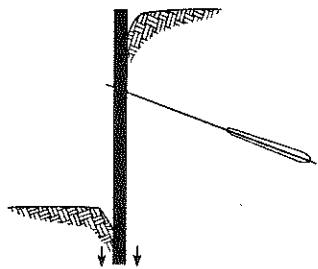
II (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE



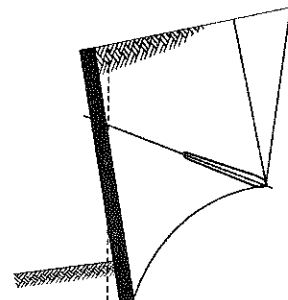
II (a) FALLA DEL MURO POR FLEXION Y CORTE



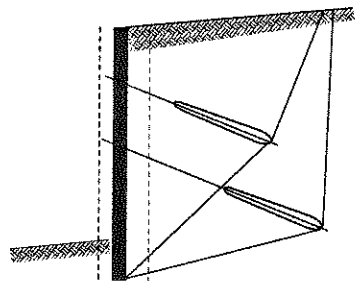
II (b) FALLA DEL MURO POR FICHA INSUFICIENTE



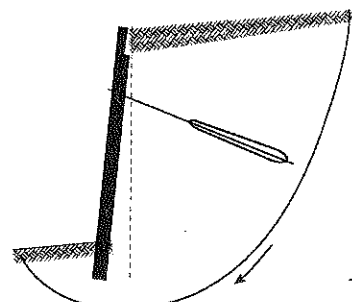
II (c) FALLA DEL MURO POR HUNDIMIENTO



III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (ROTACION)



III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)



III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

Figura G1: Mecanismos de falla para el sistema muro-anclaje

Anexo G

## G.3 Estructuras de contención con anclajes

El uso más importante de los anclajes postensados lo constituye el sostenimiento de muros de contención en excavaciones o cortes en suelos y rocas.

### G.3.1 Tipos de muros o pantallas de contención

Las siguientes tipologías de estructuras de contención con anclajes son las más habituales en la práctica actual:

- a) **Muro pantalla (pared moldeada) con anclajes:** El muro es en este caso una estructura rígida de hormigón armado formada por la construcción sucesiva de paneles verticales, los cuales se ejecutan excavando por medios mecánicos;
- b) **Muro de pilas o pilotes separados, tangentes o secantes con anclajes:** El muro está constituido en este caso por elementos verticales: pilotes o pilas. En el caso de los primeros, se ejecutan por medios mecánicos, son de sección circular y pueden formar muros de pilotes separados (soldier piles), tangentes o secantes. En el caso de las pilas, son elementos de sección rectangular ejecutados mediante excavación manual, que conceptualmente cumplen la misma función que los pilotes;
- c) **Muro berlinés:** Muro constituido por perfiles metálicos hincados y entablonado o shotcrete entre los perfiles;
- d) **Muro o pantalla anclada:** En este caso, el muro se ejecuta normalmente en forma descendente, simultánea con la excavación. Los anclajes se van instalando también en forma descendente con el progreso de la excavación. En este caso, el muro no tiene un apoyo inferior en el terreno mediante el empuje pasivo.

### G.3.2 Empujes de suelos

Un muro anclado se diseña para resistir los empujes de suelo, hidrostáticos y sísmicos, que se desarrollan por detrás del mismo.

Para el diseño de muros de contención anclados se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones para el cálculo de los empujes:

- a) Los empujes activos estáticos podrán calcularse según la teoría de Coulomb que supone superficies de falla planas siempre que se cumplan determinadas condiciones límite para el ángulo de inclinación del muro y del terreno en la superficie (ver por ejemplo [1]: DIN 4085). En general, para terreno horizontal y muro vertical se puede usar la teoría de Coulomb sin restricciones. En el caso excepcional que no se cumplan las condiciones límite, se deberán utilizar teorías de empujes con superficies de falla curvas (espiral logarítmica – ver [3], circulares).
- b) Para el cálculo de los coeficientes de empuje activo se adoptará un ángulo de rozamiento muro-suelo, el cual será consistente con el método de ejecución del muro (ver recomendaciones en [1], [2], [3], [4]).
- c) El empuje por sobrepresión hidrostática producido por la diferencia de nivel entre el agua detrás y delante del muro, se podrá calcular simplíficadamente suponiendo diagramas de carga hidrostáticos sin tener en cuenta el flujo del agua en el terreno. En caso de flujo del agua de la napa hacia la excavación, se podrá tener en cuenta el efecto del mismo sobre los empujes hidrostáticos netos (reduciéndolos). En este caso se deberá evaluar también el efecto de la filtración sobre las presiones efectivas, aumentando el empuje activo y disminuyendo el pasivo.

- d) En caso de cargas en la superficie, se tendrán en cuenta no sólo los empujes que originan sobre el muro para el caso estático, sino el efecto de las mismas para el caso sísmico, agregando la acción del corte basal de dichas cargas. Simplificadamente para una carga distribuida  $q_o$  en la superficie, se adoptará una carga horizontal pseudoestática distribuida  $t_o = k_p \cdot q_o$ . Los empujes originados por las cargas puntuales o distribuidas en la superficie ( $q_o$  para el caso estático,  $q_o$  y  $t_o$  para el caso sísmico) serán determinados según las distribuciones definidas por las teorías respectivas (ver por ejemplo [1] y [3]).
- e) El empuje pasivo podrá calcularse también según la teoría de Coulomb con superficies de falla planas, pero sólo para el caso básico de muro vertical, superficie del terreno horizontal del lado pasivo y ángulo de rozamiento terreno-muro  $\delta_p = 0$ . Dado que este caso en general no se presenta en la práctica por utilizarse ángulos de rozamientos  $\delta_p \neq 0$ , deben calcularse los empujes pasivos en base a teorías que contemplen superficies de falla curvas o compuestas (ver [1], [3]). Es importante destacar que la teoría de Coulomb arroja coeficientes de empuje pasivo del lado inseguro (mayores a los reales) para casos que se apartan del básico citado.
- f) En caso de estructuras vecinas con riesgo de sufrir daños por desplazamientos, se deberán utilizar empujes incrementados del lado activo que varíen entre el activo y el reposo.
- g) La distribución del empuje activo que se usará para el diseño de un muro anclado se ajustará al tipo de deformación que puede sufrir el mismo. Por lo tanto, se recomienda utilizar distribuciones de los diagramas de empujes activos que se adapten a la geometría de disposición de los anclajes y de la cantidad de los mismos. No se debe utilizar la distribución lineal creciente para el empuje activo, que es válida sólo en caso de deformación del muro por giro en el pie. Dicha distribución arrojaría anclajes con cargas menores a las reales. En [1], [2] y [3] se pueden encontrar ejemplos de recomendaciones para la redistribución del empuje activo.
- h) Empujes para el caso sísmico: De acuerdo a las recomendaciones dadas en [3], se sugiere el uso del método pseudoestático de Mononobe-Okabe, tanto para el cálculo del empuje activo sísmico, como del pasivo sísmico. Según este mismo documento, se recomienda adoptar un coeficiente sísmico horizontal  $k_h = 1/2$  a  $2/3$  de la aceleración máxima horizontal del terreno dividida por la aceleración de la gravedad. La aceleración vertical se desprecia en general para el diseño de estructuras ancladas.

Según [8], documento que trata directamente casos en Chile, se recomiendan los coeficientes indicados en las siguientes tablas, G1 y G2:

**Tabla G1 - Coeficiente sísmico de fluencia normalizado para el diseño de entibaciones, basado en registros de sismos chilenos**

Suelo de fundación	Coeficiente sísmico de fluencia normalizado $C_w / a_0$ (2)	
	Entibación con desplazamiento restringido $\Delta_s = 1$ cm	Entibación con desplazamiento moderado $\Delta_s = 5$ cm
Roca (1)	0,55	0,40
Gravas densas	0,67 ± 0,03	0,50 ± 0,05
Arenas densas y suelo fino con $q_u > 1,5$ kg/cm <sup>2</sup>	0,75 ± 0,03	0,55 ± 0,05
Resto de los suelos, exceptuando suelos finos con $q_u < 0,5$ kg/cm <sup>2</sup>	0,80 ± 0,03	0,60 ± 0,05

(1) Se considera roca si se ubica a menos de 10 m bajo el sello de la excavación entibada.  
(2)  
• Los valores de  $C_w / a_0$  entregados en la tabla corresponden al máximo obtenido en el rango  $a_0 = 0,2g$  a  $0,4g$ .  
• La variación ± representa el rango obtenido con las ecuaciones de Richards y Elms, y de Whitman y Liao, recomendándose utilizar el límite inferior cuando se dispone de buenas determinaciones de los parámetros resistentes del suelo, y el límite superior en caso contrario.  
• Si se desea obtener más precisión en la evaluación de  $C_w / a_0$ , se deben utilizar directamente las ecuaciones ya mencionadas.

La Tabla G2 muestra a su vez los valores de aceleración máxima esperada de campo libre, considerada para el caso de la grava de Santiago. Dichas aceleraciones podrían considerarse un tanto conservadoras, ya que los registros de los terremotos de 1965 y 1971 exhibieron aceleraciones máximas que no superaron 0,20 g.

En relación a la distribución de los empujes activo y pasivo sísmico calculados, [3] propone hacerlo de manera uniforme. También se aceptará redistribuir los empujes activos sísmicos totales como se indica en g).

**Tabla G2 – Aceleración máxima esperada de campo libre y Coeficiente sísmico de fluencia normalizado para el diseño de entibaciones-socalzados en la grava de Santiago**

Naturaleza de la entibación	Aceleración máxima de campo libre, $a_0$	Coeficiente sísmico de fluencia, $C_w$	
		Ds = 1 cm	Ds = 5 cm
Temporal	0,20 g	0,13 g	0,09 g
Permanente	0,40 g	0,26 g	0,18 g

- i) En caso de existir suelos potencialmente licuables y de no remediarse esto mediante un mejoramiento, se considerarán los empujes en la zona que los comprende como si fuera un fluido con el peso específico correspondiente al suelo saturado. No se debe proyectar el bulbo de los anclajes en la zona de suelo licuable.

### G.3.3 Cálculo de las cargas en los anclajes

Una vez calculados los empujes redistribuidos a adoptar de lados activo y pasivo, se modela la estructura de contención generalmente como una estructura lineal (de barras). Se pueden adoptar métodos simplificados basados en áreas tributarias (ver [3]) o métodos más elaborados considerando un análisis del muro como elemento lineal solicitado a flexión y modelando la reacción en el pie para las diferentes condiciones de borde elegidas.

En la Figura G2 se muestra un modelo que corresponde a la condición de pie libre o articulado. En este caso se modela el apoyo inferior del muro con un apoyo del tipo articulado ficticio, capaz de tomar corte, pero no flexión. Se calcula el muro para una ficha (o profundidad de enterramiento)  $t$  variable. Se itera aumentando la ficha  $t$  hasta que se obtiene una carga en el apoyo ficticio  $Q = 0$ . En ese instante, se tiene un sistema equilibrado horizontalmente y sin reacción en el apoyo ficticio, lo que se corresponde con la realidad. En el pie del muro se obtiene un giro  $\phi > 0$ , por lo que esta condición cinemática se denomina de "pie articulado". El modelo estructural planteado permitirá calcular las cargas de los anclajes como resultado de las reacciones en los apoyos que los modelan.

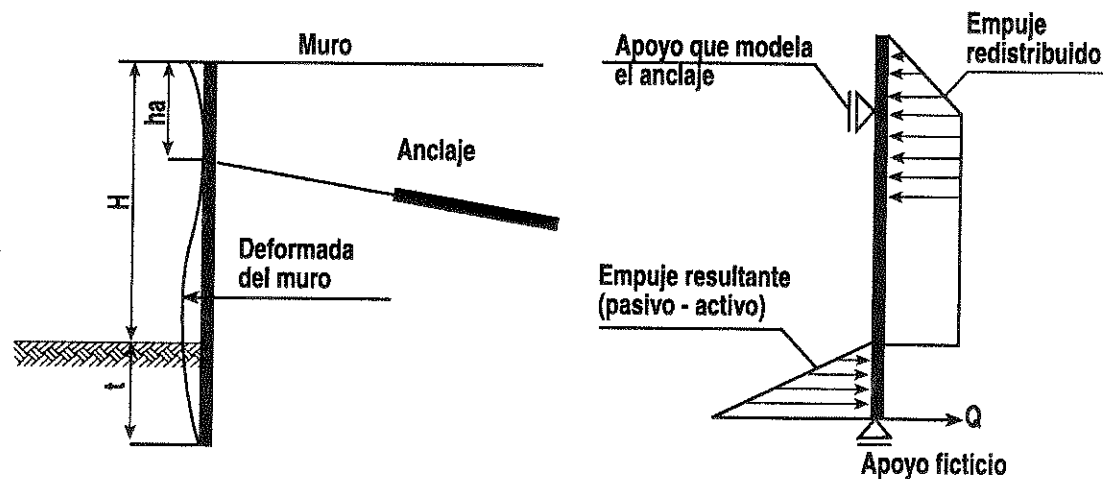


Figura G.2: Modelación de muros para el cálculo de cargas en los anclajes

Un método análogo se utiliza para la condición de "pie empotrado". En este caso se emplea un apoyo ficticio consistente en un empotramiento. La iteración se realiza aumentando la profundidad  $t$  hasta obtener un momento nulo en el apoyo ficticio. Sin embargo, la reacción horizontal en dicho apoyo no es nula, ya que se corresponde con el empuje pasivo que se entrega al muro por detrás del mismo para este caso (ver [4]: método de Blum).

Serán aceptables también métodos de diseño basados en procedimientos computacionales por elementos finitos que permitan obtener las deformaciones en el sistema además de las cargas.

### G.3.4 Cálculo y dimensionamiento de la estructura de contención

Una vez calculado el sistema anterior, se obtienen como resultado las deformaciones en el muro y las cargas en los anclajes y las sollicitaciones por flexión y corte en el muro. Además debe verificarse el equilibrio vertical de toda estructura anclada. Esto es necesario, ya que puede suceder que al verificar el equilibrio vertical se obtenga que la fuerza resultante está orientada hacia arriba, lo que es imposible. Esto significa que las hipótesis adoptadas para los ángulos de rozamiento muro-terreno son incorrectas.

Según [2], es necesario verificar que la carga vertical resultante hacia abajo que actúa sobre el muro es superior a la componente vertical del empuje pasivo (dirigida hacia arriba) con un factor de seguridad  $\geq 1,50$ . En caso de no cumplirse esta condición, se debe reducir el ángulo de rozamiento positivo entre terreno y muro del lado activo, lo cual conduce a considerar empujes activos mayores a los iniciales.

Otra variante es, según [4], reducir el valor absoluto del ángulo negativo del empuje pasivo, para poder verificar el equilibrio vertical. Esta variante reduce el empuje pasivo. De lo anterior surge que la no verificación del equilibrio vertical esconde hipótesis irreales sobre los empujes actuantes.

La verificación a flexión y corte de los distintos elementos que pueden componer un muro de contención (pilotes, pantallas, perfiles metálicos, tablestacados, etc.) se realizará en base a las normas de diseño correspondientes a cada elemento (p.e., Eurocódigos EC2, EC3 y EC4).

Para el dimensionado de los anclajes, una vez determinadas las cargas actuantes en los mismos según 3.3, se deben realizar las diferentes verificaciones de acuerdo a lo detallado en el punto D.4 del Anexo D a la norma EN1537:

- a) Verificación de la resistencia interna: o sea, dimensionado de la sección resistente para el tendón;
- b) Verificación de la resistencia externa: o sea, dimensionado de la longitud necesaria para el bulbo inyectado o longitud fija. Como se indica en D.4 de la EN1537, esto se realizará en base a las pruebas de investigación o aptitud, o de experiencias en suelos similares;
- c) Determinación de la carga de bloqueo: ésta se define de forma que sea posible mantener la carga del anclaje siempre por debajo del límite indicado en el punto D.4 durante la vida útil de la estructura:  
 $P \leq 0.65 P_{rk}$

La determinación de la longitud libre necesaria es una de las partes claves del diseño de anclajes postensados y se trata en el próximo punto.

### G.3.5 Verificación de la estabilidad global del sistema muro-anclaje

Esta fase de diseño es tal vez la parte más importante y la que separa el éxito del fracaso de un sistema anclado. Mediante los procedimientos que se describen a continuación, es posible definir la longitud libre necesaria (y consecuentemente la longitud total) de un anclaje.

El concepto fundamental a tener en cuenta para comprender esta parte del diseño es que los anclajes no sólo deben ser capaces de tomar una carga  $P$ , sino que además la deben transferir a una zona del terreno lo suficientemente alejada de la cabeza del anclaje, para garantizar que la estructura anclada sea estable.

Hasta el momento, se han descrito los métodos de cálculo que permiten verificar que no se produzcan las fallas citadas en el punto 2.1, I y 2.1, II. La verificación de los tipos de falla globales citados en 2.1.III es lo que se trata en este punto, y permite comprobar que el sistema anclado posee un factor de seguridad apropiado contra las fallas III a) y II b).

Para verificar la seguridad a la falla III a), un método comúnmente utilizado es el de Kranz o de la cuña profunda (ver Figura G3). Este método inicialmente se desarrolló para suelos no cohesivos y considerando un nivel de anclajes, pero es posible de aplicar en pantallas con varios niveles de anclajes y suelos cohesivos, siempre y cuando presenten un mecanismo de falla III a).

Existen además métodos simplificados para la determinación de la superficie de falla y la longitud libre mínima de los anclajes, tales como los mostrados en la Figura G.4. Hay que tomar en cuenta que estos métodos presentan algunas restricciones con respecto al tipo de suelo y no contemplan situaciones de varias capas de suelo, presencia de napa, cargas elevadas en superficie, etc.

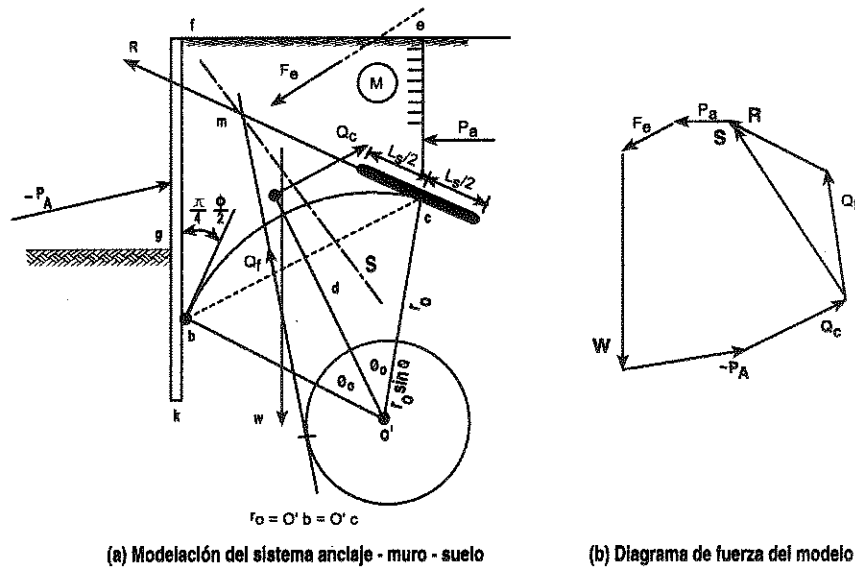


Figura G3: Método de Kranz (de [6])

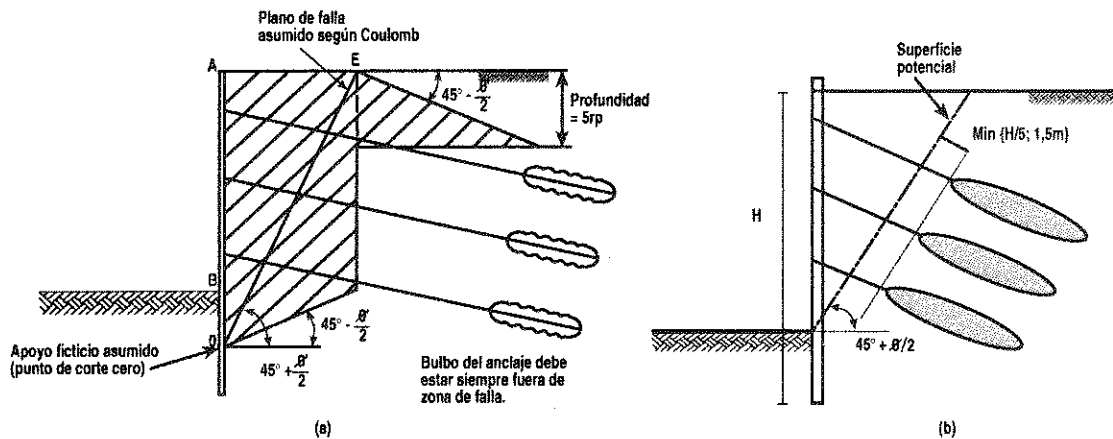


Figura G4: Algunos métodos simplificados para la determinación de la superficie de falla -  
 (a) Método explicado en [7] - (b) Método explicado en [3]

En suelos cohesivos o de otro tipo que además puedan presentar mecanismos de falla distintos al tipo III a) y en estructuras que lo ameriten (paredes escalonadas, muros en laderas, etc.) será necesario verificar el sistema para la falla tipo III b), lo que es posible utilizando métodos de superficies de deslizamiento no planas, circulares u otro tipo de superficies (Bishop, Fellenius y Bishop, Bishop y Morgenstern, Janbu, etc.).

Para el caso sísmico deben considerarse las acciones producto del sismo sobre las masas de suelo intervinientes. Esto se puede hacer en base a fuerzas pseudoestáticas afectando las masas por el coeficiente sísmico horizontal  $k_h$ . El coeficiente  $k_v$  vertical habitualmente, puede despreciarse.



#### G.4 Bibliografía

- [1] *DIN 4085: Cálculo de empujes de suelo*
- [2] *EAB: Recomendaciones del Grupo de Trabajo "Contención de Excavaciones", de la Sociedad Alemana de Suelos y Fundaciones. 1988*
- [3] *Geotechnical Engineering Circular No. 4: Ground Anchors and Anchored Systems. Publication No. FHWA-IF-99-015 – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – June 1999*
- [4] *EAU 1990: Recomendaciones del Grupo de Trabajo "Estructuras de Contención de Ribera", de la Sociedad Alemana de Suelos y Fundaciones. 1990*
- [5] *Kranz: Über die Verankerung von Spundwänden. (El anclaje de tablestacados). Berlín, Ernst & Sohn, 1953, 2. Aufl.*
- [6] *Tirants d'ancrage: Recommendations concernant la conception, le calcul et le contrôle TA-95.*
- [7] *British Standards BS-8081:1989, "Code of practice for ground anchorages".*
- [8] *Pedro Ortigosa, IDIEM – Universidad de Chile; Entibaciones en Grava, Seminario Internacional "Pasado Presente y Futuro de la Geotécnica", Lima Marzo 2001.*

## VSL SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION S.A.



SISTEMAS POSTENSADOS  
SISTEMAS DE BARRAS  
ANCLAJES EN SUELOS  
MUROS DE TIERRA RETENIDA  
INGENIERIA DE PUENTES  
APOYOS Y JUNTAS  
IZADO DE CARGAS PESADAS  
REPARACIONES  
PROYECTOS ESPECIALES

[www.vsl-intl.com](http://www.vsl-intl.com)

Josué Smith Solar 434 • Providencia • Santiago  
Fono: 56 - 2 - 233 10 81 • Fax: 56 - 2 - 233 67 39  
e mail: [infovsl@vslchile.cl](mailto:infovsl@vslchile.cl)



### SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA CHILEAN GEOTECHNICAL SOCIETY

*La SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA (SOCHIGE), agradece a la Corporación de Desarrollo Tecnológico, dependiente de la Cámara Chilena de la Construcción, el haber sido invitado a contribuir en la preparación de las*

*"Recomendaciones para el Diseño, Ejecución y Control de Anclajes Inyectados y Postensados en Suelos y Rocas".*

*La participación de la SOCHIGE se enmarca en sus objetivos tendientes a difundir esta especialidad de la Ingeniería Civil en el país, e invita a la comunidad relacionada a hacer uso de este importante documento técnico y a integrarse a las actividades que desarrolla la Sociedad.*

SAN MARTÍN 352 • SANTIAGO - CHILE • TELÉFONOS: 698 4028 - 696 8647 FAX: 2041217

Edición:  
LUIS EBENSBERGER M.  
Corporación de Desarrollo Tecnológico

Diseño y Producción:  
DISEÑO TRES LTDA.

Imprenta:  
Asociados Undurraga Impresores Ltda.

An aerial photograph of a construction site. A large, irregularly shaped area in the center is filled with a thick, light-colored material, likely concrete or a similar aggregate, which is being poured or spread. The surrounding area is a mix of brown and tan earth, with some darker patches. In the bottom right corner, a portion of a road or track with a white dashed line is visible. The overall scene is a high-angle, wide-area view of a major construction project.

Una Publicación

**CDL**®

**CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLOGICO**  
Cámara Chilena de la Construcción