

# EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA  
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1997-2  
Marzo 2001



## EUROCÓDIGO 7

### PROYECTO GEOTÉCNICO

#### PARTE 2: PROYECTO ASISTIDO POR ENSAYOS DE LABORATORIO

**AENOR**

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

**7**

Parte 2



## **PREÁMBULO**

Esta Norma UNE-ENV 1997-2 "*Proyecto asistido por ensayos de laboratorio*". Experimental, complementa a la Norma UNE-ENV 1997-1: "*Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales*" también Experimental, y constituye la parte dos del Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico.

Se incluyen en esta Norma un conjunto de especificaciones para cada uno de los métodos de ensayo de laboratorio más frecuentemente utilizados para el diseño geotécnico, así como para una serie de Anexos informativos relativos a procedimientos de ensayos, informes, interpretaciones, etc.

La traducción de esta Norma Experimental, desde la versión original en inglés a su texto en español, ha sido realizada por el Subcomité 7, del Comité Técnico de Normalización 140 "Eurocódigos Estructurales" de AENOR.

El conjunto de Normas UNE-ENV relativas a Eurocódigos Estructurales, conforman un grupo de Normas Experimentales de aplicación voluntaria, que están llamadas a constituir el punto de partida de futuras normas europeas que contribuirán a la libre circulación de personas y productos de construcción en el ámbito de la Unión Europea, y serán susceptibles de servir de base para la elaboración de reglamentaciones técnicas sobre la materia.

**Andrés Doñate Megías**

Subdirector General de Normativa y  
Estudios Técnicos y Análisis Económico

*Secretaría General Técnica*

MINISTERIO DE FOMENTO



# norma española experimental

UNE-ENV 1997-2

Marzo 2001

## TÍTULO

**EUROCÓDIGO 7: Proyecto geotécnico**

**Parte 2: Proyecto asistido por ensayos de laboratorio**

*Eurocode 7: Geotechnical design. Part 2: Design assisted by laboratory testing.*

*Eurocode 7: Calcul géotechnique. Partie 2: Calcul sur la base d'essais de laboratoire.*

## CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1997-2 de abril 1999.

## OBSERVACIONES

## ANTECEDENTES

Esta norma experimental ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos Estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 8472:2001

© AENOR 2001  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

107 Páginas

**Grupo 670**



ICS 91.060.00; 91.120.20

Versión en español

**EUROCÓDIGO 7: Proyecto geotécnico**  
**Parte 2: Proyecto asistido por ensayos de laboratorio**

**Eurocode 7: Geotechnical design.**  
**Part 2: Design assisted by laboratory testing.**

**Eurocode 7: Calcul géotechnique.**  
**Partie 2: Calcul sur la base d'essais de laboratoire.**

**Eurocode 7: Entwurf Berechnung und Bemessung in der Geotechnik.**  
**Teil 2: Laborversuche für die geotechnische Bemessung.**

Esta norma europea experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1997-08-30 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la norma ENV en norma europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una norma EN y hacer que esta norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la norma ENV en norma EN.

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

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

© 1999 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.





## ÍNDICE

	Página
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>15</b>
<b>1 GENERALIDADES.....</b>	<b>18</b>
1.1 Objeto y campo de aplicación .....	18
1.1.1 Objeto y campo de aplicación del Eurocódigo 7 .....	18
1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea Experimental ENV 1997-2.....	18
1.2 Referencias .....	19
1.3 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación.....	19
1.4 Definiciones.....	19
1.4.1 Términos comunes a todos los Eurocódigos .....	19
1.4.2 Términos comunes al Eurocódigo 7 .....	19
1.5 Símbolos y unidades.....	20
1.5.1 Símbolos comunes a todos los Eurocódigos .....	20
1.5.2 Símbolos utilizados en el Eurocódigo 7 .....	21
1.5.3 Unidades .....	21
1.6 La conexión entre las Normas Europeas Experimentales ENV 1997-1 y ENV 1997-2.....	21
<b>2 REQUISITOS PARA TODOS LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>22</b>
2.1 Requisitos generales.....	22
2.2 Programa de ensayos.....	22
2.3 Calidad de las muestras de suelos.....	23
2.4 Equipo, procedimientos y presentación .....	23
2.5 Evaluación de los resultados de ensayo.....	24
2.6 Aseguramiento de calidad y control de calidad.....	24
<b>3 CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ENSAYOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Objetivo .....	25
3.2 Requisitos.....	25
3.2.1 Instrumentos de medida .....	25
3.2.2 Aparatos de ensayos.....	25
3.2.3 Funcionamiento defectuoso del equipo .....	25
3.2.4 Ambiente.....	25
<b>4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS PARA ENSAYOS.....</b>	<b>26</b>
4.1 Objetivo .....	26
4.2 Requisitos.....	26
4.2.1 Cantidad de suelo.....	26
4.2.2 Manipulación y procesado .....	26
<b>5 ENSAYOS PARA CLASIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SUELOS .....</b>	<b>27</b>
5.1 Generalidades.....	27
5.2 Requisitos para todos los ensayos de clasificación .....	27

5.3	Contenido de humedad .....	27
5.3.1	Objetivo.....	27
5.3.2	Requisitos.....	27
5.3.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	27
5.4	Densidad aparente.....	28
5.4.1	Objetivo.....	28
5.4.2	Requisitos.....	28
5.4.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	28
5.5	Peso específico de las Partículas.....	28
5.5.1	Objetivo.....	28
5.5.2	Requisitos.....	28
5.5.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	28
5.6	Análisis granulométrico.....	28
5.6.1	Objetivo.....	28
5.6.2	Requisitos.....	29
5.6.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	29
5.7	Límites de consistencia .....	29
5.7.1	Objetivo.....	29
5.7.2	Requisitos.....	29
5.8	Ensayo de índice de densidad para suelos granulares .....	29
5.8.1	Objetivo.....	29
5.8.2	Requisitos.....	30
5.8.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	30
5.9	Dispersibilidad de los suelos.....	30
5.9.1	Objetivo.....	30
5.9.2	Requisitos.....	30
5.10	Susceptibilidad a la helada .....	31
5.10.1	Objetivo.....	31
5.10.2	Requisitos.....	31
5.11	Evaluación de resultados de ensayos .....	31
6	ENSAYOS QUÍMICOS DE SUELOS Y AGUA FREÁTICA .....	32
6.1	Requisitos para todos los ensayos químicos .....	32
6.1.1	Objeto y campo de aplicación .....	32
6.1.2	Objetivo.....	32
6.1.3	Requisitos.....	32
6.1.4	Evaluación de los resultados de ensayos .....	32
6.2	Contenido de materia orgánica.....	33
6.2.1	Objetivo.....	33
6.2.2	Requisitos.....	33
6.2.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	33
6.3	Contenido de carbonatos.....	33
6.3.1	Objetivo.....	33
6.3.2	Requisitos.....	33
6.3.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	34

6.4	Contenido de sulfatos.....	34
6.4.1	Objetivo.....	34
6.4.2	Requisitos.....	34
6.4.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	34
6.5	Valor del pH (acidez y alcalinidad) .....	34
6.5.1	Objetivo.....	34
6.5.2	Requisitos.....	34
6.5.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	35
6.6	Contenido de cloruros.....	35
6.6.1	Objetivo.....	35
6.6.2	Requisitos.....	35
6.6.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	35
7	ENSAYOS DE COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS.....	36
7.1	Objetivo.....	36
7.2	Requisitos.....	36
7.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	37
8	ENSAYO DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS.....	38
8.1	Objetivo.....	38
8.2	Requisitos.....	38
8.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	38
9	ENSAYOS DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS .....	39
9.1	Objetivo y campo de aplicación .....	39
9.2	Requisitos.....	39
9.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	40
9.4	Ensayo de compresión triaxial consolidada .....	41
9.4.1	Requisitos.....	41
9.4.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	41
9.5	Ensayos de corte directo consolidados en caja de corte cuadrada o circular .....	41
10	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS .....	42
10.1	Objeto y campo de aplicación .....	42
10.2	Ensayos de compactación .....	42
10.2.1	Objetivo.....	42
10.2.2	Requisitos.....	42
10.2.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	42
10.3	Ensayo “California Bearing Ratio” (CBR).....	42
10.3.1	Objetivo.....	42
10.3.2	Requisitos.....	43
10.3.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	43
11	ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS .....	44
11.1	Objetivo.....	44
11.2	Requisitos.....	44
11.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	45

<b>12</b>	<b>PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE MATERIAL ROCOSO.....</b>	<b>46</b>
12.1.1	Objetivo.....	46
12.2	Requisitos.....	46
12.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	47
<b>13</b>	<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO.....</b>	<b>48</b>
13.1	Generalidades .....	48
13.1.1	Objetivo.....	48
13.1.2	Requisitos.....	48
13.2	Identificación y descripción de la roca .....	48
13.2.1	Objetivo.....	48
13.2.2	Requisitos.....	48
13.3	Contenido de agua.....	49
13.3.1	Objetivo.....	49
13.3.2	Requisitos.....	49
13.3.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	49
13.4	Densidad y porosidad.....	49
13.4.1	Objetivo.....	49
13.4.2	Requisitos.....	49
<b>14</b>	<b>ENSAYOS DE HINCHAMIENTO DE MATERIAL ROCOSO.....</b>	<b>50</b>
14.1	Generalidades.....	50
14.1.1	Objetivo.....	50
14.1.2	Requisitos.....	50
14.1.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	50
14.2	Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen.....	51
14.2.1	Objetivo.....	51
14.2.2	Requisitos.....	51
14.3	Índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial.....	51
14.4	Deformación por hinchamiento desarrollada en una muestra de roca sin confinar .....	51
<b>15</b>	<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL MATERIAL ROCOSO .....</b>	<b>52</b>
15.1	Generalidades.....	52
15.1.1	Objeto y campo de aplicación .....	52
15.1.2	Requisitos.....	52
15.1.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	52
15.2	Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad.....	52
15.2.1	Objetivo.....	52
15.2.2	Requisitos.....	52
15.2.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	53
15.3	Ensayo de carga puntual .....	53
15.3.1	Objetivo.....	53
15.3.2	Requisitos.....	53
15.3.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	53

15.4	Ensayo de corte directo.....	53
15.4.1	Objetivo.....	53
15.4.2	Requisitos.....	53
15.4.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	53
15.5	Ensayo brasileño .....	54
15.5.1	Objetivo.....	54
15.5.2	Requisitos.....	54
15.5.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	54
15.6	Ensayo de compresión triaxial .....	54
15.6.1	Objetivo.....	54
15.6.2	Requisitos.....	54
15.6.3	Evaluación de los resultados de ensayos .....	54
<b>ANEXO A (Informativo) INFORMACIÓN DETALLADA SOBRE MÉTODOS Y ENSAYOS .....</b>		<b>55</b>
A.1	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>55</b>
A.1.1	Objeto y Campo de Aplicación .....	55
A.1.2	Abreviaturas y símbolos .....	56
A.2	<b>REQUISITOS PARA TODOS LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>57</b>
A.2.1	Requisitos generales.....	57
A.2.2	Programa de ensayos .....	57
A.2.3	Calidad de las muestras de suelos.....	57
A.2.3.1	Ensayos de clasificación.....	57
A.2.3.2	Especificaciones de ensayo .....	59
A.2.3.3	Número de ensayos.....	59
A.2.4	Evaluación de los resultados de ensayos .....	59
A.3	<b>CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO .....</b>	<b>59</b>
A.3.1	Generalidades .....	59
A.3.2	Calibración de instrumentos de medida.....	60
A.3.3	Calibración y comprobación del equipo de ensayo .....	62
A.3.4	Calibración en el propio laboratorio .....	63
A.4	<b>PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO PARA ENSAYOS.....</b>	<b>64</b>
A.4.1	Procedimiento.....	64
A.4.2	Preparación de suelo alterado para ensayos.....	64
A.4.2.1	Secado del suelo .....	64
A.4.2.2	Desagregación.....	65
A.4.2.3	Subdivisión.....	65
A.4.2.4	Masa de suelo alterado para ensayo .....	65
A.4.2.5	Preparación del suelo para compactación.....	65
A.4.3	Preparación de muestras inalteradas .....	65
A.4.4	Preparación de muestras recompactadas.....	68
A.4.4.1	Requisitos generales .....	68
A.4.4.2	Muestra recompactada mayor que la muestra de ensayo .....	69

A.4.4.3	Recompactación de la muestra de ensayo .....	69
A.4.4.4	Resaturación .....	70
A.4.4.5	Muestra de ensayo remoldeada.....	70
A.4.5	Preparación de muestras reconstituidas .....	70
A.4.5.1	Preparación de lodo .....	70
A.4.5.2	Consolidación .....	70
A.4.5.3	Preparación de la muestra.....	70
A.5	ENSAYOS PARA CLASIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SUELOS .....	70
A.5.1	Generalidades .....	70
A.5.2	Listas de comprobación para ensayos de clasificación .....	71
A.5.3	Humedad natural .....	73
A.5.3.1	Procedimientos de ensayo.....	73
A.5.3.2	Evaluación de resultados de ensayos .....	73
A.5.4	Densidad aparente.....	73
A.5.4.1	Procedimientos de ensayo.....	73
A.5.4.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	73
A.5.5	Peso específico .....	74
A.5.6	Análisis granulométrico.....	74
A.5.7	Límites de consistencia .....	74
A.5.8	Ensayo de índice de densidad para suelos granulares .....	74
A.5.9	Dispersibilidad del suelo .....	75
A.5.9.1	Generalidades .....	75
A.5.9.2	Procedimientos de ensayo para todos los ensayos .....	75
A.5.9.3	Ensayo de tubificación (pinhole).....	75
A.5.9.4	Ensayo de doble densímetro.....	76
A.5.9.5	Ensayo de desmoronamiento de terrones.....	76
A.5.9.6	Sodio y sales disueltas en extracto acuoso .....	76
A.5.10	Susceptibilidad a la helada .....	76
A.5.10.1	Procedimientos del ensayo.....	76
A.5.10.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	76
A.6	ENSAYOS QUÍMICOS DE SUELOS Y AGUA FREÁTICA .....	77
A.6.1	Generalidades .....	77
A.6.1.1	Procedimientos de ensayo.....	77
A.6.1.2	Número de ensayos.....	77
A.6.2	Contenido de materia orgánica.....	77
A.6.2.1	Procedimientos de ensayo.....	77
A.6.2.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	78
A.6.3	Contenido de carbonatos.....	78
A.6.3.1	Procedimientos de ensayo.....	78
A.6.3.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	78
A.6.4	Contenido de sulfatos.....	79
A.6.4.1	Procedimientos de ensayo.....	79
A.6.4.2	Evaluación de los resultados de ensayos .....	79

<b>A.6.5</b>	<b>Valor de pH (acidez y alcalinidad).....</b>	<b>79</b>
<b>A.6.5.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>79</b>
<b>A.6.5.2</b>	<b>Evaluación de los resultados de ensayos .....</b>	<b>79</b>
<b>A.6.6</b>	<b>Contenido de cloruros.....</b>	<b>80</b>
<b>A.6.6.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>80</b>
<b>A.6.6.1</b>	<b>Evaluación de los resultados de ensayos .....</b>	<b>80</b>
<b>A.7</b>	<b>ENSAYO DE COMPRESIBILIDAD DE SUELOS.....</b>	<b>80</b>
<b>A.7.1</b>	<b>Procedimientos de ensayos .....</b>	<b>80</b>
<b>A.7.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>80</b>
<b>A.7.3</b>	<b>Evaluación de características de compresibilidad.....</b>	<b>81</b>
<b>A.8</b>	<b>ENSAYO DE ÍNDICE DE RESISTENCIA DE SUELOS .....</b>	<b>81</b>
<b>A.9</b>	<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA DE SUELOS .....</b>	<b>83</b>
<b>A.9.1</b>	<b>Ensayo de compresión triaxial consolidado .....</b>	<b>83</b>
<b>A.9.1.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>83</b>
<b>A.9.1.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>83</b>
<b>A.9.1.3</b>	<b>Evaluación de los resultados de ensayos .....</b>	<b>83</b>
<b>A.9.2</b>	<b>Ensayos de corte directo consolidados en caja de corte cuadrada o circular .....</b>	<b>84</b>
<b>A.9.2.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>84</b>
<b>A.9.2.2</b>	<b>Planificación del programa de ensayos .....</b>	<b>84</b>
<b>A.9.2.3</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>84</b>
<b>A.10</b>	<b>ENSAYOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS .....</b>	<b>85</b>
<b>A.10.1</b>	<b>Procedimientos de ensayos aplicables a ambos tipos de ensayos .....</b>	<b>85</b>
<b>A.10.2</b>	<b>Requisitos específicos para ensayos de compactación.....</b>	<b>85</b>
<b>A.10.3</b>	<b>Requisitos específicos al ensayo de California Bearing Ratio (CBR) .....</b>	<b>86</b>
<b>A.11</b>	<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS .....</b>	<b>86</b>
<b>A.11.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>86</b>
<b>A.11.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>86</b>
<b>A.11.3</b>	<b>Evaluación de los resultados del ensayo.....</b>	<b>87</b>
<b>A.12</b>	<b>PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS SOBRE MATERIAL ROCOSO .....</b>	<b>87</b>
<b>A.13</b>	<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO.....</b>	<b>88</b>
<b>A.13.1</b>	<b>Generalidades .....</b>	<b>88</b>
<b>A.13.2</b>	<b>Identificación y descripción de rocas.....</b>	<b>88</b>
<b>A.13.3</b>	<b>Contenido de agua.....</b>	<b>88</b>
<b>A.13.3.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>88</b>
<b>A.13.3.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>89</b>
<b>A.13.4</b>	<b>Densidad y Porosidad .....</b>	<b>89</b>
<b>A.13.4.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>89</b>
<b>A.13.4.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>89</b>

<b>A.14</b>	<b>ENSAYO DE HINCHAMIENTO DEL MATERIAL ROCOSO .....</b>	<b>89</b>
<b>A.14.1</b>	<b>Generalidades .....</b>	<b>89</b>
<b>A.14.2</b>	<b>Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen.....</b>	<b>89</b>
<b>A.14.3</b>	<b>Índice de deformación por hinchamiento para muestras confinadas radialmente con sobrecarga axial.....</b>	<b>89</b>
<b>A.14.4</b>	<b>Deformación por hinchamiento desarrollada en una muestra de roca sin confinar .....</b>	<b>90</b>
<b>A.15</b>	<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA DE MATERIAL ROCOSO.....</b>	<b>90</b>
<b>A.15.1</b>	<b>Generalidades .....</b>	<b>90</b>
<b>A.15.2</b>	<b>Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad.....</b>	<b>90</b>
<b>A.15.2.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>90</b>
<b>A.15.2.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>91</b>
<b>A.15.3</b>	<b>Ensayo de carga puntual .....</b>	<b>92</b>
<b>A.15.3.1</b>	<b>Procedimiento de ensayo .....</b>	<b>92</b>
<b>A.15.3.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>92</b>
<b>A.15.4</b>	<b>Ensayo de corte directo.....</b>	<b>92</b>
<b>A.15.4.1</b>	<b>Procedimiento de ensayo .....</b>	<b>92</b>
<b>A.15.4.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>93</b>
<b>A.15.5</b>	<b>Ensayo brasileño .....</b>	<b>93</b>
<b>A.15.5.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>93</b>
<b>A.15.5.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>93</b>
<b>A.15.6</b>	<b>Ensayo de compresión triaxial .....</b>	<b>94</b>
<b>A.15.6.1</b>	<b>Procedimientos de ensayo.....</b>	<b>94</b>
<b>A.15.6.2</b>	<b>Número de ensayos.....</b>	<b>94</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>



## **ANTECEDENTES**

### **Objetivos de los Eurocódigos**

- (1) Los Eurocódigos estructurales comprenden un grupo de normas sobre el proyecto estructural y geotécnico de edificaciones y obras de ingeniería civil.
- (2) Su objetivo es servir como documentos de referencia para los propósitos siguientes:
  - a) Como un medio para demostrar la conformidad de los trabajos de edificación y obra civil a los requisitos esenciales de la Directiva de Productos de la Construcción (DPC).
  - b) Como un marco donde desplegar unas especificaciones técnicas armonizadas para los productos de la construcción.
- (3) Los Eurocódigos tratan la ejecución y el control solamente en la extensión necesaria para indicar la calidad de los productos de la construcción y el nivel de la ejecución, necesarios para cumplir con las hipótesis de las normas de proyecto.
- (4) Hasta que se disponga del conjunto de especificaciones técnicas armonizadas para los productos y para los métodos de ensayo de su comportamiento, algunos de los Eurocódigos estructurales tratan estos aspectos en Anexos de carácter informativo.

### **Antecedentes del programa de los Eurocódigos**

- (5) La Comisión de las Comunidades Europeas (CEC) inició el trabajo de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de edificaciones y obra civil que servirían inicialmente como una alternativa a las distintas reglas de aplicación en los diferentes Estados Miembros y que, en último término, las sustituirían. Estas reglas técnicas se conocen con el nombre de "Eurocódigos Estructurales".
- (6) En 1990, después de consultar a sus respectivos Estados Miembros, la CCE transfirió el trabajo de desarrollo posterior, publicación y actualización de los Eurocódigos Estructurales al Comité Europeo de Normalización (CEN), y el Secretariado de la EFTA acordó apoyar el trabajo del CEN.
- (7) El Comité Técnico del CEN, CEN/TC 250, es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

### **Programa de los Eurocódigos**

- (8) Se está trabajando en los siguientes Eurocódigos, cada uno de los cuales comprende normalmente varias partes:

- EN 1991 Eurocódigo 1 Bases de proyecto y acciones sobre las estructuras.
- EN 1992 Eurocódigo 2 Proyecto de estructuras de hormigón.
- EN 1993 Eurocódigo 3 Proyecto de estructuras de acero.
- EN 1994 Eurocódigo 4 Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón.
- EN 1995 Eurocódigo 5 Proyecto de estructuras de madera.
- EN 1996 Eurocódigo 6 Proyecto de estructuras de fábrica.
- EN 1997 Eurocódigo 7 Proyecto Geotécnico.
- EN 1998 Eurocódigo 8 Disposiciones de proyecto para la resistencia sísmica de estructuras.
- EN 1999 Eurocódigo 9 Proyecto de estructuras de aluminio.

- (9) El CEN/TC 250 ha formado distintos sub-comités para los diferentes Eurocódigos mencionados anteriormente.
- (10) Esta Parte 1 del Eurocódigo estructural para el proyecto geotécnico, que se había terminado y aprobado para su publicación bajo la dirección de la CCE, se publica ahora por el CEN como una Norma Europea Experimental (ENV), con una vida inicial de tres años.
- (11) Esta norma experimental tiene como objetivos la aplicación práctica experimental en el proyecto de obras de edificación y de ingeniería civil, dentro del ámbito de aplicación definido en 1.1.2, y el envío de comentarios.
- (12) Pasados dos años aproximadamente, los miembros del CEN serán invitados a remitir comentarios formales que serán tenidos en cuenta en la determinación de actuaciones futuras.
- (13) Mientras tanto, la correspondencia y los comentarios sobre esta norma experimental deben enviarse a la secretaría del Subcomité CEN/TC 250/SC 7, en la siguiente dirección:

NNI  
P.O.Box 5059  
NL-2600 GB Delft  
The Netherlands

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

AENOR  
C/ Génova, 6  
28004 MADRID  
Teléfono: 91-4326000  
Fax: 91-3104596

### **Documento Nacional de Aplicación**

- (14) A la vista de la responsabilidad de las autoridades de los países miembros en temas de seguridad, salud y otros aspectos contemplados como requisitos básicos en la DPC, se ha asignado a ciertos coeficientes de seguridad incluidos en esta ENV unos valores indicativos, identificables mediante corchetes [ ]. Se espera que las autoridades de cada país miembro asignen valores definitivos a dichos coeficientes.
- (15) Algunas de las normativas básicas, incluyendo aquellas que definen los valores de las acciones a ser tenidas en cuenta y las medidas requeridas para la protección contra el fuego, no estarán disponibles en el momento en que esta norma experimental se publique. Por tanto, se anticipa que cada Estado Miembro o su Organismo de Normalización publicará un Documento Nacional de Aplicación (NAD) que dé valores definitivos para los elementos de seguridad, referenciando normativas básicas sobre la aplicación de esta norma experimental. Esta norma experimental debería ser utilizada junto con el Documento Nacional de Aplicación válido en el país donde se vaya a construir la obra de edificación o de ingeniería civil.

### **Materias específicas de esta norma europea experimental**

- (16) Esta norma europea experimental pretende servir como documento de referencia para la utilización de ensayos de laboratorio en el diseño geotécnico. Cubre la ejecución e interpretación de los ensayos de laboratorio utilizados más habitualmente. La norma europea experimental tiene el objetivo de asegurar que se alcanza una calidad adecuada en la ejecución de los ensayos de laboratorio y en su interpretación.

- (17) Dentro del marco de la normalización europea, se estableció el Eurocódigo 7 Parte 1 sobre el diseño de estructuras geotécnicas. El nexo de unión entre los requisitos de diseño en la Parte 1 y los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados de acuerdo con las normas, códigos y otros documentos aceptados se tratan en la Parte 2 “Diseño Geotécnico Asistido por Ensayos de Laboratorio”. El Eurocódigo 7 Parte 2 trata en particular de los requisitos de la Sección 3 en la Parte 1, “Datos Geotécnicos”.
- (18) Las Normas Europeas Experimental ENV 1997-2 y ENV 1997-3 son complementarias.
- (19) No se ha publicado anteriormente ninguna otra norma que cubra con el mismo alcance que el presente documento la utilización de los ensayos de laboratorio para el diseño geotécnico. Algunas normas existentes cubren parte del material descrito en el presente documento. Sin embargo, se han publicado diversas normas nacionales sobre procedimientos de ensayos de laboratorio.
- (20) El CEN/TC 250/SC7 definió el objeto y el campo de aplicación para esta parte del Eurocódigo 7 de la siguiente forma:
- el documento debe representar una norma europea experimental para el comportamiento profesional dentro del campo del diseño asistido por ensayos de laboratorio.
  - los requisitos para la interpretación de los resultados de ensayos deberían incluir los “valores derivados” de los parámetros del suelo y no los valores característicos.
  - el documento debería dar sólo aquellos requisitos que sean esenciales para obtener valores fiables derivados de los parámetros del suelo; los procedimientos de ensayos se deben presentar en otro sitio; este documento es un paso adelante hacia un conjunto de normas global que incluya los procedimientos de ensayo, interpretación y selección de valores característicos.
- (21) Los ensayos de laboratorio como tales no están dentro del objeto y campo de aplicación de esta norma europea experimental. Esta norma europea experimental comprende un texto principal (capítulos 1 a 15) y un anexo informativo (capítulos A.1 a A.15). El texto principal contiene los requisitos y los aspectos para cada método de ensayo de laboratorio. El anexo informativo contiene información que es útil para el trabajo práctico, pero que puede no ser tan generalmente reconocido en los países miembros como los conceptos en el texto principal.
- (22) El capítulo 2 contiene requisitos generales aplicables a todos los ensayos de laboratorio tratados, el capítulo 3 cubre los requisitos de calibración. Los capítulos 4 a 11 cubren los requisitos para ensayos de laboratorio de suelos, el capítulo 4 cubre la preparación de las muestras de suelos y los capítulos 5 a 11 tratan por separado cada ensayo de laboratorio. Los capítulos 12 a 15 cubren los requisitos para los ensayos de laboratorio de rocas, el capítulo 12 cubre la preparación de las muestras de roca para ensayos y los capítulos 13 a 15 tratan cada ensayo de laboratorio por separado.
- (23) El anexo A informativo con el mismo sistema de numeración para los capítulos que el texto principal (los capítulos A.2 a A.15 corresponden a los capítulos 2 a 15 en el texto principal) brinda información adicional sobre los principios de medidas, procedimientos de ensayos, número mínimo de ensayos, informes e interpretación.
- (24) No existen normas europeas o internacionales ISO sobre procedimientos de ensayos de laboratorio por el momento. Hasta que se hayan completado las normas sobre procedimientos de ensayos, el anexo informativo contiene una lista de normas, normas europeas experimentales y otros documentos públicamente disponibles que cumplen con los requisitos de esta norma europea experimental.

En el anexo, siempre que es posible, se facilitan listas de comprobación y tablas para ayudar en la planificación, comprobación e interpretación de los ensayos de laboratorio. No se pretende de ninguna forma que el anexo sea una relación exhaustiva de todos los temas posibles que puedan surgir, pero indica aspectos importantes que se deben considerar.

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Objeto y campo de aplicación

#### 1.1.1 Objeto y campo de aplicación del Eurocódigo 7

- (1)P El Eurocódigo 7 es de aplicación en los aspectos geotécnicos del diseño de obras de edificación e ingeniería civil. Se subdivide en diversas partes separadas, (véase el apartado 1.1.2).
- (2)P El Eurocódigo 7 trata de los requisitos para la resistencia, estabilidad, utilizabilidad y durabilidad de las estructuras. No se consideran otros requisitos, por ejemplo los que tratan del aislamiento térmico o acústico.
- (3)P El Eurocódigo 7 se utilizará junto con la Norma Europea Experimental ENV 1991-1 “Bases de proyecto” del Eurocódigo 1 “Bases de proyecto y acciones en las estructuras” que establece los principios y requisitos para la seguridad y utilizabilidad, describe las bases para diseño y verificación y provee directrices para aspectos relacionados con la fiabilidad de las estructuras.
- (4)P El Eurocódigo 7 provee las reglas para calcular las acciones que se originan en el suelo tales como las presiones del terreno. Los valores numéricos de las acciones sobre las obras de edificación e ingeniería civil que deben tenerse en cuenta en el diseño se presentan en la Norma Europea Experimental ENV 1991 Eurocódigo 1 “Bases de proyecto y acciones en las estructuras” aplicable a varios tipos de construcción.
- (5)P En el Eurocódigo 7 se cubre la ejecución hasta donde sea necesario para indicar la calidad de los materiales y productos de la construcción que deberían utilizarse y el grado de buen hacer en campo necesario para cumplir con las hipótesis de las reglas de diseño. En general, las reglas relacionadas con la ejecución y buen hacer deben considerarse como requisitos mínimos que pueden ser desarrollados en mayor profundidad para tipos específicos de edificios u obras de ingeniería civil y métodos de construcción.
- (6)P El Eurocódigo 7 no cubre los requisitos especiales de diseño sísmico. El Eurocódigo 8 “Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes” presenta reglas adicionales de diseño sísmico que completan o adaptan las reglas del Eurocódigo 7.

#### 1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea Experimental ENV 1997-2

- (1)P Esta norma europea experimental presenta los requisitos para la ejecución, interpretación y utilización de los ensayos de laboratorio geotécnicos. La norma pretende facilitar ayuda para el diseño geotécnico de las estructuras. No sustituye a las normas de ensayo nacionales sobre procedimientos de ensayos.
- (2) Las estipulaciones de este documento se planifican primordialmente para proyectos de Geotecnia Categoría 2, según se define en el apartado 2.1 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.
- (3) P La Norma Europea Experimental ENV 1997-2 se utilizará junto con la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.
- (4) Para cada uno de los ensayos de laboratorio incluidos, esta norma europea experimental presenta el objetivo y los requisitos del ensayo. Los requisitos están relacionados con el programa de ensayos, aparatos de ensayo y procedimientos de ensayo, y la evaluación y presentación de los resultados de los ensayos.
- (5) En esta norma europea experimental, se cubren solamente los ensayos de laboratorio geotécnicos habitualmente utilizados. Estos se han seleccionado basándose en su importancia en la práctica de la geotecnia, su disponibilidad en los laboratorios geotécnicos comerciales y la existencia de un procedimiento de ensayos aceptado en Europa. Los ensayos menos habituales, especialmente ensayos más avanzados, que pueden ser esenciales para el diseño de estructuras dentro de la Categoría Geotécnica 3, según se define en el apartado 2.1 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1, se mencionan en relación con los ensayos pertinentes. No se tratan los suelos no saturados. No se tratan tampoco los parámetros necesarios para, por ejemplo, el cálculo por elementos finitos (módulo de Poisson, módulo de esfuerzo cortante y módulo de Young). Se espera que las actualizaciones de la presente norma europea incluyan gradualmente ensayos de laboratorio más avanzados, suelos no saturados y parámetros de deformación.
- (6) Este documento está dirigido a la persona responsable del diseño geotécnico.

## 1.2 Referencias

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

ENV 1991-1:1994 – *Eurocódigo 1 Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1 Bases de proyecto.*

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

ENV 1997-3:1998 – *Eurocódigo 7 Proyecto geotécnico. Parte 3 Diseño asistido por ensayos de campo.*

## 1.3 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación

- (1)P Dependiendo del carácter de los apartados individuales, se distingue en esta norma europea experimental entre principios y reglas de aplicación.
- (2)P Los principios comprenden:
- expresiones generales y definiciones para las cuales no existe alternativa, al igual que;
  - requisitos y modelos analíticos para los cuales no se permite ninguna alternativa a no ser que se exprese específicamente lo contrario.
- (3)P Los principios están precedidos por la letra P.
- (4)P Las reglas de aplicación son ejemplos de reglas reconocidas generalmente, que siguen los Principios y satisfacen sus requisitos.
- (5)P Es admisible el empleo de reglas alternativas distintas de las reglas de aplicación dadas en este Eurocódigo, siempre que se demuestre que las reglas alternativas están de acuerdo con los principios pertinentes.

## 1.4 Definiciones

### 1.4.1 Términos comunes a todos los Eurocódigos

- (1)P Los términos empleados en común con todos los Eurocódigos se definen en la Norma Europea Experimental ENV 1991-1 Bases de diseño.

### 1.4.2 Términos comunes al Eurocódigo 7

- (1)P Para términos específicos al Eurocódigo 7, se hace referencia al apartado 1.5.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.
- (2)P Los términos siguientes, empleados en esta parte del Eurocódigo 7, adicionalmente a los términos definidos en el apartado 1.5.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1 o en su sustitución, se definen aquí:

**1.4.2.1 experiencia comparable:** Definida en el apartado 1.4 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1. Adicionalmente, se definen tres clases de experiencia comparable:

- **ninguna:** si no se dispone de resultados fiables;
- **media:** si se dispone de datos de suelos similares o si los datos siguen los conocimientos documentados en la literatura geotécnica;

- **extensa:** si existen evaluaciones estadísticas y/o correlaciones publicadas, o si existen resultados de ensayos para el mismo suelo en algún emplazamiento cercano.

**1.4.2.2 valor derivado:** El valor derivado de una propiedad geotécnica es el valor obtenido por teoría, correlación o empirismo derivado de los resultados de ensayos. Los valores derivados forman la base para la elección de valores característicos de las propiedades del suelo que se utilizarán en el diseño de las estructuras geotécnicas de acuerdo con el apartado 2.4.3 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.

**1.4.2.3 muestra alterada:** Muestra en la cual estructura, contenido de agua y componentes del suelo se han cambiado durante la toma de muestras.

**1.4.2.4 ensayo de elemento:** Ensayo sobre un elemento (muestra) del suelo para determinar una propiedad, donde el elemento está sometido a deformaciones, fuerzas o percolación intentando simular las condiciones in-situ de una masa de suelo.

**1.4.2.5 valor medido:** Es el valor medido en un ensayo.

**1.4.2.6 suelo consolidado normalmente:** Suelo cuyo estado está en la línea de compresión normal virgen.

**1.4.2.7 suelo sobreconsolidado:** Suelo cuyo estado está por debajo de la línea de compresión normal virgen.

**1.4.2.8 clase de calidad:** Clasificación por la cual se evalúa la calidad de una muestra de suelo. Para efectos de los ensayos de laboratorio, las muestras de suelo se clasifican en cinco Clases de Calidad, donde la Calidad Clase1 representa una muestra inalterada y la Calidad Clase 5 es una muestra inadecuada para ensayos representativos.

**1.4.2.9 muestra remoldeada:** Muestra totalmente alterada, con contenido de agua cercano a natural.

**1.4.2.10 muestra recompactada:** Muestra forzada dentro de un molde con maza o bajo presión estática.

**1.4.2.11 muestra reconstituida:** Muestra convertida en lodo (en o por encima del límite líquido para arcilla) y luego reconsolidada.

**1.4.2.12 muestra reconsolidada:** Muestra comprimida en un molde o celda bajo presión estática mientras se permite que se produzca drenaje.

**1.4.2.15 muestra:** Porción de suelo o roca recuperada del terreno mediante técnicas de toma de muestras.

**1.4.2.16 muestra de laboratorio:** Parte de una muestra de suelo o roca utilizada para un ensayo de laboratorio.

**1.4.2.15 ensayo del índice de resistencia:** Ensayo de naturaleza algo rudimentaria que brinda una indicación de la resistencia a cortante, sin dar necesariamente un valor representativo. Los resultados de dicho ensayo están sujetos a una incertidumbre considerable.

**1.4.2.16 hinchamiento:** Expansión debida a la reducción de la tensión efectiva resultante ya sea de una reducción de la tensión total o de la absorción de agua con tensión total constante. El hinchamiento es el proceso contrario tanto de compresión como de consolidación.

**1.4.2.17 muestra inalterada:** Muestra donde no han ocurrido cambios de significado práctico en las características del suelo.

## 1.5 Símbolos y unidades

### 1.5.1 Símbolos comunes a todos los Eurocódigos

- (1)P Los símbolos empleados comúnmente para todos los Eurocódigos se definen en Norma Europea Experimental ENV 1991-1 “Bases del diseño”.

### 1.5.2 Símbolos utilizados en el Eurocódigo 7

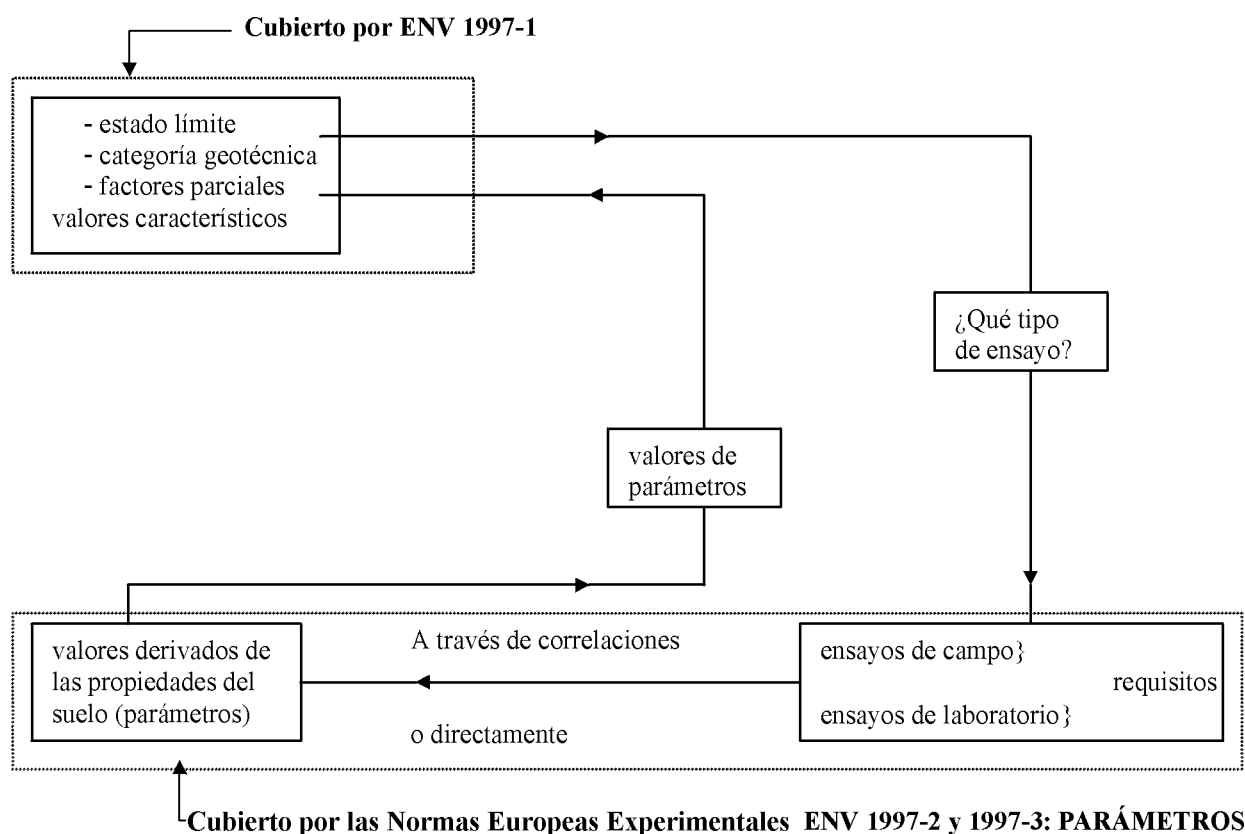
- (1)P Los símbolos comúnmente utilizados en el Eurocódigo 7 se definen en el apartado 1.8 de Norma Europea Experimental ENV 1997-1. Los símbolos empleados en esta norma europea experimental se definen en los textos pertinentes.

### 1.5.3 Unidades

- (1) Para cálculos geotécnicos, las unidades recomendadas se definen en el apartado 1.6 de Norma Europea Experimental ENV 1997-1.

### 1.6 La conexión entre las Normas Europeas Experimentales ENV 1997-1 y ENV 1997-2

El diagrama de flujo indicado a continuación presenta la conexión entre diseño y ensayos de campo y de laboratorio. La parte de diseño se trata en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1; la parte de valores de los parámetros se trata en la Norma Europea Experimental ENV 1997-2 y -3.



## **2 REQUISITOS PARA TODOS LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **2.1 Requisitos generales**

- (1)P** Cuando se diseña con la ayuda de ensayos de laboratorio, se satisfarán tanto los requisitos del capítulo 2 como los requisitos para un ensayo específico de los capítulos 3 a 15.
- (2)P** Se seguirá los requisitos para investigaciones en el sitio contenidas en el capítulo 2 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-3.
- (3)P** Se seguirá los requisitos contenidos en el capítulo 3 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.
- (4)** Los requisitos indicados en esta norma europea experimental representan un mínimo. Se podrá requerir especificaciones adicionales, requisitos de presentación adicionales o interpretación adicional, según sea necesario para las condiciones del terreno o los aspectos geotécnicos de interés.
- (5)** El anexo A.2 presenta de una forma esquemática las distintas etapas de una investigación de suelos, con énfasis especial sobre los ensayos de laboratorio.

### **2.2 Programa de ensayos**

- (1)P** El tipo de construcción, el tipo de suelo y la estratigrafía y los aspectos geotécnicos del proyecto se tendrán en cuenta cuando se esté estableciendo el programa de ensayos de laboratorio.
- (2)P** El programa de ensayos se establecerá para completar y ampliar la información obtenida en el programa de ensayos de campo. El diseño geotécnico, los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio conforman una unidad donde se emplean los resultados de los ensayos como complementarios y en combinación durante todas las etapas del trabajo.
- (3)** Antes de que se ejecute cualquier ensayo de laboratorio, se deberán inspeccionar todas las muestras de suelos visualmente, de tal forma que se pueda establecer un perfil preliminar del suelo. La inspección visual de las muestras se debe apoyar con ensayos manuales simples para clasificar e identificar el suelo y para dar una primera impresión de la consistencia y la resistencia del suelo. Se deberá evaluar e incorporar en el perfil preliminar del suelo los registros de sondeos y los resultados existentes de la investigación.
- (4)** Antes de redactar un programa de ensayos, se deberá establecer la estratigrafía supuesta del emplazamiento y los estratos pertinentes para diseño, elegidos con objeto de permitir la especificación del tipo y número de ensayos de cada estrato. La identificación de los estratos debería ser una función del problema geotécnico, su complejidad, la geología local y los parámetros requeridos para el diseño.
- (5)P** Se seleccionará muestras para ensayos de elementos de manera que cubran el espectro de propiedades de referencia de cada estrato relevante de suelo.
- (6)P** La cantidad de ensayos será suficiente para cubrir los requisitos indicados en este documento, teniendo en cuenta también los requisitos de seguridad del proyecto, el beneficio en el costo de los ensayos, los métodos elegidos de ensayos y la experiencia comparable disponible.
- (7)P** Se efectuarán ensayos sobre muestras representativas de los estratos relevantes.
- (8)P** El programa de ensayos se ajustará a medida que se disponga de resultados y se pueda comprobar las hipótesis iniciales. En particular, se tendrá en cuenta la necesidad de especificar ensayos adicionales para comprobar si los parámetros obtenidos corresponden a un patrón consistente de comportamiento para el suelo o la roca.
- (9)P** Se tendrá en cuenta la necesidad de ensayos más avanzados o investigación de campo adicional en función de los aspectos geotécnicos del proyecto, tipo de suelos, variabilidad del suelo y modelo de cálculo.



### 2.3 Calidad de las muestras de suelos

- (1) Las muestras de suelos utilizadas para ensayos de laboratorio se clasifican en cinco Clases de Calidad con respecto a las características del suelo que permanecen sin cambios durante la toma de muestras o la manipulación. En la tabla 1 se describen las clases.

**Tabla 1**  
**Clases de Calidad de muestras de suelos para ensayos de laboratorio**

Propiedades del suelo/Calidad Clase	1	2	3	4	5
<b>Características del suelo no cambiadas</b>					
Tamaño de partículas	x	x	x	x	
Contenido de agua	x	x	x		
Densidad, índice de densidad, permeabilidad	x	x			
Compresibilidad, resistencia a cortante	x				
<b>Propiedades que se pueden determinar</b>					
Secuencia de capas	x	x	x	x	x
Límites de estratos – amplios	x	x	x	x	
Límites de estratos – finos	x	x			
Límites de Atterberg, peso específico, contenido de materia orgánica	x	x	x	x	
Contenido de agua	x	x	x		
Densidad, índice de densidad, porosidad	x	x			
Compresibilidad, resistencia a cortante	x				

- (2)P Las muestras se ensayarán tan pronto como sea posible después de su recuperación. El transporte y almacenamiento se realizarán de tal forma que no pueda ocurrir ningún cambio en las características del suelo.
- (3)P Los efectos de alteración de la muestra en los resultados de los ensayos de laboratorio se tendrán en cuenta al planificar el programa de ensayos y al interpretar los resultados de los ensayos.
- (4) Las muestras de suelos, cuando se recuperan, casi siempre quedan alteradas en cierta medida.
- (5) Para la descripción de los métodos de toma de muestras de suelos y la calidad de las muestras obtenidas por los distintos métodos de toma de muestras, véase la Norma Europea Experimental ENV 1997-3.

### 2.4 Equipo, procedimientos y presentación

- (1)P Los ensayos se llevarán a cabo de acuerdo con los procedimientos que cumplen con los requisitos dados en los apartados para cada ensayo.
- (2)P Se especificarán los detalles de los ensayos que se requieren para determinar los parámetros que se necesitan para el diseño.
- (3)P Se realizarán comprobaciones de exactitud basadas en ensayos duplicados o comparaciones con una base de datos sobre tipos de suelos comparables.
- (4)P Se realizarán verificaciones de que el equipo de laboratorio utilizado para los ensayos es adecuado y está debidamente calibrado.

- (5)P Los métodos y procedimientos de ensayos utilizados se indicarán junto con los resultados de los ensayos. Cualesquiera desviaciones de un procedimiento de ensayos estándar deberán quedar indicadas y justificadas.
  - (6) Los procedimientos de ensayo se pueden indicar por referencia a documentos que estén reconocidos internacionalmente por la profesión geotécnica.
- NOTA – No existen todavía normas de ensayos internacionales o europeas.
- (7) Siempre y cuando se cumplan los requisitos de esta norma europea experimental, se podrán seleccionar métodos alternativos para presentar los resultados de los ensayos.

## 2.5 Evaluación de los resultados de ensayo

- (1)P Los resultados de los ensayos evaluarán globalmente, incluyendo los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, comparando los resultados con la experiencia existente para cada valor derivado de una característica del suelo, dando consideración especial a los resultados anómalos de un estrato específico y reconsiderando la subdivisión de estratos supuesta a la vista de los resultados obtenidos. Los resultados se interpretarán teniendo en cuenta la capa freática del terreno, el tipo de suelo, el método de perforación, el método de muestreo, transporte, manipulación y preparación de la muestra.
- (2)P La evaluación de los resultados de los ensayos de laboratorio tendrá en cuenta las comparaciones disponibles de resultados con experiencia existente, los resultados de otros tipos de ensayos de laboratorio y campo capaces de medir el mismo parámetro del suelo y correlaciones basadas en las propiedades de referencia del suelo.
- (3)P Al evaluar los resultados de los ensayos, solamente se realizarán las comparaciones pertinentes.
- (4) Siempre que sea posible, los resultados deberían incluir una exposición sobre las limitaciones o restricciones a las cuales se deberá someter el empleo de un parámetro del suelo o roca.
- (5) Esta norma europea experimental se aplica a los suelos mas comúnmente encontrados, tales como arenas, limos y arcillas. Para otros suelos con composiciones y/o geología distintas, se pueden necesitar requisitos adicionales o modificados. En particular, se debería utilizar una experiencia comparable.
- (6)P No se realizará ninguna sustitución de ensayos de resistencia y deformación con valores elegidos de bases de datos con experiencia comparable si la experiencia comparable no está bien documentada y los datos y las estimaciones del mismo no han sido controlados en cuanto a calidad.
- (7) Con los suelos naturales, las variaciones en las propiedades medidas pueden indicar variaciones significativas en las condiciones del suelo. Es muy importante que se identifiquen zonas débiles y que los resultados de los ensayos de laboratorio se evalúen en cuanto a su incertidumbre. El empleo de estadísticas para determinar valores derivados puede ocultar la presencia de zonas más débiles. El enfoque estadístico se debería utilizar con precaución y en general combinado con otros métodos.
- (8)P A medida que se interpretan los resultados de los ensayos, se deberá considerar la necesidad de especificar una interpretación adicional de los resultados para comprobar si cada parámetro obtenido encaja en un patrón de comportamiento consistente para suelo o roca.

## 2.6 Aseguramiento de calidad y control de calidad

- (1)P Deberá haber un sistema de aseguramiento de calidad adecuado en el laboratorio y en la oficina de ingeniería, y se debería ejercer un control de calidad de forma competente en todas las etapas de los ensayos de laboratorio e interpretación de los resultados de ensayos.

### **3 CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ENSAYOS**

#### **3.1 Objetivo**

- (1) El objetivo de la calibración es asegurar que las incertidumbres sobre cualquier medida, siempre que sea práctico, puedan cuantificarse.
- (2)P Para conseguirlo, todas las medidas realizadas en un laboratorio de ensayos deben ser trazables a patrones de medidas nacionales o internacionales.

#### **3.2 Requisitos**

##### **3.2.1 Instrumentos de medida**

- (1)P Todos los instrumentos empleados para los ensayos se calibrarán, y se mantendrán registros de calibración y recalibración.
- (2)P Cada instrumento empleado para calibrar o comprobar los instrumentos estará dentro del rango de recalibración.
- (3)P Los instrumentos empleados en conexión con los ensayos se someterán a comprobaciones de calibración y comprobaciones de estabilidad frecuentes.
- (4)P Los instrumentos electrónicos se comprobarán bajo las mismas condiciones (condiciones eléctricas, condiciones de señal y equipos de registros) que los empleados para los ensayos.
- (5)P La calibración será trazable a patrones, cuando sea de aplicación, o el laboratorio presentará otra evidencia satisfactoria de calibración y exactitud de los resultados de ensayos.
- (6)P Todas las medidas realizadas en el curso de los ensayos estará dentro de los límites de calibración de los instrumentos.
- (7)P Los patrones y dispositivos para calibración en el propio laboratorio de los instrumentos de trabajo tendrán certificados válidos de calibración y se mantendrán y almacenarán adecuadamente.

##### **3.2.2 Aparatos de ensayos**

- (1)P Se verificarán las medidas significativas (por ejemplo: dimensiones lineales; masas) de cada elemento del aparato de ensayos, y estarán dentro de las tolerancias de trabajo especificadas.
- (2)P Las calibraciones, medidas y comprobaciones requeridas para procedimientos específicos de ensayos se realizarán y registrarán adecuadamente.
- (3)P El laboratorio mantendrá registros de calibraciones, medidas y comprobaciones de forma adecuada.

##### **3.2.3 Funcionamiento defectuoso del equipo**

- (1)P Cualquier funcionamiento defectuoso o cambio en la calibración detectado en los equipos de ensayos será notificado inmediatamente a los receptores de los resultados del ensayo, y todos los datos producidos desde la calibración o comprobación precedente serán reevaluados.
- (2)P El elemento será recalibrado antes de utilizarlo nuevamente.

##### **3.2.4 Ambiente**

- (1)P Se registrarán las condiciones ambientales adecuadas del laboratorio en el momento de la calibración.

## **4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS PARA ENSAYOS**

### **4.1 Objetivo**

- (1) El objetivo en la preparación de los suelos para ensayos de laboratorio es suministrar muestras para ensayo que sean lo más representativas que sea posible del suelo del cual se han obtenido las muestras.
- (2) Para efectos de preparación, las muestras para ensayos se encuadran en cuatro categorías, muestras alteradas, muestras inalteradas, muestras recompactadas o remoldeadas y muestras reconstituidas.

### **4.2 Requisitos**

#### **4.2.1 Cantidad de suelo**

- (1)P La muestra de suelo utilizada para el ensayo debe ser lo suficientemente grande para tomar en consideración:
  - el tamaño mayor de partícula presente en cantidad significativa;
  - las propiedades naturales tales como estructura y textura del suelo.
- (2)P Se preparará las muestras inalteradas en condiciones de humedad relativa elevada. Si se interrumpe la preparación, la muestra se protegerá contra el desecado.
- (3) En el anexo A.6 se presentan las masas mínimas de suelos alterados para ensayos de clasificación y ensayos sobre muestras recompactadas. En el anexo A.6 se presentan también las masas de suelo requeridas para preparación de muestras inalteradas para los ensayos de resistencia y compresibilidad.

#### **4.2.2 Manipulación y procesado**

- (1)P Todas las muestras se etiquetarán claramente y sin ambigüedades.
- (2)P Las muestras de suelo se protegerán en todo momento contra daño y deterioro, y cambios excesivos de temperatura. Las muestras se protegerán de las heladas cuando se almacenen en campo. Se tendrá especial cuidado con las muestras inalteradas para evitar la distorsión y la pérdida de agua durante la preparación de muestras. El material de los portamuestras no será reactivo con el suelo contenido.
- (3)P No se permitirá que el suelo seque antes del ensayo a no ser que se especifique lo contrario.
- (4)P Cuando se aplican procesos de desagregación, se debe evitar la rotura de partículas individuales. Si se requiere tratamiento especial de suelos cohesivos y cementados, este extremo se deberá especificar.
- (5)P Los métodos de subdivisión asegurarán que se obtienen porciones representativas, evitando la segregación de partículas grandes.

## **5 ENSAYOS PARA CLASIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SUELOS**

### **5.1 Generalidades**

- (1) Hasta el presente no existe ninguna norma internacional o europea para identificación y descripción de suelos al que se pueda hacer referencia en esta norma europea experimental. Se requiere utilizar normas nacionales hasta que se haya introducido una norma europea sobre clasificación de suelos.
- (2) Esta norma europea experimental trata de los ensayos siguientes para identificación y clasificación:
  - contenido de agua;
  - densidad aparente;
  - densidad de las partículas;
  - análisis granulométrico;
  - límites de Atterberg;
  - ensayo del índice de densidad para suelos granulares;
  - dispersibilidad del suelo;
  - susceptibilidad de heladas.
- (3) El anexo A.5 presenta más detalles sobre cada ensayo de clasificación y su interpretación, y unas directrices para el número mínimo de muestras y ensayos en un estrato.

### **5.2 Requisitos para todos los ensayos de clasificación**

- (1) Los resultados de los ensayos de clasificación de suelos deberían, siempre que sea posible, presentarse junto con el perfil del suelo en un gráfico que resuma la descripción del suelo y todos los resultados de la clasificación.
- (2) Si fuera posible, se puede indicar en la misma figura la localización de otros ensayos de laboratorio (tales como los ensayos edométricos y axiales).
- (3) Para todos los ensayos de clasificación, se debe tener una precaución especial con la elección de la temperatura para secado en horno, puesto que las temperaturas demasiado elevadas pueden tener efectos dañinos sobre la cantidad medida.

### **5.3 Contenido de humedad**

#### **5.3.1 Objetivo**

- (1) El objetivo del ensayo es determinar el contenido de humedad de un material de suelo.

#### **5.3.2 Requisitos**

- (1) Las muestras para ensayo deberán ser por lo menos de Calidad Clase 3.
- (2) Si una muestra contiene sólo un tipo de suelo, se debería utilizar por lo menos un ensayo por muestra para determinar el contenido de agua.

#### **5.3.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)**P** Se comprobará en qué grado es representativo el contenido de agua del suelo medido en el laboratorio “tal como se ha recibido” respecto del valor “in-situ”. Se necesita tener en cuenta en esta evaluación efectos tales como método de toma de muestras, transporte y manipulación, método de preparación de la muestra y ambiente del laboratorio.

- (2)P Se informará sobre la presencia de cantidades significativas de halloysita, montmorillonita, o minerales de yeso, suelos altamente orgánicos, materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos y suelos con poros cerrados llenos de agua.
- (3) Para los suelos indicados en 5.3.3 (2), una temperatura de secado de aproximadamente 50 °C puede ser más adecuada que la normalmente indicada de  $(105 \pm 5)$  °C, pero los resultados obtenidos deberían considerarse con precaución.

## **5.4 Densidad aparente**

### **5.4.1 Objetivo**

- (1) El ensayo se emplea para determinar la densidad aparente de un suelo. La densidad aparente se utiliza también, junto con el contenido de agua, para calcular la densidad del suelo seco.

### **5.4.2 Requisitos**

- (1) Las muestras de ensayo deben ser de por lo menos Calidad Clase 2.
- (2)P Se especificará el método de ensayo que se utilizará.

### **5.4.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Las densidades se interpretarán teniendo en cuenta: la profundidad del nivel freático, granulometría, mineralogía, diámetro máximo de grano de la muestra y alteración de la muestra.
- (2) Excepto en el caso de métodos de muestreo especiales tales como congelación, la densidad determinada de un suelo de grano grueso por debajo de la capa freática es en general solamente muy aproximada.

## **5.5 Densidad de las partículas**

### **5.5.1 Objetivo**

- (1) La densidad de las partículas es la masa de las partículas dividida entre su volumen. La densidad de las partículas es necesaria para la determinación exacta de una amplia serie de parámetros geotécnicos.

### **5.5.2 Requisitos**

- (1) El ensayo se debería llevar a cabo preferiblemente de acuerdo con el método picnométrico. Sin embargo, son posibles otros procedimientos, tales como el método de la botella de densidad o el método de la jarra de gas.

### **5.5.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Si para un estrato determinado, los valores medidos no entran dentro del rango normalmente previsto de 2 500 a 2 800 kg/m<sup>3</sup>, se deberá comprobar la mineralogía del suelo, su materia orgánica y su origen geológico.

## **5.6 Análisis granulométrico**

### **5.6.1 Objetivo**

- (1) Para la determinación del análisis granulométrico se utilizan dos métodos, según el tamaño de las partículas:
- método de tamizado para partículas  $> 63 \mu\text{m}$  (o el tamiz más cercano disponible);
  - método de sedimentación utilizando hidrómetro, o pipeta, para partículas  $\leq 63 \mu\text{m}$  (o el tamiz más cercano disponible).

### **5.6.2 Requisitos**

- (1) Se deberían utilizar procedimientos para la eliminación de la materia orgánica y los carbonatos antes del tamizado y sedimentación, o para hacer las correcciones necesarias por la presencia de carbonatos y materia orgánica, en el caso en que los carbonatos y la materia orgánica puedan tener un efecto de cementación o coagulación que afecten a la granulometría.
- (2) Se debería tener en cuenta que para algunos suelos, por ejemplo, suelos gredosos, el tratamiento para la eliminación de carbonatos no es adecuado.
- (3) Para contenidos orgánicos bajos, se debería tener precaución al eliminar la materia orgánica.
- (4) Antes de la sedimentación, no se deberá secar la muestra. Si se necesita desecado se debería realizar a una temperatura menor de 105 °C.

### **5.6.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

(1)P El informe debe mencionar lo siguiente:

- posición de la capa freática correspondiente a las muestras ensayadas;
- método de secado empleado;
- si se ha retirado materia orgánica y carbonatos y por que método;
- contenido de carbonatos y/o materia orgánica si fuera pertinente;
- si las fracciones de masa se registran con respecto al peso total (incluyendo carbonatos y materia orgánica).

## **5.7 Límites de consistencia**

### **5.7.1 Objetivo**

- (1) Los límites de consistencia comprenden el límite líquido, el límite plástico y el límite de retracción. Se cubre sólo la determinación de límite líquido y límite plástico.
- (2) Los límites de consistencia se emplean para caracterizar el comportamiento de arcillas y suelos limosos, frente a las variaciones de humedad. La clasificación de las arcillas y los suelos limosos se basa principalmente en los límites de consistencia.

### **5.7.2 Requisitos**

- (1) Las muestras ensayadas deben ser por lo menos de Calidad Clase 4.
- (2)P Para el límite líquido, se especificará el método de ensayo que se utilizará (aparato de cono o el de Casagrande).
- (3) En general, se prefiere el método de cono al método de Casagrande. En especial para suelos de baja plasticidad, el método de cono da resultados más fiables.

## **5.8 Ensayo de índice de densidad o para suelos granulares**

### **5.8.1 Objetivo**

- (1) El índice de densidad relaciona el índice de huecos o la densidad seca de una muestra de suelo con los valores de referencia determinados por procedimientos estándar de laboratorio. El índice de densidad se emplea para caracterizar la resistencia a cortante y la compresibilidad de suelos sin cohesión bajo cargas estáticas y dinámicas relacionando el índice de huecos in-situ a las densidades secas límite, denominadas densidades secas máxima y mínima. El ensayo de índice de densidad brinda una indicación del estado de compactación de un suelo granular libremente drenante.

### 5.8.2 Requisitos

(1)P Se especificará o comprobará lo siguiente:

- cantidad y calidad de las muestras;
- tipo de procedimiento de ensayo que se aplicará;
- método de preparación de cada muestra para ensayo;
- procedimientos de ensayo que se aplicarán.

(2) El material utilizado debería contener menos del 10% en finos (partículas que pasan el tamiz 63  $\mu\text{m}$ ) y menos del 10% de gravas (partículas retenidas en el tamiz 6,3 mm).

(3)P Los resultados de los ensayos de índice de densidad se registrarán junto con los resultados de los análisis granulométrico disponible, contenido de agua natural, densidad de partículas sólidas, y porcentaje de la fracción de tamaño excesivo (este último si fuera de aplicación). Se debe informar de cualquier desviación respecto del apartado 5.8.2 (2).

### 5.8.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) Los valores de densidades máxima y mínima obtenidas en el laboratorio no representan necesariamente las densidades límite. Se reconoce también en general que estos métodos dan densidades con un elevado grado de variabilidad.
- (2) Normalmente se consideran los valores más bajos del índice de densidad o densidad relativa para decisiones adicionales.

## 5.9 Dispersibilidad de los suelos

### 5.9.1 Objetivo

- (1) El objetivo de los ensayos es identificar las características dispersivas de los suelos arcillosos. Los ensayos estándar para la clasificación de suelos a efectos de ingeniería no identifican las características dispersivas de un suelo. Se llevan a cabo los ensayos de dispersibilidad en suelos arcillosos primordialmente en relación con los terraplenes y otras estructuras geotécnicas en contacto con el agua.
- (2) Se consideran cuatro tipos de ensayo:
  - **el ensayo de tubificación (“pinhole”)**: este ensayo modela la acción de agua fluyendo a lo largo de una fisura;
  - **ensayo de doble densímetro**: este ensayo compara la dispersión de las partículas de arcilla en agua natural sin agitado mecánico con el obtenido empleando una disolución dispersante y agitación mecánica;
  - **ensayo de desmoronamiento de terrones**: este ensayo muestra el comportamiento de los terrones de suelo colocados en una solución diluida de hidróxido sódico;
  - **la determinación de sales solubles en el agua de los poros**: este ensayo permite la correlación del porcentaje de sodio respecto del total de sales disueltas en extracto de saturación.

### 5.9.2 Requisitos

(1)P Se especificará lo siguiente:

- almacenamiento de muestras de manera que no se permita que sequen antes del ensayo;
- los procedimientos de ensayos que se aplicarán;
- el método de preparación de la muestra.



- (2)P Los resultados de los ensayos de dispersibilidad deben relacionarse con la granulometría y los límites de consistencia de la muestra.
- (3) Para el ensayo de tubificación, se deben especificar las condiciones de compactación de las muestras de suelo, por ejemplo, del lado seco o húmedo del óptimo, y el agua de mezcla (por ejemplo, destilada versus agua de depósito).
- (4) Para el ensayo de doble densímetro, se puede especificar un tercer ensayo hidrométrico si parece necesario para estudiar el efecto del agua de depósito sobre el suelo en suspensión.
- (5) Para el ensayo de desmoronamiento de terrones, se puede requerir el uso de agua destilada además de la disolución de hidróxido sódico.

## **5.10 Susceptibilidad a la helada**

### **5.10.1 Objetivo**

- (1) La susceptibilidad de heladas de los materiales del subsuelo juega un papel esencial en el diseño de las cimentaciones colocadas por encima del nivel de helada en suelos susceptibles de heladas. Las carreteras, pistas de aterrizaje, ferrocarriles, edificios en cimentaciones aisladas, tuberías enterradas, presas y otras estructuras pueden estar sometidos a levantamiento por heladas debido a la congelación de un suelo susceptible de heladas que tenga acceso al agua. Se pueden utilizar suelos susceptibles de heladas en su estado natural o con una base construida para estructuras.
- (2) El riesgo de levantamiento por heladas se puede estimar por correlación con las propiedades de clasificación de suelos (tamaño de partículas, altura capilar y/o contenido en finos) o por los ensayos de laboratorio sobre muestras naturales o reconstituidas.

### **5.10.2 Requisitos**

- (1) Si la estimación de susceptibilidad de heladas basada en las propiedades de clasificación de suelos no indica claramente la ausencia de riesgo de levantamiento por heladas, se debería llevar a cabo ensayos de levantamiento por heladas en el laboratorio. Como ejemplos de tipos de suelo que indican la necesidad de ensayos de laboratorio además de las correlaciones con las propiedades de clasificación se incluyen los suelos orgánicos, turba, suelos salinos, suelos artificiales y suelos sin cohesión con un rango amplio de granulometría.
- (2) Para determinar la susceptibilidad de heladas de un suelo en su estado natural, se deben ensayar muestras naturales. Para estimar la susceptibilidad de un relleno construido, se debería llevar a cabo ensayos de levantamiento por heladas sobre muestras reconstituidas.
- (3) El ensayo de susceptibilidad de heladas en el laboratorio es un ensayo de levantamiento por heladas. Si ha de llevarse a cabo un ensayo de riesgo de debilitamiento por deshielo, debería realizarse un ensayo de California Bearing Ratio después de descongelar la muestra. La muestra reconstituida se deberá someter a uno o más ciclos de hielo-deshielo antes del ensayo.

## **5.11 Evaluación de resultados de ensayos**

- (1) Los resultados se deben interpretar como función del tipo de trabajo de construcción, las reglas utilizadas en el diseño y la experiencia comparable que esté a disposición, considerando la consecuencia de los efectos de heladas.

## **6 ENSAYOS QUÍMICOS DE SUELOS Y AGUA FREÁTICA**

### **6.1 Requisitos para todos los ensayos químicos**

#### **6.1.1 Objeto y campo de aplicación**

- (1) A pesar de que la composición química detallada del suelo tiene poco interés a efectos de ingeniería civil, la presencia de ciertos compuestos químicos en el suelo puede ser muy significativa.
- (2) Los ensayos químicos de rutina en un laboratorio de suelos suelen estar limitados al contenido de materia orgánica (pérdida por calcinación, contenido orgánico total, materia orgánica), contenido en carbonatos, contenido en sulfatos, valor del pH (acidez o alcalinidad) y contenido en cloruros. El estándar trata únicamente de estos cinco ensayos químicos.
- (3) El anexo A.6 suministra más detalle sobre cada ensayo químico y su interpretación y algunas directrices.

#### **6.1.2 Objetivo**

- (1) El propósito de los ensayos químicos descritos en este documento es el de clasificar el suelo y evaluar los efectos dañinos del suelo y el agua freática sobre el hormigón, el acero y el suelo propiamente dicho. Los ensayos no pretenden tener ningún objetivo relacionado con el medio ambiente.

#### **6.1.3 Requisitos**

- (1)P Se especificarán los aspectos siguientes para todos los ensayos:
  - muestras que se deben ensayar;
  - número de muestras para ensayo;
  - procedimientos de los ensayos que se aplicarán;
  - pretratamientos incluyendo tratamiento de partículas de tamaño excesivo (es decir,  $d > 2$  mm);
  - número de ensayos por estrato y número de ensayos duplicados;
  - número de ensayos separados para la determinación del valor medio;
  - formato de informe;
  - ensayos de clasificación suplementarios requeridos para cada ensayo o serie de ensayos.
- (2) Se podrán emplear muestras de suelos alterados para los ensayos químicos, pero el tamaño de partículas y el contenido de agua necesitan ser representativos de las condiciones de campo (Calidad Clase 1 a 3).
- (3) Para la determinación del contenido de materia orgánica, necesita ser representativo únicamente el tamaño de partícula (Calidad Clase 4).
- (3)P La muestra de ensayo será representativa de la muestra original y de las condiciones de campo.
- (4)P Se seguirá estrictamente los procedimientos adecuados de mezclado, aireación y cuarteo con objeto de evitar resultados no consistentes.

#### **6.1.4 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Los resultados de los ensayos se revisarán junto con la descripción geológica y el medio ambiente predominante.
- (2)P Cuando sea adecuado, se debe tener en cuenta las clasificaciones reconocidas en términos del parámetro medido.

## **6.2 Contenido de materia orgánica**

### **6.2.1 Objetivo**

- (1) El ensayo de contenido de materia orgánica se emplea para clasificar el suelo. El contenido de materia orgánica se determina a partir de la pérdida por calcinación (frecuentemente definida como LOI), que viene determinada por la combustión a temperatura controlada de una muestra preparada. Se podrán emplear también otros ensayos adecuados. Por ejemplo, se podrá determinar el contenido de materia orgánica a partir de la pérdida de masa por el tratamiento con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), que suministra una medida más específica de los elementos orgánicos.
- (2) La presencia de contenido de materia orgánica puede tener efectos indeseables sobre el comportamiento ingenieril de los suelos. Por ejemplo, la capacidad portante se reduce, la compresibilidad aumenta, aumentan también el hinchamiento y la contracción potenciales debido al contenido de materia orgánica. El gas puede llevar a asentamientos inmediatos elevados, afectar los coeficientes de consolidación derivados de los ensayos de laboratorio y dar resistencias a cortante engañosas en los ensayos de esfuerzos totales. La materia orgánica es perjudicial para los suelos empleados para estabilización de carreteras y normalmente se asocia con un pH bajo y a veces con la presencia de sulfatos que pueden producir efectos dañinos en las cimentaciones.

### **6.2.2 Requisitos**

- (1)P Además de los puntos relacionados en 8.1.3, se especificará lo siguiente para cada ensayo o series de ensayos:
  - la temperatura de secado;
  - la temperatura de combustión;
  - las correcciones requeridas para agua combinada químicamente, carbonatos, etc.
- (2) Las muestras no homogéneas requieren ser mayores y necesitan aparatos adecuados. Por tanto, se deben emplear crisoles mayores.
- (3)P La LOI debe indicarse como porcentaje del suelo seco original, dando también la temperatura de secado, la temperatura de combustión y los tiempos de secado y combustión.

### **6.2.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) En arcillas y suelos limosos con contenido orgánico moderado, los errores involucrados en la corrección para agua combinada químicamente o carbonatos pueden ser tan grandes que se necesite métodos de ensayos especiales.

## **6.3 Contenido de carbonatos**

### **6.3.1 Objetivo**

- (1) La determinación del contenido de carbonatos se emplea como un índice para clasificar los suelos y rocas con carbonatos naturales o como índice para indicar el grado de cementación.
- (2) La medida de contenido en carbonatos depende de la reacción con ácido clorhídrico (HCL) que libera dióxido de carbono. Se supone que sólo está presente el carbonato como carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ). El contenido en carbonatos se mide a partir de la pérdida de masa en el tratamiento con HCL.

### **6.3.2 Requisitos**

- (1) Las muestras no homogéneas requieren tamaños iniciales mayores. Éstos deben triturarse y airearse.
- (2) Se necesita una evaluación visual antes de la elección del pretratamiento adecuado.
- (3)P El contenido en carbonatos se registrará como porcentaje de la materia seca original.

### 6.3.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) Algunos carbonatos, por ejemplo: las dolomitas, pueden no disolverse empleando la disolución estándar de ácido clorhídrico durante el tiempo especificado. Se necesitan métodos especiales para tipos de suelos o rocas que contengan dichos carbonatos.

## 6.4 Contenido de sulfatos

### 6.4.1 Objetivo

- (1) El objetivo del ensayo es determinar el contenido en sulfatos como índice para el posible efecto perjudicial del suelo sobre el acero y el hormigón. Todos los sulfatos que ocurren naturalmente, con raras excepciones, son solubles en ácido clorhídrico. Algunos son solubles en agua.
- (2) El contenido de sulfatos solubles en ácido se conoce como el contenido total de sulfatos, distinguiéndolo del contenido de sulfatos solubles en agua. Es importante apreciar que valor es el adecuado.
- (3) El agua freática que contiene sulfatos disueltos, especialmente sulfatos sódicos y de magnesio, puede atacar al hormigón y a otros materiales colocados en el terreno o sobre la superficie del terreno. La clasificación del suelo y del agua freática en términos de contenido en sulfatos es por tanto necesaria de manera que si se requiere se deben tomar las medidas de precaución adecuadas.

### 6.4.2 Requisitos

- (1)P Se especificará para cada ensayo o grupo de ensayos, si se requiere para el ensayo sulfatos solubles en ácido o agua, además de los puntos relacionados en 6.1.3.
- (2) Los suelos no homogéneos que contengan cristales visibles de yeso requieren muestras grandes, que se deberían triturar, mezclar y airear para proveer muestras de ensayo representativas. Se necesita una evaluación visual antes de elegir el método de preparación adecuado para la muestra.

### 6.4.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1)P Se debe informar sobre  $\text{SO}_3$  o  $\text{SO}_4$  como porcentaje de sustancia seca o en  $\text{g/dm}^3$ , relacionados con sulfatos solubles en ácido o en agua.

## 6.5 Valor del pH (acidez y alcalinidad)

### 6.5.1 Objetivo

- (1) El valor de pH del agua freática o de solución del suelo en agua se emplea para evaluar la posibilidad de acidez o alcalinidad excesivas.

### 6.5.2 Requisitos

- (1)P Se especificará lo siguiente para cada ensayo o grupo de ensayos, además de los puntos relacionados en 6.1.3:
  - si debe secarse o no el suelo;
  - proporción de suelo a agua.
- (2)P Se empleará disoluciones neutras patrón para calibración del medidor de pH.
- (3)P Se indicará el valor de pH de las suspensiones de suelo o del agua freática. Se indicará el método de ensayo.

### **6.5.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) La evaluación debería considerar que en algunos suelos los valores medidos pueden estar influenciados por la oxidación.

## **6.6 Contenido de cloruros**

### **6.6.1 Objetivo**

- (1) El objetivo del ensayo es la determinación del contenido de cloruros solubles en agua o solubles en ácido de manera que se pueda evaluar la salinidad del agua de los poros o del suelo. Los resultados brindan un índice para el efecto posible del agua freática en el hormigón, acero, otros materiales y suelos.

### **6.6.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará lo siguiente para cada ensayo o grupos de ensayos, además de los puntos relacionados en 6.1.3:
- si se deben determinar los cloruros solubles en agua o solubles en ácido;
  - si se deben secar o no los suelos.
- (2)P Después del secado, el suelo se mezclará completamente, para redistribuir cualesquiera sales puedan haber migrado para formar una costra superficial.

### **6.6.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Se informará del contenido de cloruros en  $\text{g/dm}^3$  o como porcentaje de masa seca del suelo. Los procedimientos de ensayos empleados indicarán si se han determinado los cloruros solubles en agua o solubles en ácido.

## 7 ENSAYOS DE COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS

### 7.1 Objetivo

- (1) Esta norma europea experimental cubre los requisitos de los ensayos de compresión e hinchamiento progresivos en edómetro y para evaluar el potencial de colapso de un suelo. La muestra cilíndrica se confina lateralmente, y normalmente se somete a incrementos discretos de carga o descarga axiales verticales y se permite que drene axialmente.
- (2) El objetivo de los ensayos de compresión e hinchamiento progresivos en edómetro es el de determinar las características de compresión, consolidación e hinchamiento de los suelos.
- (3) El objetivo del ensayo potencial de colapso es establecer los parámetros de compresibilidad para el suelo en su estado no saturado, y evaluar la compresión adicional al inundarse debido a un colapso estructural del suelo.

### 7.2 Requisitos

- (1) Para la determinación de la compresibilidad de un estrato de arcilla, limo o suelos orgánicos, se deben emplear muestras inalteradas (Calidad Clase 1).
- (2) Si se ensayan muestras de Calidad Clase 2, los efectos de la alteración de la muestra se deben considerar en la interpretación de los resultados.
- (3)P Para muestras recompactadas, la composición, densidad y contenido de agua de las muestras preparadas, adecuadas para las condiciones in-situ y el método de preparación de la muestra serán especificados.
- (4)P Al planificar la determinación de las características de compresibilidad de un estrato de suelo, se debe tener en cuenta los siguientes puntos:
  - a) en investigación de campo:
    - resultados existentes de investigaciones de campo;
    - medidas de asentamientos existentes en emplazamientos cercanos;
    - número y calidad de muestras;
    - número y tipo de ensayos de campo.
  - b) en ensayos de laboratorio:
    - almacenamiento de muestras;
    - consideración especial para muestras sensibles y cementadas;
    - número de muestras;
    - preparación de muestra;
    - orientación de la muestra;
    - necesidad de ensayos adicionales de clasificación.
- (5)P Para condiciones complejas de carga y descarga y/o para condiciones de subsuelo difíciles se debe considerar el realizar ensayos más avanzados que los ensayos progresivos por edómetro, por ejemplo los ensayos de deformación controlada.
- (6)P Las tensiones verticales iniciales no deben superar la tensión efectiva vertical in-situ.
- (7) Para arcillas reblandecidas por la deformación, una tensión inicial de un cuarto de la tensión efectiva vertical in-situ es un valor adecuado.

- (8) En un ensayo de compresión, la tensión vertical más elevada deberá estar muy por encima de la tensión vertical efectiva máxima que se suponga in-situ. En un ensayo de hinchamiento, el rango de decrementos de la tensión vertical que debe aplicarse durante el ensayo incluirá el rango de tensiones que se supone se aplicarían in-situ.
- (9)P Cuando se prueba el potencial de colapso, se seleccionan las muestras de ensayos con la consideración adecuada sobre los conocimientos existentes del comportamiento del suelo cuando se somete a la inundación. También se tendrá en cuenta el tipo de estructura propuesta y su tolerancia a asentamientos locales. El esfuerzo sobre la muestra a la cual se aplica la inundación se deberá relacionar al rango de tensiones verticales que se supone ocurrirán in-situ.
- (10) El anexo A.7 suministra una directriz para el número mínimo de muestras y ensayos para un estrato, al igual que información adicional sobre el ensayo y su valoración.

### **7.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) La interpretación de los resultados de ensayos edométricos con respecto a la compresibilidad es normalmente más fiable que la interpretación con respecto al comportamiento dependiente del tiempo.
- (2) Los resultados de ensayos edométricos se emplean para estimar la tensión de preconsolidación para arcillas y suelos limosos. La estimación de la tensión de preconsolidación puede verse altamente afectada por la alteración durante la toma de muestras y se deben tener en cuenta estos efectos.
- (3)P Se deberá tener en cuenta la opción de llevar a cabo una serie de ensayos edométricos con velocidad de deformación constante.
- (4) El método de ensayos de con velocidad de deformación constante es frecuentemente preferible al enfoque de carga por incrementos. El método puede utilizarse en cualquier momento en lugar del ensayo por incrementos.

## **8 ENSAYO DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS**

### **8.1 Objetivo**

- (1) El propósito de los ensayos de índice de resistencia es determinar de una forma rápida y sencilla la resistencia a cortante sin drenar de las arcillas. La resistencia de corte así determinada es sólo una estimación aproximada.
- (2) Esta norma europea experimental cubre los siguientes ensayos de índice de resistencia:
  - molinete de laboratorio;
  - penetrómetro de bolsillo;
  - cono de caída;
  - compresión sin confinar;
  - ensayos de compresión sin consolidar sin drenar.

### **8.2 Requisitos**

- (1) El anexo A.8 presenta información de cada uno de los ensayos del índice de resistencia considerados y una lista de comprobaciones sobre los procedimientos de ensayo para cada ensayo.
- (2) Las muestras de ensayo deberían ser inalteradas (Calidad Clase 1).

### **8.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Los resultados deben presentarse preferiblemente junto con la descripción del suelo y los otros ensayos de clasificación del suelo.
- (2) En general, el ensayo de compresión sin consolidar y sin drenar da resultados más fiables que los otros ensayos de índice de resistencia.
- (3) En general, los ensayos de índice de resistencia se pueden utilizar solamente para el diseño cuando existe experiencia comparable y bien documentada de suelos similares.



## **9 ENSAYOS DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS**

### **9.1 Objetivo y campo de aplicación**

- (1) El objetivo de los ensayos es establecer los parámetros de resistencia efectivos, parámetros de presión intersticial y/o resistencia a esfuerzo cortante sin drenar.
- (2) Se cubren los ensayos de compresión triaxial y dos tipos de ensayos de corte directo, en caja cuadrada o circular. Para los ensayos de corte directo, los resultados se aplican a las condiciones de carga en condiciones drenadas únicamente.
- (3) Este método se aplica únicamente a suelos saturados.

### **9.2 Requisitos**

- (1) Para la determinación de la resistencia a cortante de arcilla, limos y suelos orgánicos, se deberían utilizar muestras inalteradas (Calidad Clase 1). Para ciertos suelos o por razones especiales, los ensayos se pueden llevar a cabo sobre muestras reconstituidas o remoldeadas.
- (2) Si se ensayan muestras de Calidad Clase 2, se deberá contar con los efectos de la alteración de la muestra en la interpretación de los resultados.
- (3)P Para arcillas, las muestras para ensayo deben ser tan representativas como sea posible de las condiciones in-situ.
- (4) Para limos y arenas, se pueden recompactar las muestras de ensayos. Se deberá tener precaución en elegir un método de preparación que reproduzca tan fielmente como sea posible la estructura y densidad adecuada para el diseño previsto.
- (5)P Para muestras recompactadas, se deben especificar la composición, densidad y contenido de agua de las muestras preparadas, adecuadas para las condiciones in-situ y el método de preparación de la muestra.
- (6)P Para un ensayo de resistencia, se debe evaluar o especificar lo siguiente:
  - número de ensayos requeridos;
  - selección del emplazamiento de las probetas en las muestras recuperadas;
  - calidad requerida de la muestra;
  - método de preparación de la muestra;
  - orientación de la muestra;
  - tipo de ensayo;
  - ensayos de clasificación que se deben realizar;
  - condiciones del ensayo (por ejemplo, presiones de consolidación, fin de la consolidación);
  - tiempo para los incrementos de consolidación;
  - régimen de cizallamiento;
  - criterios de rotura;
  - deformación para la cual debe pararse el ensayo;
  - criterios de aceptabilidad (por ejemplo, saturación, dispersión);
  - exactitud de medidas;
  - impreso para presentación de los resultados del ensayo;
  - cualquier procedimiento utilizado además de los referenciados en una norma aceptada.

- (7)P La resistencia a cortante y la envolvente de rotura de Mohr de una muestra se determinarán por medio de tres ensayos, o más, bajo tensiones efectivas normales distintas.
- (8)P Al planificar la determinación de la resistencia a cortante de un estrato de suelo, se debe tener en cuenta lo siguiente:
- a) en la investigación de campo:
    - resultados existentes en campo y laboratorio de edificios cercanos;
    - número y calidad de muestras;
    - número y tipo de ensayos de campo.
  - b) en ensayos de laboratorio:
    - almacenamiento de las muestras;
    - tipo de cizallamiento para la determinación de la resistencia a cortante;
    - número de muestras;
    - método de preparación de la muestra;
    - necesidad de ensayos de clasificación adicionales.
- (9)P Las condiciones de ensayo se elegirán para duplicar tan fielmente como sea posible las condiciones de campo.
- (10) El anexo A.9 brinda una directriz para el número mínimo de muestras y ensayos de un estrato, al igual que información adicional sobre el ensayo y su evaluación.

### 9.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) Los ensayos de compresión triaxial y de corte directo normalmente suministran parámetros de resistencia aceptados que pueden ser adecuados para los métodos de diseño de rutina, pero que no son necesariamente aplicables a otros análisis.
- (2)P La presentación de los resultados de ensayos incluirán, cuando sea de aplicación:
- la(s) trayectoria(s) de tensión efectiva;
  - las curvas tensión-deformación;
  - las curvas de presión intersticial deformación;
  - parámetros de presión intersticial.
- (3) Se puede presentar círculo(s) de Mohr además de los de la(s) trayectoria(s) de tensión efectiva. La extrapolación lineal de los resultados de los ensayos puede dar valores erróneos de la resistencia de un suelo puesto que la envolvente de rotura de Mohr en general no es una línea recta, especialmente en tensiones normales bajas.
- (4)P Se dará el rango de tensiones sobre el cual hayan sido determinados los parámetros de resistencia en términos de tensiones efectivas.
- (5) Existen diversos métodos para obtener los parámetros tensión-deformación y de resistencia de suelos en el laboratorio e in-situ. Los resultados disponibles a partir de estos ensayos diferentes se deberían comparar al evaluar los resultados de los ensayos.
- (6) Los resultados se deberían evaluar teniendo en cuenta el régimen de deformaciones empleado para el ensayo.

## **9.4 Ensayo de compresión triaxial consolidada**

### **9.4.1 Requisitos**

- (1)P Para un ensayo de compresión triaxial, se debe evaluar o especificar lo siguiente:
- método de saturación y criterio de saturación;
  - contra-presión requerida;
  - cualquier procedimiento utilizado además de los referenciados en una norma aceptada (por ejemplo, placas lubricadas, medidas locales de deformaciones o presión intersticial).
- (2)P Para los ensayos triaxiales consolidados sin drenar, se especificarán los requisitos de respuesta de la presión intersticial y la trayectoria total de tensiones para cizallamiento.
- (3)P Para ensayos consolidados drenados, se especificará los requisitos del dispositivo del cambio de volumen y la trayectoria de tensiones para cizallamiento.
- (4)P Los ensayos de clasificación mínimos que necesitan realizarse en relación con los ensayos triaxiales incluyen el contenido de agua antes y después del ensayo y la densidad aparente antes y después del ensayo.
- (5) Se debe realizar una determinación del límite de Atterberg y de granulometría por grupo de ensayos triaxiales en un estrato.
- (6)P Los resultados expresarán claramente el tipo de ensayo que se debe llevar a cabo, y los parámetros de resistencia (por ejemplo tensión desviadora máxima, relación de tensiones máximas) que se citan y el régimen de ensayos de cizallamiento y el criterio de rotura empleados para seleccionar la resistencia a cortante.
- (7)P Se dará en el informe las incertidumbres en la saturación de la muestra de ensayo. Se indicarán claramente en el informe las desviaciones en los procedimientos de ensayos o en los equipos de ensayos relativos a la norma de referencia y, cuando sea pertinente, sobre gráficos clave.
- (8)P Se considerará la opción de llevar a cabo ensayos más avanzados. Los ensayos de laboratorio de resistencia más avanzados incluyen el ensayo de extensión triaxial, el ensayo de cortante simple, el ensayo de deformación plana en compresión o extensión, ensayos triaxiales verdaderos, ensayo de cortante direccional, todos con la posibilidad de consolidación anisotrópica en lugar de isotrópica.

### **9.4.2 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) La interpretación de los resultados de ensayos deberá tener en cuenta que la resistencia a cortante sin drenar, los parámetros de presión de poros y las relaciones tensión/deformación se ven afectadas por la alteración de la muestra en grado mayor que los parámetros de resistencia.
- (2) Se pueden obtener valores de módulos de tensión-deformación fiables solamente a partir de ensayos consolidados anisotrópicamente a no ser que el coeficiente de presión del terreno en reposo in-situ sea igual a la unidad.

## **9.5 Ensayos de corte directo consolidados con caja de corte cuadrada o circular**

- (1)P La situación y orientación de la muestra se considerará cuidadosamente de manera que reproduzca tan fielmente como sea posible las condiciones in-situ. En los ensayos a cortante en caja de corte cuadrada o circular, se fuerza la ocurrencia de la fractura sobre o cerca de un plano horizontal en el medio de la muestra de ensayo.
- (2)P Se evitará las presiones de agua negativas o positivas en los poros debidas al cortante durante el ensayo puesto que no pueden medirse y tenerse en cuenta para la interpretación del ensayo. El régimen de cizallamiento debe ser lo suficientemente lento como para que se puedan disipar las presiones de agua en los poros.

## **10 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

### **10.1 Objeto y campo de aplicación**

- (1) Esta norma europea experimental cubre los ensayos de compactación y el ensayo California Bearing Ratio.
- (2) El anexo A.10 suministra una directriz para el número mínimo de muestras especificadas para ensayo de un estrato, al igual que información adicional sobre el ensayo y su valoración.

### **10.2 Ensayos de compactación**

#### **10.2.1 Objetivo**

- (1) Se pueden utilizar los ensayos de compactación de suelos para determinar la relación entre la densidad seca y el contenido en agua cuando se aplica un esfuerzo dado de compactación. Los ensayos dan el contenido de agua óptimo que corresponde a la densidad seca máxima para un esfuerzo especificado de compactación. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan la base para especificar los requisitos de compactación en campo.

#### **10.2.2 Requisitos**

- (1)P Se especificarán o verificarán los siguientes puntos:
  - cantidad y calidad de las muestras;
  - manipulación de suelos con fracciones de tamaño excesivo;
  - tratamiento de suelos cohesivos duros;
  - procedimientos de ensayos que deben aplicarse,
  - rigidez de la base sobre la que se coloca el molde durante la compactación;
  - preparación y maduración de la muestra;
  - equipo (molde y mazas) utilizado según se especifica en la(s) norma(s);
  - energía de compactación.
- (3)P La opción de llevar a cabo ensayos in-situ en lugar de ensayos de laboratorio se tendrá en consideración para tipos especiales de suelos.

#### **10.2.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Se informará de las características de compactación de los suelos junto con la granulometría, contenido de agua natural, límites de Atterberg, densidad de partículas sólidas, y proporción de material de tamaño excesivo por masa en seco con corrección, si se considera adecuado.

## **10.3 Ensayo “California Bearing Ratio” (CBR)**

### **10.3.1 Objetivo**

- (1) El objetivo del ensayo es determinar el “California Bearing Ratio” (CBR) de una muestra compactada o inalterada. El ensayo CBR se emplea para evaluar la resistencia potencial de los materiales del subsuelo, sub-base y base (incluyendo materiales reciclados) para pavimentos de carreteras, ferrocarriles y pistas de aterrizaje. El valor CBR obtenido de este ensayo es el parámetro básico para el diseño de pavimentos flexibles.
- (2) El principio del ensayo es establecer la relación entre fuerza y penetración cuando se fuerza la penetración de un pistón cilíndrico de área transversal normalizada en la superficie del material.

### **10.3.2 Requisitos**

**(1)P** Se especificará o verificará lo siguiente:

- cantidad y calidad de muestras;
- método de preparación de cada muestra de ensayo;
- número de ensayos que se deben realizar en un juego de muestras de ensayo;
- manipulación de suelos con fracciones de tamaño excesivo;
- maduración de muestras;
- si una muestra ha de someterse a inmersión o no;
- si se utiliza inmersión, si debe medirse el hinchamiento;
- sobrecarga a aplicarse para inmersión y para ensayo;
- contenido de agua con el que se ha de preparar las muestras compactadas;
- densidad seca de la muestra o energía de compactación;
- el equipo utilizado (moldes y mazas) es el especificado en la norma;
- si se ha de realizar o no el ensayo en un extremo o en ambos extremos de la muestra.

### **10.3.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P** Los resultados de los ensayos CBR se registrarán junto con la granulometría, contenido de agua natural, límites de Atterberg, peso específico de partículas sólidas, y proporción de material de tamaño excesivo por masa seca, si fuera pertinente.
- (2)P** Elección de los valores de CBR que se realizará sobre la base de los criterios de ingeniería y de la valoración de todos los datos pertinentes.

## 11 ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS

### 11.1 Objetivo

- (1) El objetivo del ensayo es establecer el coeficiente de permeabilidad y/o la conductividad hidráulica para el flujo de agua a través de un suelo saturado en agua. El anexo A.10 relaciona algunos de estos métodos.

### 11.2 Requisitos

- (1) Para los ensayos de permeabilidad sobre arcilla, limos o suelos orgánicos, se emplearán solamente muestras de suelo de Calidad Clase 1 ó 2.
- (2) Para arcillas, si se emplean muestras de Calidad Clase 3 para los ensayos, se debe considerar la reconsolidación para minimizar los efectos de la alteración de las muestras.
- (3) Para materiales como arena y grava, se emplearán muestras de Calidad Clase 3 y se remoldearán o recompactarán las muestras de suelo.
- (4)P Las muestras de arcilla, limos y materia orgánica ensayadas no sólo tendrán el mismo tamaño de partículas y el mismo índice de huecos que el suelo in-situ, sino que además tendrán la misma estratificación y se ensayarán a las tensiones pertinentes.
- (5)P Al planificar la determinación del coeficiente de permeabilidad de un estrato de suelo, se debe considerar los siguientes puntos:
- a) para investigación en campo
    - resultados de investigaciones de campo y laboratorio existentes,
    - medidas existentes de emplazamientos cercanos;
    - número y calidad de muestras;
    - número y tipo de ensayos in-situ.
  - b) para ensayos de laboratorio
    - almacenamiento de muestras;
    - tipo de ensayo preferible para determinación de la permeabilidad;
    - número de muestras;
    - preparación de la muestra;
    - orientación de la muestra;
    - necesidad de ensayos de clasificación adicionales.
- (6)P Para las condiciones en las que se van a emplear los resultados de los ensayos, se debe especificar los siguientes parámetros pertinentes para el ensayo:
- a) en arcilla, limos y suelos orgánicos:
    - condiciones de tensión bajo las cuales se ha de ensayar la muestra;
    - grado de exactitud de la condición de flujo en régimen permanente;
    - dirección de flujo a través de la muestra;
    - gradiente hidráulico bajo el cual se ha de ensayar la muestra;
    - necesidad de contrapresión y grado requerido de saturación.

b) en arena y grava:

- índice de densidad al cual se ha de preparar la muestra;
- gradiente hidráulico bajo el cual se ha de ensayar la muestra;
- necesidad de contrapresión y grado requerido de saturación.

- (7)P Al seleccionar el gradiente hidráulico, se comprobará que el gradiente en el ensayo de laboratorio y el gradiente in-situ caen dentro del dominio de aplicación de la ley de Darcy. El gradiente hidráulico en el laboratorio será cercano al de campo.
- (8) Se deberá comprobar que los cambios de volumen debidos a la consolidación de la muestra sólo tendrán un efecto despreciable en la permeabilidad medida.
- (9)P El informe indicará cualquier desviación en el grado de saturación de las muestras de ensayo, procedimientos de pruebas empleados, composición de la muestra y cualquier otro aspecto de los procedimientos de ensayo preferidos que se mencionan en el anexo A.11.
- (9) El anexo A.11 facilita unas directrices para el número mínimo de muestras y ensayos para un estrato, al igual que información adicional sobre el ensayo y su evaluación.

### 11.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1)P La evaluación comprobará:
- el alcance del efecto sobre los resultados de los ensayos que tienen las condiciones límite (grado de saturación, dirección de flujo, gradiente hidráulico, condiciones de tensión, densidad y distribución de capas, fugas laterales y pérdida de carga en el filtro y las tuberías),
  - de qué forma se comparan estas condiciones con la situación en campo.
- (2) Para suelos no saturados, pueden ser relevantes valores mucho más pequeños que los valores medidos para un suelo saturado.
- (3) Se debe dar debida consideración al hecho de aplicar corrección de temperatura.

## **12 PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE MATERIAL ROCOSO**

### **12.1 Objetivo**

- (1) El objetivo de preparar muestras de roca para ensayos es el de suministrar muestras que sean tan representativas como sea posible de una formación de roca.
- (2) El anexo A.12 facilita más detalles sobre la preparación de las muestras de roca para ensayos y algunas directrices.

### **12.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará como se debe preparar una muestra de roca. Si estas especificaciones no se pueden cumplir, la muestra se preparará siguiendo lo mejor posible las especificaciones y se informará de la forma en que se ha preparado la muestra.
- (2)P Todos los instrumentos y conjuntos para determinar la rectitud, planicidad y perpendicularidad de las superficies extremas se controlarán de una forma regular certificada con tolerancias que satisfagan por lo menos los requisitos de los ensayos específicos de la roca.
- (3)P Se especificará lo siguiente:
  - condiciones de almacenamiento para muestras de roca (corto plazo y/o largo plazo de almacenamiento);
  - condición de humedad de las muestras para ensayo en el momento del ensayo;
  - método de preparar testigos de la roca;
  - método para determinar las tolerancias dimensionales y de forma.
- (4)P Se evitará cualquier cambio en el contenido de agua. Si ocurre un cambio en el contenido de agua natural, se compensará el efecto como parte de la preparación del ensayo.
- (5)P Se definirá la necesidad de mecanizar a una dimensión especificada con referencia al método de mecanizado en el laboratorio, de aplicar refrigerante y de la necesidad de resaturación de las muestras del ensayo.
- (6)P Junto con los datos y resultados para el ensayo específico, lo siguiente se registrará e informará:
  - lugar de procedencia de la muestra de ensayos, incluyendo profundidad/nivel y orientación en el espacio;
  - fechas de preparación de muestras y ensayos;
  - comentarios sobre la representatividad de la(s) muestra(s) ensayada(s);
  - todas las dimensiones y medidas de forma, incluyendo conformidad con los requisitos;
  - contenido de agua de la muestra/testigo (según se ha recibido, durante la preparación, saturada);
  - condiciones de secado (secado al aire o en horno, presurizado o vacío parcial).
- (7) Se informará de la causa y efecto de cualquier cambio en el contenido de agua.



### **12.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

**(1)P** Se presentará los resultados en forma tabulada o en los registros de sondeos.

**(2)P** Se dará la siguiente información para interpretación de los resultados de los ensayos:

- descripción física de la muestra incluyendo el tipo de roca (tal como arenisca, caliza, granito, etc.), situación y orientación de las facetas estructurales inherentes de la roca y cualesquiera discontinuidades e inclusiones o falta de homogeneidad;
- croquis de la muestra de ensayo o fotografía en color para tipos de roca distintos de los monótonos y homogéneos;
- recuperación de testigo y designación de la calidad de la roca, cuando sea posible;
- datos para demostrar las comprobaciones de tolerancia sobre rectitud de los elementos sobre superficie cilíndrica, planeidad de las superficies de apoyo extremas y perpendicularidad de las superficies extremas con respecto al eje del testigo.

## **13 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO**

### **13.1 Generalidades**

#### **13.1.1 Objetivo**

- (1) Entre los ensayos de clasificación para las rocas, se incluyen en esta norma los siguientes:
  - identificación y descripción de las rocas;
  - contenido de agua;
  - densidad y porosidad.
- (2) La clasificación está relacionada con la división de la roca identificada en grupos o categorías específicas definidas para efectos específicos de ingeniería civil. La clasificación está relacionada con los componentes mineralógicos, estructura, zonas de diferente dureza, densidad de la roca, contenido de agua, porosidad y resistencia de la roca.
- (3) El anexo A.13 suministra más detalles y directrices sobre el ensayo de clasificación.

#### **13.1.2 Requisitos**

- (1)P Cuando se informe de los resultados de ensayos de clasificación, se revisarán los resultados conjuntamente, comparándolos con los registros de sondeos y los registros geofísicos correspondientes y la experiencia comparable.
- (2)P El modelo geológico de ingeniería apoyado por la clasificación de suelos y rocas se comparará con toda la información restante disponible: registros de sondeos, registros geofísicos, fotografías de testigos y otra información geológica de fondo disponible. Es esencial la utilización de mapas geológicos disponibles para la clasificación de la roca y de los macizos rocosos.
- (3) Una descripción consistente podría requerir una opinión adicional sobre las evaluaciones y el empleo de ejemplos típicos con comparaciones de rocas.

## **13.2 Identificación y descripción de la roca**

### **13.2.1 Objetivo**

- (1) El método facilita una identificación y descripción del material rocoso y del macizo rocoso sobre la base de la composición mineralógica, tamaño de grano predominante, grupo genético, estructura, meteorización y otros componentes. La descripción se puede llevar a cabo sobre testigos y otras muestras de roca natural y sobre masas de roca in-situ.

#### **13.2.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará lo siguiente:
  - sistema de clasificación de la roca;
  - necesidad de análisis geológicos avanzados;
  - formato de informe.
- (2)P La identificación y descripción de la roca se llevará a cabo sobre muestras recibidas en el laboratorio, independientemente de la homogeneidad de la roca, puesto que la identificación y descripción constituyen el marco para todos los ensayos y evaluaciones.
- (3)P El informe cumplirá con el sistema especificado de clasificación de roca.

### **13.3 Contenido de agua**

#### **13.3.1 Objetivo**

- (1) El contenido de agua de la roca se determina por secado en horno a  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

#### **13.3.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará las medidas para mantener la humedad durante el muestreo y almacenamiento.
- (2)P Se especificará lo siguiente:
- selección de muestras de ensayo;
  - almacenamiento en el laboratorio antes de los ensayos;
  - posible resaturación de muestras desecadas empleando la técnica de saturación al vacío;
  - número de ensayos por estrato;
  - número de ensayos a realizar en paralelo con otros ensayos de la misma formación;
  - número de comprobaciones de exactitud que deben realizarse.
- (3) Idealmente, se emplearán por lo menos 10 trozos de testigo roto, cada uno con una masa de por lo menos 50 gramos y una dimensión mínima de diez veces el tamaño máximo de grano. Sin embargo, para muchos propósitos, será suficiente de 50 a 100 gramos por trozo.
- (4)P El informe expresará si el contenido de agua se corresponde con el contenido de agua in-situ.

#### **13.3.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Se realizarán comprobaciones de plausibilidad comparando el contenido de agua con el contenido de agua totalmente saturada como función de la densidad (o porosidad), de la muestra de ensayo. Se investigarán los resultados anómalos mediante ensayos repetidos.
- (2)P Se realizará comparaciones con correlaciones disponibles de contenido de agua y tipo de roca.

### **13.4 Densidad y porosidad**

#### **13.4.1 Objetivo**

- (1) El ensayo mide la densidad aparente y seca para obtener la porosidad y las propiedades pertinentes de una muestra de roca.

#### **13.4.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará lo siguiente:
- selección de muestras de ensayo;
  - almacenamiento antes de los ensayos;
  - si las muestras desecadas deben resaturarse y mediante que técnica;
  - número de ensayos por formación que se requieren;
  - si se van a realizar ensayos paralelos sobre la misma formación.
- (2) Se ensayarán por lo menos tres muestras de ensayos por cada uno con una masa de por lo menos 50 gramos y una dimensión mínima de diez veces el tamaño máximo de grano. Sin embargo, para muchos efectos, será suficiente establecer una muestra de ensayo representativa de 50 a 100 g.

## **14 ENSAYOS DE HINCHAMIENTO DE MATERIAL ROCOSO**

### **14.1 Generalidades**

#### **14.1.1 Objetivo**

- (1) Algunos materiales rocosos, especialmente aquellos con un alto contenido de arcilla, tienen tendencia al hinchamiento, debilitamiento y desintegración al exponerse al humedecimiento y secado o reducción de tensiones en un ambiente acuoso. Se ha desarrollado una serie de ensayos de índice para clasificar y comparar las muestras de roca con las siguientes medidas:
  - índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen;
  - índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial;
  - deformación por hinchamiento desarrollada en muestra de rocas no confinadas.
- (1) Los ensayos de referencia facilitan una indicación para estimar la capacidad de hinchamiento bajo condiciones bien controladas.
- (2) Los ensayos normalmente se realizan en materiales de roca más blanda como roca arcillosa y pizarra. Los ensayos se pueden utilizar para la caracterización de rocas más duras sometidas a meteorización. Las rocas que se desintegran durante los ensayos se deben clasificar aun más empleando los ensayos de clasificación de suelos pertinentes tales como consolidación, límites líquido y plástico, granulometría, y el tipo y contenido de los minerales arcillosos.
- (3) El anexo A.14 facilita más detalles sobre cada uno de los ensayos de hinchamiento y su interpretación al igual que algunas directrices.

#### **14.1.2 Requisitos**

- (1) Las muestras deben estar de acuerdo estricto con la práctica recomendada para cilindros rectos o prismas rectangulares en el anexo A.16. El tamaño de la muestra permitirá la preparación de muestras de ensayo mediante remoldeado y/o mecanizado en un torno, con el eje para una dirección de medida de hinchamiento perpendicular a la estratificación o foliación.
- (2)P Se especificará lo siguiente:
  - selección de muestras de ensayo;
  - preparación, orientación y dimensiones de muestras de ensayo;
  - número de ensayos por formación requeridos;
  - método de ensayo, equipos y calibraciones;
  - agua a emplearse (agua natural o destilada, química del agua);
  - período de registro;
  - necesidad de curvas de presión de hinchamiento o desplazamiento en función del tiempo transcurrido desde la inundación;
  - elección de los parámetros adicionales requeridos;
  - requisitos del informe.

#### **14.1.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P Los resultados se revisarán a la luz de la descripción, y se establecerán los parámetros de clasificación.

- (2)P El valor empleado en el diseño se derivará de la experiencia en campo con tipos de roca comparables bajo condiciones similares de clima, carga y humedad, pero se puede suplir con los resultados de los ensayos de índice de hinchamiento, siempre y cuando estos resultados se utilicen únicamente como una guía para la evaluación de las propiedades in-situ.
- (3) Los procesos de meteorización a corto y especialmente a largo plazo del hinchamiento, debilitamiento o desintegración debidos a la humedad y al secado se pueden reproducir sólo parcialmente en los ensayos de laboratorio, incluso para condiciones similares de carga y contenido de agua, debido a la influencia de, entre otros, la fisuración natural, tensiones, drenaje y química del agua de los poros.

## **14.2 Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen**

### **14.2.1 Objetivo**

- (1) El ensayo pretende medir la presión necesaria para constreñir una muestra de roca inalterada a volumen constante al sumergirse en agua.
- (2) El ensayo se podrá utilizar para estimar la presión de hinchamiento in-situ por comparación con la experiencia documentada para el estrato de roca.

### **14.2.2 Requisitos**

- (1)P Se corregirá la fuerza aplicada para mantener la condición de cambio de volumen cero debido a la deformación en el sistema de celda de ensayo propiamente dicha (cojinetes a bolas, pandeo de las piedras porosas y papel filtro hacia las caras extremas) y la muestra de roca bajo condiciones de tensión adecuadas.

## **14.3 Índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial**

- (1) El ensayo pretende medir la deformación de hinchamiento axial desarrollada contra una sobrecarga axial constante, cuando una muestra de roca inalterada confinada radialmente se sumerge en agua.
- (2) El ensayo se puede utilizar para estimar el potencial de hinchamiento in-situ por comparación con la experiencia documentada para el estrato de roca. Dependiendo de la tensión vertical aplicada, el ensayo suministra antecedentes para la evaluación del levantamiento vertical o de la deformación lateral de una interfase roca/estructura.

## **14.4 Deformación por hinchamiento desarrollada en una muestra de roca sin confinar**

- (1)P Se pretende que el ensayo mida la deformación de hinchamiento desarrollada cuando una muestra de roca inalterada sin confinar se sumerge en agua. El ensayo se aplicará solamente a muestras que no cambian su geometría de forma apreciable. Se recomienda que las rocas desmenuzables, menos duraderas, se ensayen más adecuadamente empleando un ensayo de hinchamiento confinado.
- (2) El ensayo se podrá utilizar para estimar el potencial de hinchamiento in-situ por comparación con la experiencia documentada para el estrato de roca. El informe debe indicar claramente que la muestra no estaba confinada radialmente durante el ensayo de hinchamiento.

## **15 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL MATERIAL ROCOSO**

### **15.1 Generalidades**

#### **15.1.1 Objeto y campo de aplicación**

(1) Esta norma europea experimental incluye cinco métodos de laboratorio para determinar la resistencia de rocas:

- ensayo de compresión uniaxial y de deformabilidad;
- ensayo de carga puntual;
- ensayo de corte directo;
- ensayo brasileño,
- ensayo de compresión triaxial.

(2) El anexo A.15 facilita más detalles sobre cada ensayo de resistencia y su interpretación.

#### **15.1.2 Requisitos**

(1)P Se especificará lo siguiente:

- las muestras que se van a ensayar;
- preparación de la muestra;
- número de ensayos por formación;
- cualquier parámetro adicional requerido.

#### **15.1.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

(1)P En la interpretación de los resultados de los ensayos de resistencia, el informe incluirá:

- comparaciones con las bases de datos reconocidas para facilitar la revisión de los datos en cuanto a resultados anómalos, al mismo tiempo que se tiene en cuenta el rango natural de parámetros de resistencia a compresión y de deformación en roca;
- correlaciones con los resultados de los ensayos de clasificación;
- todos los resultados de los ensayos se agruparán y analizarán con respecto a la descripción geológica. Se emplearán métodos estadísticos para obtener los parámetros requeridos para diseño.

## **15.2 Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad**

### **15.2.1 Objetivo**

(1) El ensayo de compresión uniaxial mide la resistencia a compresión de las muestras de ensayos cilíndricas de roca. El ensayo pretende clasificar y caracterizar la resistencia de la roca intacta.

#### **15.2.2 Requisitos**

(1)P Se especificará lo siguiente además de los requisitos en 15.1.2:

- orientación y dimensiones de la muestra;
- método de ensayo;
- si fuera pertinente, definición del módulo (tangente, medio o secante) y coeficiente de Poisson como función de tensión o deformación.

### **15.2.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Para la evaluación de los resultados de ensayos véase el apartado 15.1.3.

## **15.3 Ensayo de carga puntual**

### **15.3.1 Objetivo**

- (1) El Ensayo de Carga Puntual pretende ser un ensayo de referencia para la clasificación de los materiales rocosos. Los resultados del ensayo se pueden utilizar también para estimar la resistencia de un grupo de rocas del mismo rango de competencia. El ensayo de carga puntual no es una forma directa de medir la resistencia de la roca sino un ensayo de referencia. La correlación entre los resultados de los ensayos de carga puntual y los requisitos de resistencia debe documentarse en cada caso.
- (2) El ensayo mide el Índice de Resistencia de Carga Puntual de las muestras de roca y su Índice de Anisotropía de Resistencia, que es la relación de las Resistencias de Carga Puntuales en las direcciones que dan los valores mayores y menores.

### **15.3.2 Requisitos**

- (1)P Además de los requisitos de 15.1.2, se especificarán los métodos de ensayo con referencia a testigos, bloques y terrones irregulares.

### **15.3.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1)P De los datos de los ensayos que comprenden por lo menos 10 ensayos simples, se despreciarán los dos valores mayores y los dos menores antes de calcular la media a partir de los restantes.

## **15.4 Ensayo de corte directo**

### **15.4.1 Objetivo**

- (1) El ensayo de corte directo mide la resistencia a corte directo punta y residual como función de la tensión normal al plano de cizallamiento.
- (2) Esta norma europea experimental trata de los ensayos de laboratorio para la determinación de los parámetros de resistencia a cizallamiento básicos y las características superficiales de una discontinuidad que controla la resistencia a cizallamiento. En el último caso, se puede realizar una descripción exacta, incluyendo tipo y dureza de la junta, tipo y espesor del material de relleno, y presencia de agua en la junta.

### **15.4.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará lo siguiente además de los requisitos en el apartado 15.1.2:
- orientación y dimensiones de la muestra de ensayo;
  - especificaciones de la máquina de ensayos;
  - velocidad de desplazamiento horizontal durante el ensayo;
  - selección de la tensión normal que debe mantenerse durante cada uno de los ensayos de cizallamiento.

### **15.4.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Para la evaluación de los resultados del ensayo véase el apartado a 15.1.3.

## **15.5 Ensayo brasileño**

### **15.5.1 Objetivo**

- (1) El ensayo brasileño pretende medir indirectamente la resistencia a tracción uniaxial de muestras de roca preparadas.

### **15.5.2 Requisitos**

- (1)P Se conocerá la orientación de la muestra.
- (2)P Se especificará lo siguiente además de los requisitos del apartado 15.1.2:
- orientación y dimensiones de la muestra de ensayo;
  - método de ensayo.
- (3)P La variabilidad del método de ensayo demanda un ensayo duplicado de las muestras de ensayo cortadas en paralelo.

### **15.5.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Para la evaluación de los resultados de ensayos refiérase al apartado 15.1.3.

## **15.6 Ensayo de compresión triaxial**

### **15.6.1 Objetivo**

- (1) El ensayo de compresión triaxial pretende medir la resistencia de muestras de roca cilíndricas sometidas a compresión triaxial. Una serie de ensayos proveen los valores necesarios para determinar la envolvente de resistencia. A partir de esta envolvente, se podrán determinar el ángulo de resistencia a cizallamiento y la cohesión.
- (2) No se prevé normalmente nada para el drenaje del agua de los poros, ni para la medida de la presión del agua de los poros. En algunos tipos de rocas (por ejemplo, pizarras y caliza porosa y yeso) y bajo ciertas condiciones, la presión del agua de los poros puede tener influencia sobre los resultados. Para dichos tipos de roca, es necesario realizar sistemas de ensayos triaxiales avanzados que permitan medir la presión del agua de los poros y las deformaciones volumétricas. Dichos ensayos pueden incluir técnicas de medidas similares a las utilizadas para resistencia a compresión uniaxial en el apartado 15.1.

### **15.6.2 Requisitos**

- (1)P Se especificará lo siguiente además de los requisitos en el apartado 15.1.2:
- orientación y dimensiones de las muestras de ensayos;
  - método de ensayos.

### **15.6.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Para la evaluación de los resultados de ensayos véase el apartado 15.1.3.



## **ANEXO A (Informativo)**

### **INFORMACIÓN DETALLADA SOBRE MÉTODOS Y ENSAYOS**

#### **A.1 Generalidades**

##### **A.1.1 Objeto y Campo de Aplicación**

- (1) Este anexo informativo suministra información adicional para la mayoría de los aspectos tratados en el texto principal.
- (2) A.2 presenta detalles sobre los requisitos aplicables a todos los ensayos de laboratorio.
- (3) En el anexo B se presenta una bibliografía con una lista de normas que brindan ejemplos de cada ensayo de laboratorio. La siguiente lista presenta una vista global de los números de subsecciones y ensayos tratados en este anexo. El anexo A y el anexo B tienen el mismo sistema de numeración que en el texto principal:

A.2 Traducir

A.3 Calibración

A.4 Preparación de las muestras de suelo para ensayos

A.5 Ensayos para clasificación, identificación y descripción de suelos

A5.1 Humedad natural

A.5.2 Densidad aparente

A.5.3 Densidad de las partículas

A.5.4 Granulometría

A.5.5 Límites de Atterberg

A.5.6 Ensayo de índice de densidad de los suelos granulares

A.5.7 Dispersibilidad del suelo

A.5.8 Susceptibilidad de heladas

A.6 Ensayos químicos sobre suelos y agua freática

A.6.1 Contenido de materia orgánica

A.6.2 Contenido de carbonatos

A.6.3 Contenido de sulfatos

A.6.4 pH (acidez y de alcalinidad)

A.6.5 Contenido de cloruros

A.7 Ensayos de compresibilidad de suelos

A.7.1 Ensayo edométrico con incremento de carga por escalones

A.7.2 Ensayo de hinchamiento en edómetro

A.7.3 Ensayo de colapso en edómetro

- A.8 Ensayos de índice de resistencia en suelos
  - A.8.1 Ensayo de molinete (manual) de laboratorio
  - A.8.2 Ensayo de penetrómetro de bolsillo
  - A.8.3 Ensayo de cono de caída
  - A.8.4 Ensayo de compresión sin confinar
  - A.8.5 Ensayo de compresión sin drenar no consolidado
- A.9 Ensayos de resistencia de suelos
  - A.9.1 Ensayo de compresión triaxial consolidado
  - A.9.2 Ensayo de corte consolidado con caja de corte cuadrada o circular
- A.10 Ensayos de compactación sobre suelos
  - A.10.1 Ensayos de compactación
  - A.10.2 Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R)
- A.11 Ensayos de permeabilidad de suelos
  - A.11.1 Ensayo de permeabilidad de carga constante y variable
- A.12 Preparación de muestras para ensayos de material rocoso
- A.13 Ensayos de clasificación de materiales rocosos
  - A.13.1 Clasificación de rocas
  - A.13.2 Contenido de agua
  - A.13.3 Densidad
  - A.13.4 Porosidad
- A.14 Ensayos de hinchamiento sobre material rocoso
- A.15 Ensayos de resistencia sobre material rocoso
  - A.15.1 Resistencia a compresión uniaxial y deformabilidad
  - A.15.2 Ensayo de carga puntual
  - A.15.3 Ensayo de corte directo
  - A.15.4 Ensayo brasileño
  - A.15.5 Ensayo de compresión triaxial

#### **A.1.2 Abreviaturas y símbolos**

(1) Se han utilizado en este anexo las siguientes abreviaturas:

ASTM	American Society for Testing and Materials,
DGF	Dansk Geoteknisk Forening (Sociedad Geotécnica Danesa),
ETC	European Technical Committee,
LOI	Loss on ignition, (Pérdida por calcinación)
ISRM	International Society of Rock Mechanics,
ISSMFE	International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

## **A.2 Requisitos para todos los ensayos de laboratorio**

### **A.2.1 Requisitos generales**

- (1) La figura A.2.1 presenta esquemáticamente las distintas etapas de investigación de suelos, incluyendo trabajos de laboratorio y campo y el proceso de evaluar los parámetros de suelos y rocas. Las etapas en la figura A.2.1 se detallan en los siguientes apartados.

### **A.2.2 Programa de ensayos**

- (1) Dependiendo de las condiciones locales del terreno, la geología, el tipo y tamaño de la estructura y los aspectos geotécnicos de importancia, se pueden establecer uno o más perfiles alternativos del terreno para tener en cuenta todos los estratos relevantes. Se deberá considerar la geometría menos favorable.
- (2) Los estratos en los cuales los parámetros de suelo y carga difieren sólo ligeramente pueden considerarse como un solo estrato. Una secuencia de capas finas con composición y/o propiedades mecánicas muy variables se puede considerar como una capa si el comportamiento global es relevante y el comportamiento puede representarse adecuadamente mediante parámetros de suelo elegidos para el estrato (DGF, 1995).
- (3) La selección de muestras para utilizarse en la preparación de las muestras de ensayos se debe realizar cuidadosamente, basada en un examen de las muestras disponibles, la naturaleza general del suelo y el emplazamiento y requisitos del proyecto.
- (4) La representatividad de las muestras y de las muestras de ensayo debe establecerse sobre la base de ensayos de clasificación.
- (5) El programa de ensayos de laboratorio depende en parte de la existencia de experiencia comparable. El alcance y calidad de la experiencia comparable para el suelo específico o para suelos comparables deberá quedar establecido. Se utilizarán ensayos de clasificación de suelos para determinar cuan bien se comparan los suelos. Debe considerarse que la geología establecerá la no homogeneidad prevista dentro de los suelos comparables. Se debe utilizar también los resultados de observaciones de campo sobre estructuras cercanas, cuando se disponga de ellas.
- (6) Siempre que sea posible, se debe tener margen para muestras de ensayo adicionales en casos de suelos difíciles, muestras dañadas y otros factores.

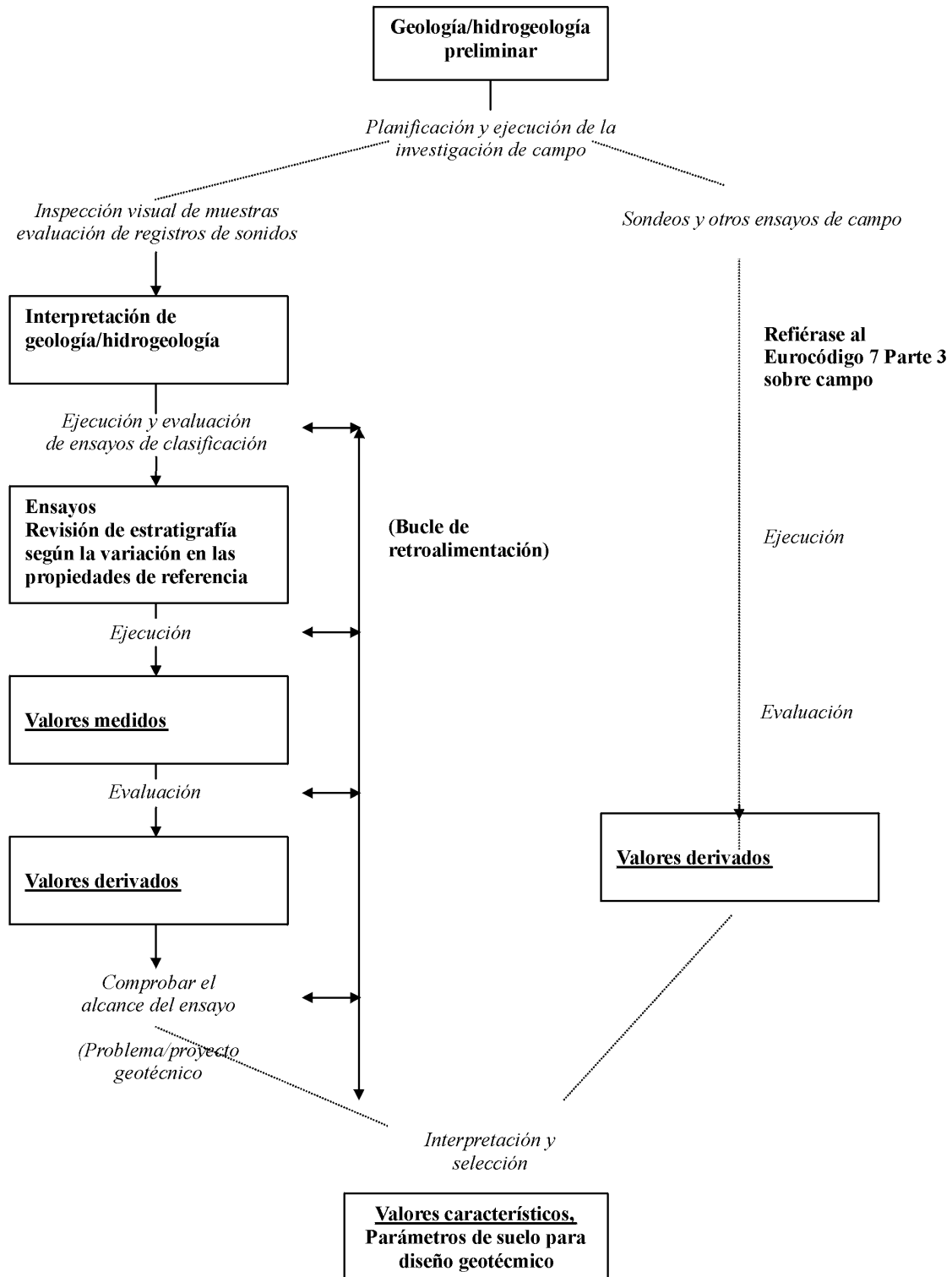
### **A.2.3 Calidad de las muestras de suelos**

- (1) Para ensayos de elementos sobre arcillas, limos y suelos orgánicos, la calidad de las muestras de suelos que se utilizarán depende de la propiedad que se determinará y de los procedimientos de ensayos utilizados.
- (2) Para un relleno o un estrato de arena o grava, se podrá en general ensayar sobre muestras reconstituidas. Las muestras reconstituidas deben tener aproximadamente la misma composición, densidad y contenido de agua que in-situ.

#### **A.2.3.1 Ensayos de clasificación**

- (1) Los ensayos de clasificación de suelos se deben realizar para determinar la composición y las propiedades de referencia de cada estrato de suelos. Las muestras para los ensayos de clasificación se deben elegir de tal forma que los ensayos sean aproximadamente igualmente distribuidos sobre la totalidad del área y en toda la profundidad de los estratos relevantes para diseño.
- (2) Si se encuentran diferencias marcadas y significativas en las propiedades de referencia entre las distintas porciones de un estrato, se debe subdividir adicionalmente el perfil preliminar del suelo.
- (3) Los resultados de los ensayos de clasificación se deben utilizar para comprobar si la amplitud de las investigaciones ha sido suficiente o si se necesita una segunda etapa de investigación (fig. A.2.1).
- (4) Se deben utilizar ensayos de clasificación para comprobar la representatividad de una muestra.

*Problema/proyecto geotécnico (estructura, geometría, cargas)*  
*Recogida y evaluación de información existente*



**Fig. A.2.1 – Etapas de investigación del suelo hasta selección del valor característico para un proyecto, con estructura, geometría y cargas especificadas**

### **A.2.3.2 Especificaciones de ensayo**

- (1) Cuando se vayan a llevar a cabo ensayos sobre muestras inalteradas, se debe especificar el tamaño de las muestras que se prepararán para ensayos, teniendo en cuenta el tamaño de las muestra disponibles, tipo de equipo de ensayos disponible, tamaño mayor de partículas presente en el suelo, presencia de “textura” del suelo (especialmente discontinuidades) y número de muestras de ensayo a preparar.
- (2) Deben especificarse los detalles de los ensayos requeridos para determinar los parámetros relevantes necesarios para diseño.
- (3) Cada tipo de análisis requiere parámetros específicos y no es posible proporcionar parámetros aplicables a todos los tipos de problemas geotécnicos.

### **A.2.3.3 Número de ensayos**

- (1) El número necesario de muestras a ensayar depende de la homogeneidad del suelo, la calidad y cantidad de experiencia comparable con el suelo y la categoría geotécnica del problema.
- (2) El número de ensayos debe ser suficiente para brindar un valor medio fiable para diseño.
- (3) Los anexos A.7 a A.17 sugieren un número mínimo de ensayos para cada tipo de ensayo para proyectos de Categoría Geotécnica 2. Este número mínimo de ensayos sobre elementos para un estrato supone que la variabilidad del estrato ha sido investigada mediante un número suficiente de ensayos de clasificación.
- (4) El número mínimo requerido de ensayos sugerido en A.7 a A.17 se puede reducir si el diseño geotécnico no va a optimizarse y está realizado con valores conservadores de los parámetros del suelo. Se deben emplear las tablas para comprobar si la extensión de los ensayos ha sido suficiente.

### **A.2.4 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Los resultados de todos los ensayos (laboratorio, campo, registros descriptivos durante los sondeos) se deben recoger y presentar conjuntamente. Los datos que representan las medidas individuales de un ensayo se deben referir claramente al método de ensayo utilizado.
- (2) Se deben tomar en consideración los resultados en función de su plausibilidad. Los valores medidos deben compararse con valores de la literatura, correlaciones con las propiedades de referencia y experiencia comparable.
- (3) El valor característico (véase 2.4.3 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1) es el resultado de la evaluación e interpretación de los resultados de ensayos, incorporando otros ensayos de laboratorio, correlaciones, los resultados de ensayos de campo, conocimiento de la geología y cualquier otra experiencia comparable con respecto a la geometría del problema y el tipo de cargas (véase la figura A.2.1).

## **A.3 Calibración del equipo de ensayo**

### **A.3.1 Generalidades**

- (1) Todas las medidas necesarias para la realización de ensayos deben ser trazables a patrones de encontrarse en las normas de medidas a través de una cadena continua de calibraciones. El número de enlaces en la cadena de calibraciones no debería ser mayor que el necesario para alcanzar la exactitud requerida.
- (2) Los instrumentos de medidas y los equipos de ensayo se deben calibrar o recalibrar ya sea por una organización nacional externa acreditada, o por el propio personal del laboratorio utilizando patrones de calibración de referencia.
- (3) El anexo B presenta una vista general de la literatura públicamente disponible sobre el asunto.

### A.3.2 Calibración de instrumentos de medida

- (1) Se deben llevar a cabo todas las calibraciones sólo por personal entrenado adecuadamente. En el caso de calibraciones en el propio laboratorio, éstas deberían realizarse únicamente por personas que han sido autorizadas para llevar a cabo este trabajo, y de acuerdo con procedimientos escritos.
- (2) Los patrones de referencia y los instrumentos utilizados para calibración de los dispositivos de trabajo para realización de ensayos deben tener una exactitud mayor que la del dispositivo de trabajo de manera que la exactitud deseada de las medidas de los ensayos pueda ser alcanzada.
- (3) Los registros de calibración deben incluir los siguientes puntos:
  - nombre del elemento;
  - nombre del fabricante, tipo y número de serie;
  - fecha de recepción y fecha de puesta en servicio;
  - condición al recibirse (por ejemplo: nuevo; usado; reacondicionado);
  - emplazamiento actual (cuando sea adecuado);
  - fecha de cada calibración, y por quien, con referencia a registros de calibración;
  - detalles de mantenimiento, modificación, funcionamiento defectuoso, mala utilización, daño o reparación.
- (4) La trazabilidad de la calibración se debe establecer mediante un certificado de calibración para el elemento relevante, incluyendo la siguiente información:
  - nombre de la organización de calibración;
  - nombre y situación de la organización para la cual se calibra;
  - descripción y número de identificación del instrumento calibrado;
  - método de calibración;
  - equipo utilizado para la calibración;
  - número de certificado de calibración del dispositivo de referencia;
  - temperatura de calibración;
  - datos y resultados de calibración;
  - fecha de calibración;
  - nombre y firma de la persona que ha llevado a cabo la calibración.
- (5) Se debe llevar a cabo recalibración rutinaria de instrumentos de medida a intervalos que estén basados en el uso y en los análisis de los datos de calibración, para asegurar que la exactitud requerida no se pierde entre calibraciones. Los intervalos máximos entre recalibraciones no deben superar a los dados en la tabla A.3.1, independientemente de la utilización e historia de calibración previa. El sistema de aseguramiento de calidad del laboratorio debe indicar la práctica de la calibración.

**Tabla A.3.1**  
**Intervalos máximos entre recalibraciones de instrumentos de medida**

Cantidad física	Tipo de instrumento	Máximo intervalo entre recalibraciones
<b>Instrumentos mecánicos</b>		
Masa	Balanzas	6 meses; comprobación diaria
	Pesos sueltos	1 año
Longitud	Reglas metálicas	2 años
	Calibradores Vernier	1 año
	Micrómetros	1 año
Desplazamiento	Comparadores	1 año
Volumen	Vidrio volumétrico	1 año
	Indicadores de cambio-volumen	2 años
Densidad	Picnómetros de suelos	Calibración inicial sólo
Temperatura	Termómetros	5 años
	Termopares	6 meses
Tiempo	Relojes y temporizadores	1 año
Fuerza	Anillos de carga	1 año
	Pesas	2 años
Presión	Presostatos	6 meses
<b>Instrumentos electrónicos</b>		
Desplazamiento	Transductores electrónicos	6 meses, y comprobación de función antes de cada ensayo
Cambio de volumen		
Fuerza		
Presión		
Ruido eléctrico, derivación	Sistema de adquisición de datos	6 meses
Procesado y cálculos	Sistemas controlados por ordenador	12 meses

- (6) Siempre que se sospeche que ha habido un cambio de exactitud en un instrumento o cuando un instrumento ha sido mal manipulado, reparado, desmontado, ajustado o reconstituido, deberá recalibrarse antes de utilización futura.
- (7) Los resultados de las verificaciones rutinarias de las comprobaciones intermedias (tales como comprobaciones diarias de balanza) deberán tenerse en cuenta al decidir la necesidad de recalibrar o aumentar las frecuencias de recalibración.
- (8) Los dispositivos electrónicos deben calibrarse junto con la misma unidad de lectura que se utiliza para las medidas del ensayo.

- (9) Las calibraciones y comprobaciones deberán tener en cuenta lo siguiente:
- Comprobaciones para ruido eléctrico y derivación a lo largo de períodos correspondientes a la duración de un ensayo típico.
  - Comprobaciones iniciales al arranque de cada ensayo contra medidas mecánicas para asegurar que los transductores están funcionando correctamente.
  - Verificación de que los procesos controlados por ordenador y los cálculos se realizan correctamente.

### **A.3.3 Calibración y comprobación del equipo de ensayo**

- (1) Las especificaciones para equipos de ensayo indicadas en las normas suelen incluir tolerancias de fabricación admisibles sobre dimensiones críticas (tales como medidas lineales; masa). Las tolerancias de trabajo normalmente tienen margen para cambios en estas dimensiones como resultado de desgaste de uso. A no ser que se exprese lo contrario, las máximas tolerancias de trabajo admisibles serán del doble de las tolerancias de fabricación especificadas. Cuando la variación de una dimensión especificada supera este valor, el equipo no se considera que sigue cumpliendo con los estándares y debe retirarse del servicio.
- (2) Se resume en la tabla A.3.2 los requisitos de comprobación y calibración para los aparatos de ensayos, lo cual también incluye los intervalos máximos entre recalibraciones o recomprobaciones.
- (3) Los sistemas de presión y sistemas de drenaje de muestras (incluyendo indicadores de cambio de volumen) se deben comprobar por si tienen fugas antes de comenzar cualquier ensayo. Adicionalmente, se deben llevar a cabo comprobaciones de presión a largo plazo sobre períodos equivalentes a la duración de las etapas de ensayos típicos a intervalos que no excedan de 12 meses.
- (4) Los registros de calibración deben incluir los siguientes puntos:
- nombre del elemento;
  - nombre del fabricante, tipo y número de serie;
  - fecha de recepción y fecha de puesta en servicio;
  - condición al recibirse (por ejemplo: nuevo; usado; reacondicionado);
  - emplazamiento actual (cuando sea apropiado);
  - detalles de cualquier mantenimiento llevado a cabo;
  - detalles de cualquier ajuste, modificación, mal funcionamiento, mala utilización, daño o reparación;
  - detalles de las comprobaciones de calibración, incluyendo fechas;
  - firma de la persona que realiza los registros.



**Tabla A.3.2**  
**Intervalos máximos de calibración y comprobación para aparatos de ensayos**

Elemento	Calibración de la operación de comprobación	Intervalos máximos entre comprobaciones
Hornos de secado	Calibrado del control de temperatura Comprobación de la temperatura Verificación del perfil de temperatura	1 año Diaria Inicialmente
Baño de temperatura constante	Calibrado de temperatura Comprobación de la temperatura	1 año Diaria
Tamices – chapa perforada – tela metálica	Aperturas de medidas Comprobación por medio de juego maestro	6 meses * 3 meses *
Cono de caída	Comprobación del ángulo de cono Comprobación de la masa Agudeza de la punta Libertad de movimiento Calibrado del indicador de penetración	Inicialmente 1 año Cada uso Cada uso 1 año
Equipo de Casagrande para determinación del límite líquido	Comprobar caída Comprobar acanalador Comprobar el desgaste de los cojinetes	Cada uso 1 semana 3 meses
Moldes de compactación	Comprobación de las dimensiones	1 año *
Mazas de compactación	Comprobación de masa y caída	1 año *
Martillos vibratorios	Frecuencia y rendimiento	1 año *
Moldes y conformadores de muestras	Comprobación de las dimensiones	1 año *
Anillos de corte	Comprobación de la condición Comprobación de dimensiones y masa	Cada uso 1 mes *
Vibradores y agitadoras	Inspección Comprobación de la frecuencia	Cada uso 1 año
Bancada edométrica	Deformación bajo carga	Inicialmente, luego 2 años
Agua desionizada	Comprobación de la conductancia indicada Comprobación del pH y TDS	Cada uso 3 meses

\* O después de 400 usos, lo que ocurra primero.

#### A.3.4 Calibración en el propio laboratorio

- (1) Para aquellos instrumentos de trabajo que se deban calibrar en el propio laboratorio, éste debe mantener patrones de referencia o instrumentos adecuados que se utilizan únicamente para calibración y para ningún otro propósito.

- (2) Los patrones e instrumentos de referencia contra los cuales se calibran los instrumentos de trabajo de laboratorio deben tener certificado de calibración suministrado por una organización adecuada acreditada o un ente nacional competente. La tabla A.3.3 resume los ejemplos de instrumentos y otros elementos que pueden utilizarse como patrones de referencia de laboratorio.
- (3) Los patrones e instrumentos de referencia deben tener una exactitud mayor que la del dispositivo de trabajo que calibran. Deben ser recalibrados por una organización acreditada a intervalos no mayores que los especificados en la tabla A.3.3.

**Tabla A.3.3**  
**Ejemplos de instrumentos utilizados como patrones de referencia**

Magnitud física	Instrumentos	Intervalos máximos entre recalibraciones
Masa	Pesos de referencia	2 años
Longitud y desplazamiento	Bloques de medida Galgas	5 años
Temperatura	Termómetro de mercurio Termopar Termómetro de resistencia de platino	5 años
Tiempo	(Ref. a reloj de teléfono nacional, o señales horarias de radio)	—
Fuerza	Anillo de tarado Transductor eléctrico de fuerza Prensa hidráulica utilizando pesos muertos	1 año
Presión	Calibrador con manómetro patrón Calibrador de pesas	1 año
Tamaño de grano	Tamices de referencia	1 año

#### **A.4 Preparación de muestras de suelo para ensayos**

##### **A.4.1 Procedimiento**

- (1) Se están desarrollando procedimientos detallados por parte del Comité Técnico 5 “Ensayos de Laboratorio” (ETC5) de la Sociedad Europea Regional de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Aquí se reproducen solamente una parte de los puntos principales.

##### **A.4.2 Preparación de suelo alterado para ensayos**

###### **A.4.2.1 Secado del suelo**

- (1) El suelo no debe secarse normalmente antes del ensayo, a no ser que se especifique lo contrario, sino que debe utilizarse en su estado natural. Cuando es necesario el secado del suelo, se debe utilizar uno de los siguientes métodos:
  - secado en horno hasta masa constante en horno ventilado a una temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
  - secado parcialmente en horno ventilado a una temperatura especificada menor que  $100 ^\circ\text{C}$ ,
  - secado en aire (parcial) por exposición al aire a temperatura ambiente, con o sin un ventilador.

#### **A.4.2.2 Desagregación**

- (1) Debe especificarse el alcance de desagregación que se aplicará y el tratamiento de cualquier material de cementación restante deberá relacionarse con los requisitos y condiciones específicos. En particular, la desagregación y el tratamiento deben realizarse con el contenido de agua natural del suelo.
- (2) Las agregaciones de partículas deben romperse de tal forma que se evite la rotura de partículas individuales. La acción no debe ser más severa que la aplicada por un utensilio con cabeza de goma. Se tendrá especial precaución cuando las partículas de suelo sean friables. Si ha de prepararse una gran cantidad de suelo, la desagregación debe hacerse por tongadas.

#### **A.4.2.3 Subdivisión**

- (1) El suelo desagregado deberá mezclarse totalmente antes de subdividirse. El proceso de subdivisión debe repetirse hasta que las muestras representativas de las masas mínimas especificadas se obtengan para utilización como muestras de ensayo.

#### **A.4.2.4 Masa de suelo alterado para ensayo**

- (1) Las masas mínimas de suelo alterado requeridas para ensayos se resumen en la tabla A.4.1. Cuando la masa mínima depende del tamaño de las partículas mayores presentes en cantidad significativa, se las relaciona con la masa mínima requerida para tamizado (denominado como MMS) que se presentan a continuación en la tabla A.4.1.
- (2) La masa requerida relacionada en la tabla A.4.1 permite la preparación de una muestra de ensayo, con algún margen para compensar las pérdidas pero no para la inclusión de partículas de tamaño excesivo. Cuando se requiere sólo la fracción fina del suelo para ensayo, la muestra preparada del suelo original debe ser lo suficientemente grande para facilitar la masa especificada de la fracción deseada.
- (3) Cuando sea necesario retirar las partículas grandes de la muestra inicial con objeto de preparar las muestras de ensayo, el rango de tamaños y la proporción expresado como masa seca del material de tamaño excesivo retirado deberá registrarse.

#### **A.4.2.5 Preparación del suelo para compactación**

- (1) El suelo que se va a emplear para ensayos relacionados con la compactación no debe permitirse que se seque. Si es necesario reducir el contenido de agua del suelo, debe realizarse mediante secado por aire.
- (2) El límite superior de tamaños de partículas admisible depende del tamaño del molde que se utilizará. Las partículas mayores que los tamaños indicados más abajo deben retirarse antes de preparar el suelo para ensayos (véase tabla A.4.3).

#### **A.4.3 Preparación de muestras inalteradas**

- (1) El método de preparación de muestras de ensayos a partir de muestras inalteradas del suelo depende del tipo de muestra y del tipo de muestra de ensayo a preparar.
- (2) La masa aproximada de suelo requerida para muestras de ensayo de laboratorio típicas se presenta en la tabla A.4.4. La masa indicada es suficiente para una muestra de ensayo con algún margen para compensar la pérdida producida por el tallado.

**Tabla A.4.1**  
**Masa de suelo requerida para ensayos en muestras inalteradas**

Ensayo		Masa inicial requerida		Masa mínima de muestra de ensayo preparada		
Humedad		(por lo menos dos veces la masa de la muestra)	Arcilla y limo	Arenas	Suelos de grava	
			30 g	(D < 2 mm) 100 g	(D = 2-10 mm) (MMS)	(D > 10 mm) (0,3 x MMS) (500 g min.)
Densidad de las partículas		100 g	10 g (tamaño partícula < 4 mm)			
Tamaño grano						
Tamizado		2 g (MMS)	(MMS)			
Sedimentación			Arcilla y limo	Suelos arenosos		
– hidrómetro		250 g	50 g	100 g		
– pipeta		100 g	12 g	30 g		
Límites de Atterberg		500 g	300 g (tamaño partícula < 0,4 mm)			
Índice de densidad		8 kg	*			
Dispersibilidad		400 g	*			
Compactación		S                  NS				
– Molde “Proctor”		25                  10 kg	*			
– Molde “CBR”		kg                  50 kg	*			
		80				
		kg				
CBR		6 kg	*			
Permeabilidad**			*			
Diámetro	100 mm	4 kg				
	75 mm	3 kg				
	50 mm	500 g				
	38 mm	250 g				
notas:	D	Diámetro mayor de partícula en proporción significativa (10% o más de masa seca)				
	S	Partículas de suelo susceptibles de rotura durante compactación				
	MMS	Masa mínima que debe tomarse para tamizado; véase tabla A.4.2				
	NS	Partículas de suelo no susceptibles de rotura				
	*	Masa de muestra de ensayo dependiente del comportamiento del suelo durante el ensayo				
	**	Probetas para de permeabilidad con altura igual a dos veces el diámetro				

**Tabla A.4.2**  
**Masa mínima para tamizado**

<b>Diámetro mayor de partícula D [mm]</b>	<b>Masa mínima para tamizado (MMS)</b>
75	120 kg
63	70 kg
45	25 kg
37,5	15 kg
31,5	10 kg
22,4	4 kg
20	2 kg
16	1,5 kg
11,2	600 g
10	500 g
8	400 g
5,6	250 g
4	200 g
2,8	150 g
≤ 2	100 g

**Tabla A.4.3**  
**Tamaño admisible de partículas para ensayos de compactación**

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tamaño máximo de partícula</b>
Compactación – en molde de un litro	20 mm
– en molde CBR	37,5 mm
Determinación CBR	20 mm

**Tabla A.4.4**  
**Masa de suelo requerido para ensayos sobre muestras inalteradas**

Tipo de ensayo	Dimensiones de la muestra		Masa mínima Requerida (g)
	Diámetro (mm)	Altura (mm)	
Edómetro	50	20	90
	75	20	200
	100	20	350
Compresión – Sin confinar – Sin consolidar – sin drenar – Triaxial	35	70	150
	38	76	200
	50	100	450
	70	140	1 200
	100	200	3 500
	150	300	12 000
Corte directo	Dimensiones en planta	20  20 150	150  450 30 000
	60x60		
	100x100		
	300x300		
Densidad (D = tamaño partícula mayor*)	Tamaño partícula mayor		125 300 500 1,4 (MMS)**
	D = 5.6 mm		
	D = 8 mm		
	D = 10 mm		
	D > 10 mm		
Notas:      *    D = Diámetro mayor de partícula en proporciones significativas (10% o más por masa). **   MMS = Masa mínima que debe tomarse para tamizado según se especifica en tabla A.4.1.			

#### A.4.4 Preparación de muestras recompactadas

##### A.4.4.1 Requisitos generales

- (1) Los suelos alterados se pueden recompactar para formar probetas de ensayos de acuerdo con cualquiera de los siguientes criterios.
  - compactación empleando un esfuerzo compactador especificado con un contenido de agua especificado;
  - obtener una densidad seca especificada con un contenido de agua especificado.
- (2) No se debe permitir que seque el suelo arcilloso que deba recompactarse para formar probetas de ensayo. Si es necesario reducir el contenido de agua del suelo, esto debe realizarse por secado al aire. Si es necesario añadir agua con objeto de aumentar su humedad, el agua debe mezclarse con todo el suelo, y se debe permitir que éste permanezca en un contenedor sellado durante por lo menos 24 h antes de utilizarlo.
- (3) El suelo se debe dividir antes de la recompactación según se describe en el apartado A.4.3.2.
- (4) El límite superior de tamaños de partículas admisibles depende del tamaño de la probeta de ensayo que deba formarse. Las partículas mayores que los tamaños indicados más abajo deben retirarse antes de preparar el suelo para recompactación (tabla A.4.5).
- (5) La granulometría de una muestra recompactada debe comprobarse antes y después de la compactación.

**Tabla A.4.5**  
**Tamaño de partícula admisible en función del tamaño de la muestra de ensayo**

Tipo de probeta de ensayo	Tamaño máximo de partícula
Consolidación en edómetro	H/5
Corte directo (cajón de corte)	H/10
Resistencia a compresión (muestra cilíndrica con H/d del orden de 2)	d/5
Permeabilidad	d/12
Donde H = altura de la probeta, d = diámetro de la probeta	

#### **A.4.4.2 Probeta recompactada mayor que la probeta de ensayo**

- (1) Al preparar las probetas para ensayos de consolidación en edómetro, corte directo o resistencia a compresión, debe compactarse normalmente el suelo de la forma especificada en un molde adecuado que sea de un tamaño mayor que la probeta de ensayo deseada. La muestra compactada se debe entonces sacar del molde y las probetas de ensayo deben prepararse utilizando los procedimientos descritos para muestras inalteradas.
- (2) Las probetas para ensayos de permeabilidad pueden compactarse directamente en el molde o contenedor en el cual se va a realizar el ensayo.
- (3) Para compactación utilizando un esfuerzo especificado, el esfuerzo compactador aplicado debe normalmente corresponder al utilizado en uno de los dos tipos de ensayos de compactación especificados para el ensayo de compactación (capítulos 10 y A.10). La compactación se debe aplicar por capas y la parte superior de cada capa se debe escarificar ligeramente antes de añadir la siguiente.
- (4) Para obtener una densidad especificada, el suelo puede ya sea compactarse dinámicamente o comprimirse bajo carga estática. Deben llevarse a cabo pesadas de comprobación y medidas de volumen después de colocar cada capa para asegurar que se alcanza la densidad deseada. Puede ser deseable efectuar ensayos preliminares para establecer el método adecuado.
- (5) Si existe arcilla en el suelo, la muestra compactada debe sellarse y almacenarse durante un período de curado de por lo menos 24 h antes de la extraerla para conformar las probetas de ensayo.

#### **A.4.4.3 Recompactación de la probeta de ensayo**

- (1) Para la preparación de probetas de ensayo pequeñas para corte directo, edómetro o resistencia a compresión, el suelo debe apisonarse, amasarse o compactarse en un molde adecuado, anillo o tubo. Se puede utilizar un apisonador manual adecuado, o un aparato de compactación Harvard, o una acción amasadora. Se debe tomar precaución en evitar la formación de cavidades dentro de la muestra. El procedimiento exacto requerido para obtener la densidad deseada o esfuerzo compactador debe determinarse primero por tanteos. Se deben registrar los detalles de manera que el procedimiento pueda repetirse para proveer un número de probetas de propiedades consistentes.
- (2) La compactación de probetas de ensayos cilíndricas de 100 mm de diámetro o más se puede llevar a cabo utilizando una maza de compactación. Se debe especificar el número de capas y el número de golpes por capa.
- (3) Si existe arcilla presente en el suelo, la muestra compactada se debe sellar y almacenar por un período de curado de por lo menos 24 h antes de utilizarlo, para permitir la disipación del exceso de presión de agua en los poros.

#### **A.4.4.4 Resaturación**

- (1) Una probeta recompactada invariablemente estará no saturada inicialmente. Se requerirá resaturación normalmente antes del ensayo y esto se llevará a cabo empleando uno de los métodos de saturación reconocidos que se presentan en los procedimientos de ensayo para resistencia a cortante o ensayos de compresibilidad. Se debe confirmar la saturación total mediante comprobación del valor B.

#### **A.4.4.5 Probeta de ensayo remoldeada**

- (1) El remoldeado se puede alcanzar mediante sellado del suelo en una bolsa de plástico donde se aprieta y amasa con los dedos por varios minutos. Se conforma una probeta de ensayo remoldeada trabajando el suelo dentro del molde adecuado, por ejemplo utilizando un pisón. Esta operación se debe llevar a cabo tan rápidamente como sea posible para evitar el cambio en el contenido de agua y sin atrapar aire. A continuación se debe sacar y recortar la probeta mediante el método adecuado dado en el apartado A.4.3.

#### **A.4.5 Preparación de muestras reconstituidas**

##### **A.4.5.1 Preparación de lodo**

- (1) El suelo se mezclará totalmente con el agua para formar unos lodos homogéneos de un contenido de agua por encima del límite líquido. Es preferible preparar los lodos a partir del contenido de agua natural sin secar el suelo. Sin embargo, también es una opción el secar el suelo y triturarlo hasta obtener un polvo. Si es necesario, se pueden retirar las partículas más gruesas mediante tamizado en vía húmeda empleando un tamiz adecuado. El agua de mezcla puede ser ya sea destilada o desionizada, o de la composición química adecuada. Los lodos serán lo suficientemente fluidos para verterse; un contenido de agua de aproximadamente dos veces el límite líquido es normalmente satisfactorio.

##### **A.4.5.2 Consolidación**

- (1) El molde en el cual se consolida la muestra debe ser lo suficientemente grande para que se pueda obtener una probeta de ensayo, o para preparar ésta por tallado al tamaño requerido después de la consolidación. Se debe prever la posibilidad de drenaje de la muestra sin permitir el escape de partículas de suelo.
- (2) Después de verter los fangos en el molde, se aplicará una consolidación inicial bajo el peso sólo de la placa superior, hasta que los extremos de la muestra se hayan endurecido lo suficiente para evitar la pérdida de material bajo carga adicional. La tensión vertical aplicada para consolidación debe ser suficiente para permitir que se manipule la muestra cuando esté consolidada y se debe mantener el tiempo suficiente para asegurar que la consolidación quede completa.

##### **A.4.5.3 Preparación de la probeta**

- (1) La muestra consolidada se debe extraer del molde y tallarla según sea necesario para la preparación de una probeta o probetas de ensayo, empleando uno de los métodos descritos en el capítulo A.4 para muestras inalteradas.
- (2) Si se han de realizar ensayos de consolidación unidimensionales en el suelo reconstituido, éstos se pueden llevar a cabo en el molde en el cual se las ha consolidado a partir de los lodos.

#### **A.5 Ensayos para clasificación, identificación y descripción de suelos**

##### **A.5.1 Generalidades**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se presentan ejemplos de cómo realizar ensayos para clasificación, identificación y descripción de los suelos.



### A.5.2 Listas de comprobación para ensayos de clasificación

- (1) El número de muestras para ensayo depende de la variabilidad del suelo y de la experiencia que se tenga del mismo y en menor grado que para otros ensayos de suelos en el problema geotécnico. La tabla A.5.1 provee directrices sobre el número de ensayos de clasificación.
- (2) La tabla A.5.2 presenta una lista de comprobaciones para cada uno de los ensayos de clasificación de suelos incluidos en el documento.

**Tabla A.5.1**  
**Número mínimo sugerido de muestras para ensayar en un estrato de suelo.**  
**Ensayos de Clasificación para proyectos de Categoría Geotécnica 2**

Ensayo de Clasificación	Experiencia comparable	
	no	Sí
Granulometría	4-6	2-4
Humedad	Todas las muestras de Calidad Clase 1 a 3	
Ensayo de índice de resistencia	Todas las muestras de Calidad Clase 1	
Límites de Atterberg	3-5	1-3
Pérdida por calcinación (para suelos orgánicos y arcillosos)	3-5	1-3
Densidad aparente	Cada ensayo de elemento	
Índice de densidad	Según sea apropiado	
Densidad de las partículas	2	1
Contenido de carbonatos	Según sea apropiado	
Contenido de sulfatos	Según sea apropiado	
pH	Según sea apropiado	
Contenido de cloruros	Según sea apropiado	
Dispersibilidad del suelo	Según sea apropiado	
Susceptibilidad de heladas	Según sea apropiado	

**Tabla A.5.2**  
**Lista de comprobación para ensayos de clasificación de suelos**

<b>Ensayo de clasificación</b>	<b>Lista de comprobación</b>
Humedad	<p>Comprobar método de almacenamiento de muestras</p> <p>Coordinar programa de ensayos con otros de clasificación.</p> <p>Método estándar de secado en horno no apropiado para haloisitas, montmorillonitas, yeso, suelos orgánicos; puede necesitar precauciones.</p> <p>Informar de presencia de haloisitas, montmorillonitas, yeso, suelos orgánicos.</p> <p>Para suelos gruesos, se puede necesitar corrección del contenido de agua medida.</p> <p>Corrección necesaria para suelos salinos.</p>
Densidad aparente	<p>Se necesita seleccionar el método de ensayo</p> <p>Comprobar los métodos de toma de muestras y manipulación empleados</p> <p>Para proyectos de movimiento de tierras grandes, el método puede necesitar adaptación o el uso de método de campo</p> <p>Para arenas y gravas, puede necesitarse corrección de la densidad medida, utilizar también métodos de campo</p>
Densidad de las partículas	<p>La preparación de muestra (secado en horno vs. muestra húmeda) puede tener influencia en los resultados</p> <p>Comprobar si el material puede tener poros cerrados; para dicho material, pueden ser apropiadas técnicas especiales</p> <p>Informar si el material tiene poros cerrados</p> <p>Si los resultados caen fuera del rango de valores típicos, considerar determinaciones adicionales; la mineralogía y el contenido de materia orgánica puede afectar al resultado</p>
Análisis granulométrico	<p>La selección del método de ensayo depende del tamaño de partícula y de su granulometría</p> <p>Los carbonatos y materia orgánica tienen influencia en los resultados de ensayos; para dichos materiales, retirar carbonatos y materia orgánica si fuese apropiado, o adaptar el método de ensayo</p> <p>Comprobar que se emplea la subdivisión correcta (el tamaño de partícula y la representatividad de la muestra)</p>
Límites de Atterberg	<p>Selección del método de ensayo para límite líquido; varios métodos son aceptables, pero se recomienda el método de cono como preferible</p> <p>Comprobar los métodos de almacenamiento de las muestras</p> <p>Comprobar la preparación de la muestra, especialmente homogeneización y mezclado</p> <p>Comprobar si se ha empleado secado</p> <p>El secado puede influenciar dramáticamente los resultados y se debería evitar en el uso de horno</p> <p>Los suelos que se oxidan se deberían ensayar rápidamente</p> <p>Los resultados no son fiables para suelos tixotrópicos</p>
Índice de densidad relativa para suelos granulares	<p>Comprobar los métodos de almacenamiento de las muestras</p> <p>Seleccionar el tipo de ensayo a utilizar</p> <p>Los resultados dependen mucho del procedimiento utilizado y la variabilidad es elevada para arenas con menos del 10% por peso en finos</p> <p>Las muestras preparadas tienen un alto grado de heterogeneidad</p>
Dispersibilidad del suelo	<p>Es necesario considerar la especificación de distintas condiciones de compactación para las muestras</p> <p>Evitar secado de la muestra antes del ensayo</p> <p>Es necesario seleccionar los procedimientos de ensayo a utilizar</p> <p>Es necesario realizar además ensayos de clasificación</p>
Susceptibilidad a las heladas	–

### A.5.3 Humedad natural

#### A.5.3.1 Procedimientos de ensayo

- (1) Se relacionan en el anexo B.5 ejemplos de cómo realizar ensayos para clasificación, identificación y descripción de suelos.

#### A.5.3.2 Evaluación de resultados de ensayos

- (1) Si el agua en los suelos es salina, las sales disueltas permanecerán en el suelo después del secado y pueden dar un resultado incorrecto de la humedad. Un valor más apropiado es el del "contenido de fluido", es decir la masa de fluido (agua más sales) por unidad de masa de suelo seco.
- (2) Para un suelo de grano grueso, el contenido de agua obtenida en el laboratorio sobre una muestra para la cual el diámetro de grano máximo está limitado por el tamaño de la muestra, puede diferir del contenido de agua "in situ". En tal caso, el contenido de agua se debe corregir como función del porcentaje de granos que sean mayores que el diámetro máximo de grano.

### A.5.4 Densidad aparente

#### A.5.4.1 Procedimientos de ensayo

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se presentan ejemplos de cómo realizar ensayos de densidad aparente de suelos.
- (2) El método de medida lineal es adecuado sólo para suelos cohesivos. Para suelos de granos gruesos, la densidad se puede normalmente determinar con suficiente exactitud a partir de los ensayos in-situ y más exactamente a partir de las medidas sobre muestra "inalterada" congelada.
- (3) La tabla A.5.3 presenta una directriz para el número mínimo de ensayos requeridos para un estrato de arcilla o de suelos limosos. En la tabla, una especificación de sólo un ensayo representa una verificación del conocimiento existente.

#### A.5.4.2 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) Los resultados de ensayos se deben comprobar calculando el grado de saturación que no debe superar el 100%.
- (2) Para suelo de grano grueso, la densidad del suelo seco obtenida en el laboratorio sobre una muestra para la cual se limita el diámetro máximo de grano debido al tamaño de la muestra, puede diferir de la densidad del suelo seco del lugar. En tal caso, la densidad de suelo seco se debe corregir como función del porcentaje de granos que sean mayores del diámetro máximo de grano.

**Tabla A.5.3**  
**Número mínimo de muestras de suelo para ensayos de un estrato**  
**Ensayos de densidad para proyectos de geotecnia Categoría 2**

Variabilidad en densidad medida	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
Rango de densidad medida $> \approx 0,02 \text{ g/cm}^3$	4	3	2
Rango de densidad medida $< \approx 0,02 \text{ g/cm}^3$	3	2	1

**A.5.5 Peso específico**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de cómo realizar ensayos para la densidad de partículas de suelo.
- (2) El volumen de material necesario para determinación de la densidad relativa de las partículas de suelo es muy pequeño (mínimo de 10 g con partículas de tamaño menor que 4 mm). La muestra normalmente se extrae de una muestra utilizada para otro ensayo de laboratorio.
- (3) En materiales porosos con poros cerrados, las partículas sólo tienen una densidad aparente. La densidad de partículas sólidas debería entonces medirse en el laboratorio empleando una técnica especial.
- (4) En el caso de suelo con materiales orgánicos, los ensayos de laboratorio deberían seguir procedimientos especiales. De lo contrario, los valores medidos deben utilizarse con precaución.
- (5) Se pueden aplicar métodos modernos tales como el picnómetro-He. Los métodos se deben calibrar por comparación con uno de los métodos más comúnmente utilizados, por ejemplo, cualquiera de los métodos descritos en los documentos relacionados en el apartado B.5.5.

**A.5.6 Análisis granulométrico**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de cómo realizar ensayos para análisis granulométricos de suelos.
- (2) Para suelos de granos gruesos sin cohesión (predominantemente tamaños de grava y/o arena), la granulometría se determina mediante tamizado después de lavado y la sedimentación normalmente no es necesaria. Para suelos de grano fino (predominantemente tamaños de limos y/o arcilla), se utiliza el procedimiento de sedimentación, incluyendo tamizado de las partículas con tamaño de arena. Para suelos mixtos (conteniendo todos los rangos de tamaños), se emplean tanto tamizado como sedimentación.
- (3) En materiales de granulometría mezclada tales como morrenas, es a veces difícil obtener la masa necesaria para el análisis granulométrico en un sondeo de exploración. Es preferible llevar a cabo dicho análisis para masas ligeramente menores que las indicadas en A.3 en lugar de mezclar muestras no contiguas de la misma capa.
- (4) Debe tenerse especial cuidado con los ensayos sobre arcillas y suelos orgánicos. Por ejemplo, las partículas de arcilla pueden tener un efecto cementador que podría convertirse en irreversible durante el secado a 105 °C, la materia orgánica se oxida parcialmente durante el secado a 105 °C.
- (5) Se pueden aplicar también los métodos modernos que incorporan sistemas de detección utilizando rayos-X, rayos láser, medidas de densidad y contadores de partículas. Se deberían calibrar por comparación con los métodos sugeridos en esta subsección.

**A.5.7 Límites de consistencia**

- (1) Se presentan en los documentos relacionados en el anexo B.5 ejemplos de cómo llevar a cabo los ensayos para determinar la consistencia de suelos.

**A.5.8 Ensayo de índice de densidad para suelos granulares**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de cómo realizar los ensayos para determinar el índice de densidad de suelos granulares.
- (2) El número mínimo recomendado de muestras de suelos que se deben ensayar para un estrato de suelo en proyectos de Geotecnia Categoría 2 es de 2 para la determinación de la densidad máxima y 3 para la determinación de la densidad mínima.

## **A.5.9 Dispersibilidad del suelo**

### **A.5.9.1 Generalidades**

- (1) Algunos suelos arcillosos naturales se dispersan rápidamente en el agua de movimiento lento por erosión coloidal a lo largo de fisuras o de otros canales de flujo. Dichos suelos son altamente susceptibles de erosión y de tubificación. La tendencia de erosión dispersiva en un suelo depende de la mineralogía y química de la arcilla y de las sales disueltas en el agua de los poros del suelo y en el agua erosionante. Las arcillas dispersivas tienen normalmente un alto contenido de sodio.

### **A.5.9.2 Procedimientos comunes para todos los ensayos**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de cómo realizar los ensayos de dispersibilidad de suelos.
- (2) Los ensayos de dispersibilidad no son de aplicación a suelos con un contenido de arcillas menor que 10% y con un índice de plasticidad menor o igual que 4%.
- (3) El número mínimo recomendado de muestras de suelo a ensayarse para un estrato de suelos en proyectos de Geotecnia Categoría 2, es de 2 para el ensayo de tubificación (pinhole), de 2 para el ensayo de doble densímetro, de 2 para las sales solubles en el agua de los poros y de 3 para el ensayo de desmoronamiento de terrones. La especificación del número de ensayos a realizar debe corresponder al técnico encargado.

### **A.5.9.3 Ensayo de tubificación (pinhole)**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B se pueden encontrar ejemplos de cómo realizar los ensayos para el ensayo de tubificación (pinhole). En caso de que se sigan estos ejemplos, se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

Se recomienda seguir la literatura relacionada en el anexo B, excepto que:

- la muestra se debería compactar en un molde de miniatura Harvard con un contenido de agua cercano al límite plástico.
- Se deberían emplear cinco capas para la totalidad de la altura de la muestra de  $(38 \pm 2)$  mm,
- Se debe aplicar un esfuerzo de compactación constante en cada capa de manera que la densidad seca resultante de la muestra sea igual al 95% de la densidad seca máxima determinada en el laboratorio a partir de los ensayos de compactación estándar.

- (2) La presentación de los resultados debería incluir:

- resultados de ensayos de clasificación;
- densidad de la muestra ensayada;
- presión hidrostática empleada y tiempo de ensayo bajo cada presión;
- caudales a través de la muestra;
- turbidez del fluido al final del ensayo;
- tamaño y forma del agujero después del ensayo;
- clasificación del suelo de acuerdo con el patrón de referencia.

**A.5.9.4 Ensayo del doble densímetro**

- (1) La presentación de los resultados debería incluir las curvas granulométricas obtenidas con y sin una solución dispersora y agitado/mezclado mecánico, y el porcentaje de dispersión.

**A.5.9.5 Ensayo de desmoronamiento de terrones**

- (1) La presentación de los resultados debería incluir la clasificación del suelo como dispersivo o no dispersivo y los detalles del reactivo utilizado. En los documentos relacionados en el anexo B.5 se presentan ejemplos de dichas clasificaciones.

**A.5.9.6 Sodio y sales disueltas en extracto acuoso**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de los procedimientos de ensayo para la determinación de sales solubles en el agua de los poros.
- (2) El informe debería presentar el porcentaje de sodio intercambiable obtenido.

**A.5.10 Susceptibilidad a la helada****A.5.10.1 Procedimientos del ensayo**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.5 se dan ejemplos de los procedimientos de ensayo para la determinación de la susceptibilidad a la helada de los suelos.
- (2) Se puede obtener una muestra en su estado natural sin helar en suelos de arcilla blanda y limosos o helados en arcilla, limos y arenas (sin grava). Si el tamaño de la muestra no es directamente adecuada para el ensayo, la muestra puede reconformarse, haciéndolo con mucho cuidado.
- (3) La muestra que se recompactará se puede remoldear fuertemente siempre que la granulometría no se modifique durante la operación de muestreo.
- (4) El diámetro de una muestra en su estado natural debe ser de por lo menos cinco veces el tamaño de grano máximo y no menor que 75 mm. Para una muestra reconstituida, se debe utilizar un tamaño mínimo de 150 mm.
- (5) Se puede saturar con contrapresión antes del ensayo de hinchamiento por helada tanto una muestra natural como una muestra reconstituida.
- (6) Si se requiere un ensayo CBR, éste se debería llevar a cabo sobre una muestra compactada con un contenido de agua cercano a la humedad óptima, según se determina de la curva de compactación de un ensayo de compactación (véase 12.2). La muestra se debería compactar en un molde en capas sucesivas o en una máquina de compresión giratoria.
- (7) En general se lleva a cabo un ensayo CBR por muestra. Sin embargo, se deberían llevar a cabo varios ensayos para evaluar la influencia de, por ejemplo, las variaciones del contenido de agua y la fuerza compactadora.

**A.5.10.2 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) Se considera un suelo como susceptible de helada si presenta un hinchamiento segregacional en el ensayo de levantamiento por heladas en el laboratorio.
- (2) El grado de la acción de helada en suelos arcillosos con baja permeabilidad queda afectado por la duración de la estación invernal, es decir, la altitud y latitud del emplazamiento considerado. Para estos suelos, cuanto más dure el invierno más severa es la acción de la helada. Esto se debería tener en cuenta en los países nórdicos y alpinos.

## **A.6 Ensayos químicos de suelos y agua freática**

### **A.6.1 Generalidades**

#### **A.6.1.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) Los documentos relacionados en el anexo B.6 presentan ejemplos de procedimientos de ensayo para los cinco ensayos químicos. También existen métodos equivalentes en otras normas nacionales y en los libros de texto.
- (2) Los ensayos químicos rutinarios antes mencionados utilizan métodos de ensayo tradicionales que están dentro de la capacidad de muchos laboratorios geotécnicos. Los ensayos químicos para la presencia de otras sustancias se deberían realizar normalmente por un laboratorio especializado en química.
- (3) Unos cien gramos de suelo seco son suficiente para la mayor parte de los ensayos químicos. Normalmente se requiere una muestra mucho mayor de suelo seco al comienzo, pero sólo se requiere una muestra muy pequeña para el ensayo específico. Es esencial un mezclado riguroso de la muestra inicial y procedimientos de subdivisión correctos.
- (4) La temperatura de almacenamiento antes del ensayo puede tener influencia en la degradación biológica de la materia orgánica. Siempre que sea posible, el material de la muestra para ensayos químicos debe mantenerse a una temperatura de 5 a 10 °C.
- (5) La mayor parte de los métodos de ensayo incluyen una rutina de calibración empleando muestras “ciegas” y muestras de referencia. Los métodos electroquímicos como el pH tienen unos esquemas de calibración bien definidos con un número de soluciones de pH conocido.
- (6) Algunos requisitos especiales pueden necesitar desviaciones de los procedimientos normalizado, incluyendo la preparación de la muestra. Cualquier desviación de procedimiento se debería informar claramente, incluyendo las razones para dichas desviaciones.

#### **A.6.1.2 Número de ensayos**

- (1) El número de ensayos especificados debe tener en cuenta el hecho de que el contenido de materia orgánica, contenido de carbonatos, contenido de sulfatos, valor de pH y contenido de cloruros puede variar ampliamente incluso dentro de un estrato geológico. Pueden ser necesarios múltiples ensayos sobre muestras muy cercanas para definir la variabilidad local.

### **A.6.2 Contenido de materia orgánica**

#### **A.6.2.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.6 se presentan ejemplos de procedimientos de ensayo para la determinación del contenido de materia orgánica.
- (2) Las pérdidas por calcinación se determinan normalmente sobre una muestra representativa del suelo más fina de 2 mm como masa perdida por ignición de una muestra preparada a la temperatura especificada. El contenido de materia orgánica se calcula bajo la hipótesis de que la masa orgánica se quema totalmente por la ignición, y la pérdida de masa se debe solamente a la ignición de la materia orgánica.
- (3) La pérdida por calcinación generalmente se relaciona con el contenido de materia orgánica de suelos que contienen poca o ninguna arcilla y carbonatos. Para los suelos con mayor porcentaje de arcilla y/o carbonatos, los factores no relacionados con el contenido de materia orgánica podrían ser responsables de la mayor proporción de la pérdida por calcinación.
- (4) Es necesaria una temperatura de secado más baja que la habitual ( $105 \pm 5$ ) °C para evitar la oxidación de algunas materias orgánicas durante el secado. El ejemplo mencionado en el apartado A.6.2.1(1) especifica una temperatura de secado de ( $50 \pm 2,5$ ) °C, que podría no eliminar toda el agua. Pueden ser necesarios ensayos de comprobación para establecer una temperatura adecuada de secado.

- (5) La temperatura por calcinación especificada en el ejemplo en A.6.2.1(1) es  $(440 \pm 25) ^\circ\text{C}$ , pero otras normas especifican temperaturas de hasta  $750 ^\circ\text{C}$ . Se debería tener precaución al especificar la temperatura por calcinación, teniendo en cuenta lo siguiente:
- algunos minerales de arcilla pueden comenzar a desintegrarse a temperaturas de unos  $550 ^\circ\text{C}$ ;
  - el agua ligada químicamente puede desaparecer con temperaturas de ensayo más bajas; por ejemplo en algunos minerales arcillosos, esto puede comenzar a  $200 ^\circ\text{C}$ , y el yeso se desintegra a partir de unos  $65 ^\circ\text{C}$ ;
  - los sulfuros se pueden oxidar, y los carbonatos desintegrarse, en el rango de  $650 ^\circ\text{C}$  a  $900 ^\circ\text{C}$ .

Para la mayoría de los casos, puede ser adecuada una temperatura de calcinación de  $500 ^\circ\text{C}$  o  $520 ^\circ\text{C}$ .

- (6) Los períodos de secado y calcinación deben ser suficientes para asegurar que el equilibrio se ha alcanzado. Si el período de ignición es menor que tres horas, el informe debe documentar que la masa constante se confirmó mediante pesadas repetidas.

#### A.6.2.2 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) La cantidad de carbón orgánico y materia orgánica se puede relacionar con la pérdida por calcinación, si esto último se corrige en cuanto a otros constituyentes expulsados.

#### A.6.3 Contenido de carbonatos

##### A.6.3.1 Procedimientos de ensayo

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.6 se presentan ejemplos de procedimientos de ensayo para la determinación de contenido de carbonatos. Este documento contiene dos procedimientos alternativos. A efectos de esta norma europea experimental, el método de valoración rápida es el procedimiento preferido. Este método debe dar resultados que son lo suficientemente exactos para suelos, siempre que se tenga precaución en asegurar que se ha terminado el proceso de disolución y que se efectúan suficientes ensayos duplicados.
- (2) Los documentos relacionados en el anexo B también indican un método gravimétrico<sup>1)</sup>. El método de valoración rápida para suelos debería dar una exactitud suficiente para suelos, siempre que se tenga precaución para que se finalice el proceso de disolución y que se realice un amplio número de ensayos duplicados.
- (3) Otros ejemplos presentados en los documentos relacionados en el anexo B determinan el contenido de carbonatos midiendo el dióxido de carbono liberado ( $\text{CO}_2$ ) en un gasómetro bajo temperatura y presión atmosférica controladas.

##### A.6.3.2 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) El contenido de carbonatos en porcentaje de carbonatos en la muestra se expresa como cantidad de  $\text{CO}_2$ . Esto es formalmente correcto pero poco práctico para el diseño. Los resultados pueden darse en carbonato cálcico equivalente  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , es decir la composición de carbonato para la mayoría de los tipos de suelo. La cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  equivalente se obtiene de la cantidad de  $\text{CO}_2$  por la ecuación:  $\text{CO}_3\text{Ca} = 2,273 \cdot \text{CO}_2$ .

donde

- $\text{CO}_3\text{Ca}$  es el contenido de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  como porcentaje del peso seco,
- $\text{CO}_2$  es el contenido de  $\text{CO}_2$  con porcentaje de peso seco

---

1) Similar al BS 1881: Parte 124 para hormigón endurecido.



#### **A.6.4 Contenido de sulfatos**

##### **A.6.4.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B se dan ejemplos de los procedimientos de ensayo para determinación del contenido de sulfatos. El método preferido es el gravimétrico para análisis de ácido o de extracto de agua o agua freática, de los mencionados en este documento, a no ser que se pueda demostrar mediante análisis paralelos que un método alternativo tiene una exactitud igual o mejor.
- (2) La forma cristalina de sulfato cálcico, yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), comienza a perder su agua de cristalización a temperaturas mayores que 65 °C aprox., lo cual puede dar lugar a unos contenidos de agua medidos, erróneamente elevados. Se deberían especificar temperaturas de secado más bajas que las normales para determinar el contenido de agua.
- (3) La relación entre  $\text{SO}_3$  y  $\text{SO}_4$  viene dada por  $\text{SO}_4 = 1,2 \cdot \text{SO}_3$ , con los contenidos de  $\text{SO}_3$  y  $\text{SO}_4$  expresados como porcentaje.

##### **A.6.4.2 Evaluación de los resultados de ensayo**

- (1) La interpretación debería considerar que la solubilidad del sulfato cálcico en agua es baja, pero que en tiempo geológico, se pueden disolver cantidades apreciables, como ocurre por ejemplo en las formaciones kársticas. Se necesita cuidado especial cuando los resultados son marginales con respecto a las categorías de clasificación.
- (2) Las muestras con contenido de yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) se debería secar a una temperatura de 50 °C. A temperaturas más elevadas, la deshidratación parcial por pérdida de moléculas de agua ligadas químicamente puede producir resultados erróneos.
- (3) La presencia de algunas otras sustancias (notablemente sulfuros y sesquióxidos) puede afectar a las reacciones químicas, que luego tienen influencia en los resultados de los ensayos. Los sulfuros en el suelo se pueden oxidar a largo plazo para producir sulfatos adicionales.

#### **A.6.5 Valor de pH (acidez y alcalinidad)**

##### **A.6.5.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.6 se presentan ejemplos de los procedimientos de ensayo para la determinación del valor de pH. Se dispone de varios métodos para determinar valores de pH. Entre ellos, el método electrométrico, que facilita una lectura directa de pH ya sea en una suspensión preparada del suelo o en el agua freática, se recomienda como el método definitivo.

##### **A.6.5.2 Evaluación de los resultados de ensayo**

- (1) Los resultados erróneos de los ensayos pueden estar provocados por:
  - omisión o calibración equivocada del medidor de pH antes y después de cada grupo de ensayos;
  - protección inadecuada de los electrodos cuando el instrumento no está en uso;
  - no permitir que el medidor de pH alcance la estabilidad antes de tomar lecturas de pH;
  - contaminación debida a lavado inadecuado de los contenedores para toma de muestras de agua freática.

### **A.6.6 Contenido de cloruros**

#### **A.6.6.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) Los procedimientos para la determinación del contenido de cloruros incluyen:
  - método de Mohr para cloruros solubles en agua;
  - método de Volhard para cloruros solubles en ácido o solubles en agua;
  - procedimientos electroquímicos.
- (2) Los primeros dos métodos hacen uso de la reacción de intercambio entre los cloruros y el nitrato de plata, pero se emplean distintos métodos de análisis. Ambos métodos requieren una observación cuidadosa y efectuar pesadas. El tercer método está basado en la medida de conductividad, en disoluciones de la muestra con contenido de agua conocido.
- (3) La presencia de cloruros se puede confirmar a partir de un ensayo cualitativo rápido: se toman unos 5 ml de agua freática filtrada, o de 1:1 de extracto de suelo-agua, en una probeta. Si es altamente alcalina (pH 12-14), añada unas pocas gotas de ácido nítrico para acidularla. Añada unas pocas gotas de disolución de nitrato de plata al 1%. Una turbidez apreciable indica que existen cloruros en una cantidad cuantificable, y se puede determinar por uno de los procedimientos de ensayo.
- (4) El método de Volhard es la base de los ensayos dados en la Norma Inglesa BS 1377: Parte 3<sup>2)</sup>, apartado 7.2 (cloruros solubles en agua) y apartado 7.3 (cloruros solubles en ácido) y del método dado en la Norma Inglesa BS 812: Parte 118 para áridos minerales. En principio, se añade una disolución de nitrato de plata saturada a la disolución de cloruro acidulado y la porción que no reacciona se revalora con tiocianato de potasio, utilizando aluminio férrico como indicador.
- (5) En el método de Mohr, la disolución de ensayo y una de testigo para comparación se valoran con una disolución 0,02 N de nitrato de plata, utilizando cromato potásico como indicador. Este método es preferible para determinar cloruros en el agua freática.

#### **A.6.6.2 Evaluación de los resultados de ensayos**

- (1) La relación teórica entre la salinidad expresada como contenido de cloruro sódico y contenido de cloruros puede no mantenerse debido a la naturaleza muy móvil del anión cloruro.

### **A.7 Ensayo de compresibilidad de suelos**

#### **A.7.1 Procedimientos de ensayos**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.7 se presentan ejemplos de los procedimientos de ensayo para compresibilidad de suelos.
- (2) Para muestras inalteradas de suelos cohesivos normalmente o ligeramente sobreconsolidados, es normalmente suficiente un ciclo de carga-descarga para determinar la compresibilidad. Con suelos más altamente sobreconsolidados que han sido afectados por alteraciones de la muestra, se debe realizar un ciclo de precarga para reducir las deformaciones debidas a la alteración de la muestra, efectos de estratificación y tensiones horizontales menores que las in-situ.

#### **A.7.2 Número de ensayos**

- (1) Para un estrato de suelo que contribuye significativamente al asentamiento de una estructura, la tabla A.7.1 facilita una directriz para el número mínimo de ensayos requeridos como función de la variabilidad del suelo y la experiencia comparable existente con el tipo de suelo.

---

2) Véase anexo B: Bibliografía.

- (2) El número de muestras ensayadas debería aumentarse si la estructura fuera muy sensible a los asentamientos. En la tabla A.7.1, una especificación de un único ensayo representa una verificación del conocimiento existente. Si los resultados nuevos del ensayo no están de acuerdo con los datos existentes, se deberían efectuar ensayos adicionales.

**Tabla A.7.1**  
**Número mínimo de muestras de suelo a ensayar para un estrato de suelo.**  
**Ensayo edométrico con incremento de carga progresivo para proyectos de Geotecnia Categoría 2**

Variabilidad del módulo edométrico $E_{oed}$ en el rango de tensiones pertinentes	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
Rango de valores de $E_{oed} > \approx 50\%$	4	3	2
$\approx 20\% <$ Rango de valores de $E_{oed} < \approx 50\%$	3	2	2
Rango de valores de $E_{oed} < \approx 20\%$	2	2	1*
* Es suficiente un ensayo edométrico y ensayo de clasificación para verificar la compatibilidad con el conocimiento comparable			

### A.7.3 Evaluación de características de compresibilidad

- (1) Existen cuatro métodos ampliamente utilizados para determinar la compresibilidad de un suelo:
- cálculos de asentamientos medidos;
  - evaluación empírica de ensayos indirectos in-situ tales como sondas;
  - medidas directas mediante ensayos in-situ tales como placas de carga y ensayos con presiómetros;
  - ensayos de compresión con muestras de suelo en el laboratorio.

La evaluación del coeficiente de permeabilidad se puede optimizar mediante una combinación de estos métodos.

- (2) El método más fiable para evaluar las características de compresibilidad de un suelo es cálculo a partir de los asentamientos medidos bajo tensiones comparables. Para cimentaciones sobre arena y grava, frecuentemente se utilizan ensayos de campo tales como sondas: éstas se deben interpretar empíricamente, normalmente se basan en experiencia comparable. En casos en los que se esperen arenas, suelos más gruesos, limos y arcillas, es deseable una combinación de métodos de campo y de laboratorio.

### A.8 Ensayos de índices de resistencia de suelos

- (1) Ejemplos de procedimientos de ensayo para los siguientes ensayos de índice de resistencia:
- molinete de laboratorio;
  - penetrómetro de bolsillo;
  - cono descendente, ensayo de compresión sin confinar;
  - ensayo de compresión sin consolidar sin drenar.

que se dan en los documentos relacionados en el anexo B.8.

- (2) La tabla A.8.1 sugiere un resumen de lista de comprobación sobre procedimientos de ensayo para el ingeniero, para cada ensayo de índice de resistencia de suelos incluidos en esta norma europea experimental.
- (3) Los ensayos son de aplicación únicamente a suelos arcillosos.

**Tabla A.8.1**  
**Lista de comprobación para ensayos de índice de resistencia sobre suelos arcillosos**

<b>Ensayo de índice de resistencia</b>	<b>Lista de comprobación</b>
Todos los ensayos de índice de resistencia	<p>Los ensayos facilitan índice aproximado de resistencia a cortante.</p> <p>Existe una gran incertidumbre en las medidas.</p> <p>Utilice con precaución los resultados para suelos no homogéneos y con juntas y planos de deslizamiento.</p> <p>Todos los resultados están condicionados por la rapidez con que se aplica la carga.</p> <p>Se debe comprobar la necesidad de repetir los ensayos</p>
Molinete de laboratorio	<p>El ensayo brinda además una medida de sensibilidad y una resistencia a cortante remoldeada.</p> <p>Comprobar el modo de giro (operado a mano vs. motorizado).</p> <p>Se pueden realizar los ensayos sobre muestras extraídas o en tubo de muestreo.</p>
Penetrómetro de bolsillo	<p>La muestra de ensayo se debe limpiar de zonas secas meteorizadas.</p> <p>Empujar lentamente el pistón de carga, perpendicularmente y a velocidad constante.</p> <p>Realizar tantas repeticiones de ensayo como sea posible.</p> <p>Comprobar que la zona ensayada es representativa comprobando el material bajo la huella dejada por el pistón.</p>
Cono descendente	<p>Se puede realizar el ensayo sobre muestras extraídas o en tubo de muestreo.</p> <p>Suministra además una medida de sensibilidad en la muestra remoldeada.</p> <p>Comprobar el desgaste de la punta del cono.</p> <p>Comprobar el ángulo de la punta del cono.</p>
Compresión sin confinar	<p>La resistencia a compresión sin confinar es dos veces la resistencia a cortante no drenada.</p> <p>Evitar retrasos entre preparación y ensayo para evitar el secado de la muestra.</p> <p>Utilizar sólo muestras de arcilla blanda que mantienen el contenido de agua y con suficiente capilaridad para mantener las tensiones efectivas internas constantes.</p>
Compresión sin consolidar sin drenar	<p>No debería darse acceso al agua en las muestras de suelo; las presiones de poros no se deberían medir puesto que esto expondría la muestra al agua.</p>

## A.9 Ensayos de resistencia de suelos

### A.9.1 Ensayo de compresión triaxial consolidado

#### A.9.1.1 Procedimientos de ensayo

- (1) En el documento relacionado en el anexo B.9 se presenta un ejemplo del procedimiento para el ensayo de compresión triaxial consolidado. Existen otros documentos con descripción del procedimiento.
- (2) Los ensayos multietapa se pueden realizar únicamente si se emplean placas lubricadas o relaciones altura a diámetro grandes. No se recomiendan en general los ensayos multietapa.

#### A.9.1.2 Número de ensayos

- (1) La tabla A.9.1 da directrices para el número mínimo de ensayos requeridos como función de la variabilidad del suelo y la experiencia comparable existente con el tipo de suelo. Si se requiere sólo un ensayo, éste debe realizarse para facilitar una verificación del conocimiento existente. Si los resultados de ensayo nuevos no están de acuerdo con los datos existentes, se deberían realizar más ensayos.
- (2) El número de ensayos se puede reducir si los datos de tensión de cortante están a disposición a partir de otros métodos de ensayo, por ejemplo, ensayos de campo.

#### A.9.1.3 Evaluación de los resultados de ensayos

- (1) Además de una evaluación de los hechos, el ingeniero debe incluir las características y correlaciones de la resistencia a cortante sin drenar como función del tipo de suelo, índice de plasticidad, etc. Las evaluaciones de resistencia a cortante sin drenar deben relacionarse con el tipo de ensayo que produjo los resultados.
- (2) El ángulo de fricción interna se debería comprobar con las correlaciones como función de por ejemplo el tipo de suelo y la densidad relativa en el caso de arenas. Las comparaciones del ángulo de fricción interna medidos y las condiciones de tensión in-situ (por ejemplo: de simetría axial vs. deformación plana) deben ser consideradas cuidadosamente y en casos pertinentes, debe ajustarse el ángulo de fricción interna. También deben incluirse las relaciones con, por ejemplo, los resultados de los ensayos de penetración de cono y las correlaciones existentes con los ángulos de fricción interna.

**Tabla A.9.1** Número mínimo de muestras de suelo a ensayar para un estrato de suelo.  
Ensayos de compresión triaxial para proyectos Geotécnicos de Categoría 2  
(un ensayo recomendado significa un grupo de 3 ensayos individuales)

Ensayos para determinar el ángulo efectivo de fricción

Variabilidad en la envolvente de resistencia Coeficiente de correlación $r$ sobre curva de regresión	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
$r \leq 0,95$	4	3	2
$0,95 < r \leq 0,98$	3	2	1
$r > 0,98$	2	1	1

**Ensayos para determinar la resistencia a cizallamiento sin drenar**

Variabilidad en resistencia a cizallamiento sin drenar (para las mismas tensiones de consolidación)	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
Relación de valores max/min > 2	6	4	3
$1,25 < \text{Relación max/min} \leq 2$	4	3	2
Relación valor max/min $\leq 1,25$	3	2	1

**A.9.2 Ensayos de corte directo consolidados en caja de corte cuadrada o circular****A.9.2.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.9 se dan ejemplos de procedimientos para ensayos de corte directo.
- (2) Para el ensayo de cizallamiento en caja cuadrada, debería utilizarse para evitar la inclinación un dispositivo de ensayo donde las dos mitades de la caja se muevan exactamente en paralelo. Sólo las cajas cuadradas de cizallamiento que puedan controlar el paralelismo darán una simulación correcta del cizallamiento in-situ en las bandas de cizallamiento. Las placas no paralelas pueden llevar a ángulos de fricción efectivos de hasta 4° mayores en suelos arcillosos y de 6° menores en arenas (véase Wernick, 1979).

**A.9.2.2 Planificación del programa de ensayos**

- (1) El ensayo de corte directo (caja de corte cuadrada o circular) se lleva a cabo preferentemente para suelos y condiciones de estabilidad donde se espera el desarrollo de un plano de ruptura claro o cuando se requiera la determinación las características de resistencia de una interfase.
- (2) Los estudios comparativos muestran que los resultados de ensayos de corte directo en caja cuadrada o circular están de acuerdo entre si. En el ensayo de corte en caja cuadrada la preparación de la muestra es más fácil. En el ensayo de corte en caja circular, las tensiones son más homogéneas pero las deformaciones no son uniformes. Es más fácil producir deformaciones grandes y determinar así la resistencia residual de un suelo en el aparato de corte en caja circular que en el aparato de corte en caja cuadrada.
- (3) Se debería tomar del estrato dos veces la cantidad de material necesario para el número de muestras a ensayar.

**A.9.2.3 Número de ensayos**

- (1) La tabla A.9.2 presenta una directriz para el número mínimo de ensayos requeridos como función de la variabilidad del suelo y la experiencia comparable existente con el tipo de suelo. La recomendación se aplica al caso en el que se emplean sólo los ensayos de corte directo para determinar la resistencia a cortante de un estrato de suelo.

**Tabla A.9.2** Número mínimo de muestras de suelo para ensayarse de un estrato de suelo  
**Ensayos de corte directo para proyectos Geotécnicos de Categoría 2**  
*(un ensayo recomendado significa un juego de 3 ensayos individuales)*

Variabilidad en la envolvente de resistencia Coeficiente de correlación en la curva de regresión	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
Coeficiente de correlación $< 0,95$	4	3	2
$0,95 \leq$ Coeficiente de correlación $< 0,98$	3	2	2
Coeficiente de correlación $\geq 0,98$	2	2	1*

\* Un ensayo simple y ensayos de clasificación son suficientes para verificar la compatibilidad con la experiencia comparable

## A.10 Ensayos de compactacion de suelos

### A.10.1 Procedimientos de ensayos aplicables a ambos tipos de ensayos

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.10 se dan ejemplos de procedimientos de ensayo para ensayos de compactación de suelos.
- (2) El número mínimo de muestras de suelo para ensayo de un estrato de suelo para proyectos de Geotecnia Categoría 2 es de 3. El número de ensayos especificado se debería basar en el juicio del técnico responsable.
- (3) El número de ensayos a realizar se debería elegir considerando la variación de la granulometría, los límites de Atterberg y la cantidad de material a compactar. Para presas, construcción de caminos, etc. se puede encontrar el número de ensayos a realizar para distintas situaciones específicas en las normas.

### A.10.2 Requisitos específicos para ensayos de compactación

- (1) Los ensayos de compactación utilizados con más frecuencia son los Ensayos de Compactación Estándar y Modificados.
- (2) Algunos suelos altamente permeables tales como gravas limpias, arenas limpias con granulometría uniforme y gruesa no brindan una densidad máxima bien definida. Por lo tanto, puede ser difícil de obtener el valor de la humedad óptima.
- (3) Para suelos duros cohesivos que necesiten escarificarse o cortarse en pequeños trozos, los métodos sugeridos son los de rotura del suelo de manera que pueda pasar a través de un tamiz de ensayo de 5 mm o cortarlo en piezas que pasen un tamiz de ensayo de 20 mm.
- (4) Para suelos cohesivos duros que necesiten escarificarse o cortarse en pequeños trozos, los resultados de un ensayo de compactación dependen del tamaño de las piezas resultantes. Las densidades obtenidas del ensayo no estarán necesariamente relacionadas directamente con las densidades obtenidas in-situ.
- (5) Para suelos no susceptibles de trituración, se puede utilizar para los ensayos una sola muestra. La muestra se puede utilizar varias veces después de aumentar progresivamente la cantidad de agua. La separación con respecto al procedimiento habitual debe mencionarse en el informe.
- (6) Para suelos que contengan partículas susceptibles de trituración, deben prepararse tongadas independientes con distintos contenidos de agua.

### A.10.3 Requisitos específicos al ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

- (1) Se pueden llevar a cabo ensayos in situ, pero el ensayo de laboratorio es el procedimiento definitivo.
- (2) Se pueden llevar a cabo ensayos sobre material inalterado o recompactado.
- (3) El contenido de humedad del suelo se debería escoger de manera que represente las condiciones de diseño para las cuales se requieren los resultados del ensayo.
- (4) El ensayo CBR se debería llevar a cabo con material que pase un tamiz de 20 mm. Si el suelo contiene partículas retenidas en el tamiz de 20 mm, estas partículas se deberían retirar y pesar antes de preparar la muestra de ensayo. Si la fracción retenida en el tamiz de 20 mm es mayor que el 25% en masa de la fracción que pasa el tamiz de 20 mm, el ensayo CBR no es de aplicación.
- (5) Cuando se va a investigar un rango de contenidos de agua, ésta se debería añadir o retirar del suelo natural después de su desagregación. No se debería permitir que la muestra se seque.

### A.11 Ensayo de permeabilidad de los suelos

#### A.11.1 Procedimientos del ensayo

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.11 se dan ejemplos de procedimientos para ensayos de permeabilidad de suelos.
- (2) Se debería tomar el doble de la cantidad necesaria de material para el número de muestras a ensayar a partir del estrato.
- (3) Las muestras para ensayar deberían elegirse para representar los extremos en las propiedades de suelos relevantes, es decir composición, índice de densidad, índice de huecos, etc.
- (4) Como directriz, el gradiente hidráulico en arcillas y limos debe ser menor que 30 y menor que 10 en arena.
- (5) Dependiendo del tipo de suelo y la exactitud requerida del coeficiente de permeabilidad, se debe considerar el grado requerido de saturación en el ensayo de permeabilidad.

#### A.11.2 Número de ensayos

- (1) La tabla A.11.1 facilita una directriz para el número mínimo de ensayos requeridos como función de la variabilidad del suelo y la experiencia comparable existente con el tipo de suelo.

**Tabla A.11.1** Número mínimo de muestras de suelo a ensayar para un estrato de suelo.  
Ensayos de permeabilidad para proyectos de Geotecnia Categoría 2

Variabilidad en el coeficiente de permeabilidad $[k]$ medido	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
$K_{max}/k_{min} > 100$	5	4	3
$10 < K_{max}/k_{min} \leq 100$	5	3	2
$K_{max}/k_{min} \leq 10$	3	2	1*
* Es suficiente un único ensayo y ensayos de clasificación para verificar la compatibilidad con el conocimiento existente.			



- (2) En la tabla A.11.1, una especificación de un único ensayo representa una verificación del conocimiento existente. Si los nuevos resultados de ensayos no están de acuerdo con los datos existentes, se deberían realizar ensayos adicionales.

#### **A.11.3 Evaluación de los resultados del ensayo**

- (1) Existen cuatro métodos ampliamente utilizados para determinar el coeficiente de permeabilidad (conductividad hidráulica):
  - ensayos del campo, tales como bombeo y ensayos de permeabilidad de sondeos;
  - correlaciones empíricas con la granulometría;
  - evaluación a partir de ensayo edométrico;
  - ensayos de permeabilidad sobre muestras de suelo en el laboratorio.

La evaluación del coeficiente de permeabilidad se puede optimizar mediante una combinación de estos métodos.

- (2) Incluso en un estrato de suelo homogéneo, puede haber una gran variación en el coeficiente de permeabilidad debido a pequeños cambios en tensiones, índice de huecos, estructura, tamaño de partícula, y estratificación. El método más fiable para obtener un valor del coeficiente de permeabilidad es un método de ensayo en campo.
- (3) Incluso en una estrato de suelo homogéneo, el coeficiente de permeabilidad de una capa de suelo debería describirse por sus valores límite superior e inferior.
- (4) Para limos y arcillas, la deducción del coeficiente de permeabilidad a partir de los resultados edométricos sólo facilita una estimación aproximada.
- (5) En arenas homogéneas, el coeficiente de permeabilidad se puede evaluar de una manera razonablemente exacta a partir de las correlaciones con la granulometría.
- (6) Para arcilla, limos y suelos orgánicos cuando se pueden obtener muestras inalteradas de alta calidad, los resultados de los ensayos de laboratorio pueden ser fiables. La representatividad de las muestras ensayadas se debería comprobar cuidadosamente.
- (7) Para algunos tipos de suelos, el grado de saturación puede afectar al coeficiente de permeabilidad hasta tres órdenes de magnitud.

#### **A.12 Preparación de muestras para ensayos sobre material rocoso**

- (1) El “ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring” no contiene requisitos específicos para preparación de muestras de roca. Sin embargo, la mayor parte de los métodos de ensayo contienen una sección sobre preparación de muestras, con requisitos sobre volumen de muestra, calidad de muestra, método de preparación, dimensiones específicas y comprobaciones de tolerancia sobre dimensiones y forma.
- (2) En el documento relacionado en el anexo B.12 se presentan ejemplos de práctica común para preparar testigos de roca y determinar tolerancias dimensionales y de forma. A continuación, se expone extractos y comentarios sobre estos documentos.
- (3) No es siempre posible obtener o preparar testigos de roca que satisfagan los criterios deseados dados en los métodos sugeridos en la ISRM, por ejemplo para tipos de roca más débiles, más porosas y pobremente cementadas y tipos de rocas que contengan facetas estructurales.
- (4) Todos los instrumentos y conjuntos para determinar la rectitud, planeidad y perpendicularidad de las superficies extremas se controlarán de una forma regular en el tiempo con tolerancias que satisfagan por lo menos los requisitos de los ensayos específicos de roca.

- (5) La mayoría de los testigos sin fracturar tomados mediante portamuestras de tubo simple, tubo doble o tubo triple utilizando técnicas de sondeo rotatorio pueden emplearse con o sin adaptación de las dimensiones después de recortar las superficies de apoyo extremas. Los bloques recogidos directamente de la formación de roca pueden también utilizarse, si la orientación del bloque está claramente indicada en la muestra que se utilizará para preparar las probetas de ensayo.
- (6) El volumen de muestras requerido depende del programa de ensayo. Para muchos efectos, deben ser testigos suficientes 300 mm a 1 000 mm de longitud con un diámetro mayor que 50 mm para preparar probetas de roca para un grupo de ensayos de clasificación, resistencia y deformación.
- (7) Cantidad requerida de testigos depende altamente de la fisuración natural e inducida del material rocoso. La descripción inicial del testigo debe incluir una evaluación del grado de fisuración y homogeneidad. Se debería utilizar esta descripción al seleccionar las secciones de testigo para ensayos.
- (8) La selección de muestras de ensayo de zonas del testigo sin fracturas puede llevar a una falta de representatividad de las muestras de ensayo para la formación. Esto se debería tener en cuenta en el informe.
- (9) Para rocas más débiles (rocas sedimentarias), el tratamiento de la muestra es extremadamente importante para los ensayos de deformabilidad, resistencia e hinchamiento. Las muestras de roca para dichos ensayos deben empaquetarse en campo tan pronto como se obtienen del portamuestras. Incluso una exposición corta puede cambiar el contenido de agua y las propiedades inherentes de la roca.

### **A.13 Ensayos de clasificación del material rocoso**

#### **A.13.1 Generalidades**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.13 se dan ejemplos de ensayos para la clasificación de rocas.
- (2) Existen por distintas razones sistemas de clasificación reconocidos nacional e internacionalmente. Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos, basados en métodos seminuméricos, existen para propósitos de ingeniería según lo resume Bieniawski (1989) "Engineering Rock Mass Classification".
- (3) La clasificación del macizo rocoso basada en testigos requiere para el más elevado grado de recuperación de testigo identificar las discontinuidades y cavidades posibles. La alteración del testigo del proceso de perforación debería minimizarse puesto que la mayoría de las designaciones de calidad de roca se relacionan con las fracturas encontradas en los testigos.
- (4) La mayoría de los sistemas de clasificación se refieren a testigos y muestras de perforación a rotación con una muestra de diámetro de por lo menos 50 mm. Para la mayoría de los ensayos, es suficiente una longitud no fracturada de testigo de 50 mm a 200 mm de longitud para el ensayo del elemento.

#### **A.13.2 Identificación y descripción de rocas**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.13 se dan ejemplos de procedimientos de ensayo.
- (2) Se puede utilizar cualquier sistema de clasificación publicado y aprobado localmente, siempre que el informe indique una referencia trazable.

#### **A.13.3 Contenido de agua**

##### **A.13.3.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) Los procedimientos de ensayo pueden seguir los ejemplos dados en los documentos relacionados en el anexo B.13.
- (2) Si se especifica, se deben llevar a cabo comprobaciones de exactitud comparando los resultados sobre las muestras tomadas en paralelo dentro de la misma formación.

### **A.13.3.2 Número de ensayos**

- (1) En general, se debería tomar por lo menos una humedad por cada metro de testigo.

### **A.13.4 Densidad y Porosidad**

#### **A.13.4.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) El procedimiento de ensayo puede seguir los ejemplos que se dan en los documentos relacionados en el anexo B.13.
- (2) La determinación de la porosidad (o índice de huecos) pide una determinación de la densidad de partículas sólidas (o una estimación basada en la experiencia local con tipo similar de roca).
- (3) La existencia de poros cerrados puede influir en la porosidad. La determinación del volumen total de poros se puede basar en el peso específico de la muestra en polvo, sin embargo la determinación de la cantidad de poros abiertos y cerrados requiere análisis especializados.
- (4) Se deberían evitar los métodos que utilizan desplazamiento de mercurio.

#### **A.13.4.2 Número de ensayos**

- (1) La densidad y porosidad se determinarán por lo menos una vez cada dos metros y por lo menos una vez para cada unidad tipo de roca diferenciada, independientemente de la homogeneidad de la roca. Los parámetros densidad/porosidad representan parte del marco para la mayor parte de las evaluaciones de las propiedades de resistencia y deformación de roca.

### **A.14 Ensayo de hinchamiento del material rocoso**

#### **A.14.1 Generalidades**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.14 se dan ejemplos de ensayos para hinchamiento de rocas.
- (2) Cuando sea posible, se deberían ensayar muestras de roca inalteradas, puesto que la textura de la roca tiene un efecto importante en las características de hinchamiento. Cuando la muestra es demasiado débil o está demasiado rota para permitir la preparación, tales como material de relleno de juntas, los ensayos de índice de hinchamiento se puede llevar a cabo en muestras remoldeadas y recompactadas. Los procedimientos utilizados se deberían describirse en el informe.
- (3) La tabla A.14.1 presenta una directriz para el número mínimo de ensayos de hinchamiento requeridos para distintas dimensiones de la muestra. Las sugerencias son de aplicación a sitios con un riesgo limitado de que ocurra hinchamiento de los tipos de roca. Para sitios con tipos de roca con mayor probabilidad de hinchamiento, el número de ensayos se debería aumentar a por lo menos el doble de los números dados en la tabla. Otros ensayos más avanzados pueden estar mejor adaptados para determinar el comportamiento del hinchamiento in-situ.

#### **A.14.2 Índice de presión de hinchamiento sin cambio volumen**

- (1) En los documentos relacionados en los documentos del anexo B.14, se dan ejemplos de ensayos para el índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen.
- (2) El aparato de ensayo puede ser con frecuencia una celda de edómetro ordinaria para consolidación de suelos.

#### **A.14.3 Índice de deformación por hinchamiento para muestras confinadas radialmente con sobrecarga axial**

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.14 se dan ejemplos de los ensayos de deformación por hinchamiento desarrollados en una muestra de roca sin confinar.

- (2) El ejemplo especifica un dispositivo de carga capaz de aplicar una presión sostenida de 5 kPa a la muestra bajo inundación con agua. Sin embargo, se puede especificar algún otro elemento más apropiado para representar al campo. El informe y cualquier evaluación deberían incluir una descripción de cualquier desviación del procedimiento.

#### A.14.4 Deformación por hinchamiento desarrollada en una muestra de roca sin confinar

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.14 se dan ejemplos de ensayos de deformación por hinchamiento desarrollados en una muestra de roca sin confinar.

**Tabla A.14.1 Número mínimo de muestras de roca por ensayar en una formación**  
**Ensayos de hinchamiento sobre rocas para proyectos de Geotecnia Categoría 2**

Tipo de ensayo	Espesor mínimo	Diámetro mínimo	Número mínimo de muestras de ensayo	Notas
(1) Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen	15 mm y/o 10 veces el máximo tamaño de partícula	2,5 veces el espesor	3	La muestra encajará bien en el anillo
(2) Índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial	15 mm y/o 10 veces tamaño máximo de partícula	4 veces el espesor	3 + muestras duplicadas para contenido de agua	La muestra encajará bien en el anillo
(3) Deformación por hinchamiento desarrollado en muestra de roca sin confinar	15 mm y/o 10 veces el máximo tamaño de partícula	15 mm y/o 10 veces el máximo tamaño de partícula	3 + muestras duplicadas para contenido de agua	–

#### A.15 Ensayos de resistencia de material rocoso

##### A.15.1 Generalidades

- (1) En los documentos relacionados en el anexo B.15 se dan ejemplos de ensayos para la determinación de resistencia de material rocoso.

##### A.15.2 Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad

###### A.15.2.1 Procedimientos del ensayo

- (1) El procedimiento del ensayo debería seguir el ejemplo en el anexo B.15.2 para ensayos de resistencia a compresión uniaxial y ensayo de deformabilidad. Además se deberían utilizar las modificaciones indicadas en esta norma europea experimental.
- (2) El procedimiento de ensayo descrito en ISRM contiene dos niveles de ensayos:
- Parte 1. Método para determinar la resistencia a compresión uniaxial de materiales rocosos
  - Parte 2 Método para determinar la deformabilidad de materiales rocosos en compresión
- (3) El primer método facilita la resistencia a compresión, el segundo método da adicionalmente el módulo de deformación axial (módulo de Young) y el coeficiente de Poisson. Se prefiere el segundo método.

- (4) Los procedimientos sugeridos en la referencia ISRM son algo laboriosos y extremadamente difíciles de cumplir, especialmente con relación a la preparación de las muestras y las tolerancias geométricas. La práctica recomendada en esta norma europea experimental es menos estricta. A pesar de que los procedimientos recomendados por ISRM son deseables, se presenta aquí un conjunto de requisitos mínimos. Se considera más importante realizar un mayor número de ensayos que menos ensayos sobre muestras de mejor calidad.
- (5) Se deberían realizar las siguientes modificaciones al procedimiento ISRM:
- El diámetro de las placas de carga debe estar entre  $D$  y  $D + 10$  mm, donde  $D$  es el diámetro de la muestra. Suponiendo que se pudiera asegurar que la rigidez de la placa es suficiente, el diámetro de ésta puede ser mayor que  $D + 10$  mm. Se requieren disposiciones especiales para centrar la muestra adecuadamente.
  - Por lo menos una de las dos placas extremas debe incorporar una rótula.
  - Las muestras de ensayo deberían ser cilindros circulares rectos con una relación altura a diámetro entre 2 y 3 y un diámetro no menor que 50 mm. El diámetro de la muestra relacionado al grano mayor en la roca puede ser en casos de roca débil tan bajo como 6:1; sin embargo se prefiere la relación de 10:1.
  - Los extremos de la muestra deben ser planos dentro de 0,02% del diámetro de la muestra y no deberían alejarse de la perpendicularidad al eje de la muestra en más de 0,1 grados.
  - No está permitido el uso de materiales de refrentado o tratamientos de superficie de los extremos que no sean por mecanizado excepto cuando se ensayen rocas blandas, donde las características mecánicas de los materiales de refrentado deberían ser mejores que la roca que se está ensayando.
  - El diámetro y la altura de la muestra de ensayo debería determinarse con un margen de 0,1 mm o 0,2%, el que sea mayor.
  - En relación con las medidas con extensómetro de las deformaciones radial y axial, la longitud de las galgas debería ser por lo menos diez veces mayor que el tamaño del grano. En general, los extensómetros, los micrómetros de dial o los transductores de deformación (LVDT), se deberían colocar en el tercio central de la probeta. La medida de deformación vertical a lo largo de toda la altura de la muestra se permite si se puede demostrar que se obtendrá prácticamente el mismo resultado que cuando la deformación se mide en el tercio medio de la altura de la muestra.
  - La carga se debería aplicar sobre la muestra con un régimen de tensión constante o régimen de deformación constante de tal forma que la rotura ocurra entre 5 min y 15 min. Si se realizan ciclos de carga y descarga para definir parámetros de deformación mejores, el tiempo para ello debe excluirse del período de tiempo antes mencionado.
  - La máquina que se utilizará para aplicar y medir la carga axial a la muestra debería ser de suficiente capacidad y poder aplicar carga a régimen constante. Se debería comprobar el paralelismo de las placas de la máquina.
- (6) Las deformaciones iniciales pueden incluir efecto de apoyo entre los extremos de la probeta y las placas de carga de la máquina de compresión y/o cierre de microfisuras en la probeta de ensayo. La medida de las deformaciones verticales totales empleando sólo la distancia entre las dos placas de acero de la máquina puede llevar a propiedades de deformación falsas.

#### A.15.2.2 Número de ensayos

- (1) Las características de la roca pueden variar ampliamente como función de la litología, diagenesis o endurecimiento, historia de las tensiones, meteorización y otros procesos naturales, incluso dentro del mismo estrato geológico. La tabla A.15.1 presenta unas directrices para el número mínimo de ensayos a compresión uniaxial como función de la variabilidad de la roca y de la experiencia comparable existente.

**Tabla A.15.1** Número mínimo de muestras de ensayo a ensayar para una única formación  
Ensayos de compresión uniaxial, ensayo brasileño y ensayos triaxiales para  
proyectos de Geotecnia Categoría 2

Desviación estándar de la resistencia medida [s]	Experiencia comparable		
	Ninguna	Media	Extensa
$s > \approx 50\%$ de la media	6	4	2
$\approx 20\%$ de la media $< s < \approx 50\%$ de la media	3	2	1
$s < \approx 20\%$ de la media	2	1	0*
* Solo válido para tipos de roca muy homogénea con extensa experiencia de localizaciones cercanas.			

### A.15.3 Ensayo de carga puntual

#### A.15.3.1 Procedimientos de ensayo

- (1) Para el método recomendado a utilizarse véase el anexo B.15.3.
- (2) El ensayo se puede realizar con equipo portátil utilizando una máquina de ensayos de laboratorio y se puede realizar ya sea en campo o en laboratorio.
- (3) Las muestras de roca en forma ya sea de testigo (los ensayos *diamétricos* y *axiales*), bloques de corte (el ensayo de *bloque*), o terrones irregulares (el ensayo *terron irregular*) podrán utilizarse para ensayos siempre que se sigan las especificaciones de referencia (por ejemplo ISRM) para forma y dimensiones.

#### A.15.3.2 Número de ensayos

- (1) El valor medio del índice de Resistencia de Carga Concentrada se utiliza para clasificar muestras o estratos. Para obtener un valor medio representativo, el número mínimo de ensayos simples debería ser de 5.
- (2) Para caracterización y predicciones de roca de otros parámetros de resistencia, es necesario un número de ensayos mayor que el especificado en A.15.2.2. En general, se deben llevar a cabo por lo menos 10 ensayos independientes por estrato.

### A.15.4 Ensayo de corte directo

#### A.15.4.1 Procedimiento del ensayo

- (1) Se debería seguir el ejemplo indicado en el anexo B.15. Se ha introducido algunas enmiendas basadas en las recomendaciones del proyecto SPRINT Rpt 216, Aseguramiento de Calidad en los Ensayos Geotécnicos.
- (2) Se deben efectuar las siguientes modificaciones al procedimiento ISRM:
  - La máquina de ensayos debería tener un recorrido mayor que la cantidad de dilatación o consolidación esperada y debería ser capaz de mantener una carga normal dentro del 2% de un valor seleccionado a lo largo del ensayo. La dilatancia debería medirse durante el ensayo con la misma exactitud que los desplazamientos por cortante.
  - La velocidad de desplazamiento horizontal debe ser menor que 0,1 mm/min en el período de 10 min. anterior a la toma de lecturas. Si se emplea registro de datos automático, puede no haber la necesidad de una reducción del régimen de desplazamientos por cortante a 0,1 mm/min.

- Se debería reconsolidar la muestra bajo cada tensión normal nueva y prolongar el proceso de corte de acuerdo con los criterios dados en ISRM. Si se limpian las superficies de la muestra antes de comenzar una nueva fase de ensayos, o se descargan las muestras antes de reposicionar, se debería indicar en el informe del ensayo. La apariencia del material retirado mediante limpieza debería quedar descrito.
- (3) La resistencia a corte directo puede también determinarse mediante ensayos de campo. Esto requiere una evaluación detallada de las características de campo de las discontinuidades.
- (4) Los resultados se utilizan en, por ejemplo, análisis de equilibrio de problemas de estabilidad de taludes o para el análisis de estabilidad de las cimentaciones de presas, túneles y excavaciones subterráneas.
- (5) Se puede utilizar las muestras de roca en la forma ya sea de testigos o bloques cortados. El plano de ensayo debería tener preferiblemente un área mínima de 2 500 mm<sup>2</sup>. En el caso de juntas sin rellenar, el diámetro o el borde (en caso de una sección transversal cuadrada) de las muestras de las ensayo se deberían relacionar preferiblemente con el tamaño del grano mayor en la roca por una relación de por lo menos 10:1. Se recomienda que la relación entre longitud de junta y tamaño de la caja de ensayo no sea menor de 0,5 para evitar posibles problemas de estabilidad del aparato de corte.
- (6) Se debe utilizar equipo para cortar la muestra, por ejemplo un taladro de diámetro grande o sierra para roca. Deben evitarse taladradores de percusión, pisonos y cinceles puesto que las muestras tienen que estar tan inalteradas como sea posible.
- (7) La inclinación de la muestra de ensayo con respecto a la masa de roca y su dirección para montaje de la máquina de ensayos normalmente se seleccionan de manera que el plano cortado coincida con un plano de debilidad en la roca, por ejemplo una junta, plano de estratificación, esquistosidad o fisura, o con la interfase entre el suelo y la roca o con hormigón y roca.

#### **A.15.4.2 Número de ensayos**

- (1) Preferiblemente se debería determinar la resistencia por lo menos con cinco ensayos en el mismo horizonte de ensayos o de la misma familia de juntas, con cada muestra ensayada a distinta pero constante tensión normal en el rango de tensiones aplicable.

### **A.15.5 Ensayo brasileño**

#### **A.15.5.1 Procedimientos del ensayo**

- (1) Se debe utilizar el ejemplo dado en el anexo B.15.
- (2) Las muestras de ensayo se deberían cortar con diámetros de muestra no menores que el tamaño de testigo NX (alrededor de 54 mm), con un espesor aproximado igual al radio de la muestra. La superficie cilíndrica debería quedar libre de marcas obvias de herramienta. Cualquier irregularidad a través del espesor de la muestra no debe exceder de 0,025 mm. Las caras extremas deberán estar planas con una tolerancia de 0,25° y paralelas con una tolerancia de 0,25°.
- (3) Para pizarras y otras rocas anisotrópicas se recomienda cortar las muestras de ensayos paralelas y perpendiculares a la estratificación. Para las muestras cortadas paralelas a la dirección de la estratificación, debe especificarse también la dirección de la carga

#### **A.15.5.2 Número de ensayos**

- (1) La tabla A.15.1 presenta unas directrices para el mínimo número de ensayos brasileño como función de la variabilidad de la roca y la experiencia comparable existente. Para la caracterización de la roca y predicciones de otros parámetros de resistencia, es necesario un número más elevado de ensayos.

**A.15.6 Ensayo de compresión triaxial****A.15.6.1 Procedimientos de ensayo**

- (1) Se debe seguir el ejemplo indicado en el anexo B.15.
- (2) Las muestras de ensayo se deben cortar con un diámetro de muestra  $D$  no menor que el tamaño del testigo NX, (aproximadamente 54 mm), y altura igual a 2 – 3 veces el diámetro según se define en el capítulo 13 y con las especificaciones de acuerdo con el apartado 15.1.

**A.15.6.2 Número de ensayos**

- (1) La tabla A.15.1 presenta una directriz para el número mínimo de ensayos de compresión triaxial en función de la variabilidad de la roca y la experiencia comparable existente. Para la caracterización de la roca y las predicciones de otros parámetros de resistencia es necesario un número de ensayos más elevado.



**ANEXO B (Informativo)**

**BIBLIOGRAFÍA**

**B.1 Objeto y campo de aplicación**

**B.2 Requisitos para todos los ensayos de laboratorio**

No hay documentos

**B.3 Calibración de los equipos de ensayo**

No hay documentos

**B.4 Preparación de las muestras de suelo para ensayos**

No hay documentos

**B.5 Ensayo para clasificación, identificación y descripción de suelos**

**B.5.1 Objeto y campo de aplicación**

No hay documentos

**B.5.2 Lista de comprobación para ensayos de clasificación**

No hay documentos

**B.5.3 Humedad**

ETC5-N94.47, 1995 Laboratory method for determination of water content of soil, DIN-Beuth Verlag Berlin

DIN 18 121:1998 "Subsoil; testing procedures and testing equipment, water content, determination by drying in oven"

NF P94-050:1995 Soils: Investigation and testing. Determination of moisture content. Oven drying method.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2: Classification tests

SN 670 340:1959 Essais; Teneur en eau/Versuche; Wassergehalt

ASTM D2216:1992 Test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil, rock and soil-aggregate mixtures

ASTM D2974;1987 Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils

ASTM D4542:1995 Test methods for pore water extraction and determination of the soluble salt content of soils by refractometer

**B.5.4 Densidad aparente**

ETC-5-N94.48 Laboratory determination of density of cohesive (fine-grained) soil, DIN-Beuth Verlag Berlin

DIN 18 125:1997 Soil, investigation and testing. Determination of density of soil Part 1 Laboratory tests

NF P 94-053:1991 Soils. Investigation and testing. Determination of density of fine soils, Cutting curb, mould and water immersion methods

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2 Classification tests

SN670 335:1960 Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode / Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable

**B.5.5 Densidad de las partículas**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Determination of density of solid particles, DIN-Beuth Verlag Berlin

DIN 18 124:1997 Soils, investigation and testing. Determination of density of solid particles. Capillary pycnometer, wide mouth pycnometer”

NF P 94-053:1991 Soils. Investigation and testing. Determination of density of fine soils. Cutting curb, mould and water immersion methods.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2; Classification tests

SN 670 335:1960 Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode/Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable

ASTM D854:1992 Test Method for Specific Gravity of Soils

ASTM D4404:1984 Determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry”

**B.5.6 Análisis granulométrico**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Particle size analysis, DIN-Beuth Verlag, Berlin  
DIN 18 123:1996 Soil, investigation and testing. Detremination of grain-size distribution”

NF P 94-057:1992 Soils. Investigation and testing. Granulometric analysis, hydrometer method.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2: Classification tests; 9.2 Wet sieving method

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2: Classification tests; Subclause 9.5 Sedimentation by the hydrometer method”

Classification tests; Subclause 9,5 Sedimentation by the hydrometer method”

SN 670 810c: 1986 Granulats minéraux et sols; Analyse granulometrique par tamisage / Mineralische Baustoffe und Lockergesteine; Siebanalyse

SN 670 816:1964 Materiaux pierreux; Sedimentometrie par la methode de l'areometre/Gesteinsmaterialien; Schlammversuch nach der Araeometermethode

ASTM D2217:1985 Wet preparation of soil samples for particle size analysis and determination of soil constants

ASTMM D422:1963 Test method for particle size analysis of soils

**B.5.7 Límites de consistencia**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Determination of Atterberg limits, DIN-Beuth Verlag, Berlin

DIN 18 122:1997 Soil, investigation and testing Consistency limits Part 1 Determination of liquid limit and plastic limit

NF P 94-051:1993 Soils. Investigation and testing. Determination of Atterberg's limits. Liquid limit test using Casagrande apparatus. Plastic limit test on rolled thread.

BS 1377:1990 Methods for test for soild for civil engineering purposes Part 2. Classification tests. Clause 4. Determination of the liquid limit.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 2: Classification tests Clause 5. Determination of the plastic limit and plasticity index

SN 670 345:1959 Essais, Limites de consistance/Versuche; Konsistenzgrenzen

**B.5.8 Densidad relativa**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 4: Compaction related tests; Clause 4, Determination of maximum and minimum dry densities for granular soils”.

**B.5.9 Dispersibilidad del suelo**

Bs 1377: 1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes; Part 5: Compressibility, permeability and durability tests; Clause 6. Determination of Dispersibility.

### **B.5.10 Susceptibilidad de heladas**

SN 670 321:1994 Essais sur les sols – Essai de gonflement au gel et essai CRB apres degel (CRB<(Index)F / Versuche an Böden – Frosthebungsversuch und CRB-Versuch nach dem Auftauen (CRB<(Index)F>)

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 5; Compressibility, permeability and durability tests; Clause 7. Determination of frost heave

## **B.6 Ensayos químicos de suelos y agua freatica**

### **B.6.1 Generalidades**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 3. Chemical and electrochemical tests.

### **B.6.2 Contenido de materia orgánica**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 3. Chemical and electrochemical tests. Clause 4. Determination of the mass loss on ignition or an equivalent method.

ASTM D2974:1987 Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils

### **B.6.3 Contenido de carbonatos**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 3. Chemical and electrochemical tests. Clause 6. Determination of the carbonate content.

DIN 18129:Soil, investigation and testing – Determination of lime content Head Vol 1:1992 (see Annex B.18)

### **B.6.4 Contenido de sulfatos**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 3. Chemical and electrochemical tests. Clause 5. “Determination of the sulphate content of soil and ground water”.

### **B.6.5 Valor de pH (acidez y alcalinidad)**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 3. Chemical and electrochemical tests. Clause 9. “Determination of the pH value”

### **B.6.6 Contenido de cloruros**

BS 812:Part 118: 1988 Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: part 3. Chemical and electrochemical tests. Subclause 7.2 / subclause 7.3

## **B.7 Ensayos de compresibilidad de suelos**

### **B.7.1 Procedimientos de ensayos**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Incremental loading oedometer test on water-saturated soil, DIN-Beuth Verlag, Berlin

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 5: Compressibility, permeability and durability tests

NS 8017:1991 Geotechnical testing – Laboratory methods – Determination of one-dimensional consolidation properties by oedometer testing – Method using incremental loading.

ASTM D2435:1996 Test method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.

**B.8 Ensayos del índice de resistencia de suelos****B.8.1 Procedimientos de ensayo****Molinete de laboratorio**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 7 Shear strength test.

**Penetrómetro de bolsillo**

SN 670 350:1992 Essais sur les sols; penetromètre de poche et de laboratoire / Versuche an Böden; Taschenpenetrometer, Taschen – und Laborflügelsonde

**Cono descendente**

SS02 7125:1991 Geotechnical test methods. Undrained shear strength. Fall cone test. Cohesive soil

**Compresión sin confinar**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Recommended test methods for unconfined compression tests on cohesive soil”, DIN-Beuth Verlag Berlin

**Compresión sin drenar sin consolidar**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Method for unconsolidated triaxial compression test on saturated cohesive soil, DIN-Beuth Verlag Berlin

**B.9 Ensayos de resistencia de suelos****B.9.1 Ensayo de compresión triaxial consolidada**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Method for consolidated triaxial compression tests on water-saturated soil, DIN-Beuth Verlag Berlin.

**B.9.2 Ensayos de corte directo consolidados en caja de corte cuadrada o circular**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Method for Direct Shear Testing on Water-Saturated Soil, DIN-Beuth Verlag Berlin.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes Part 7 Shear strength test.

ASTM D 3080:1990 Test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions”.

**B.10 Ensayos de compactacion de suelos****B.10.1 Procedimientos de ensayos aplicados a ambos tipos de ensayos**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 4:Compaction related tests;;Clause 3. Determination of dry density/moisture content relationship.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes: Part 4:Compaction related tests;;Clause 7 “Determination of California Bearing Ratio (CBR)”.

**B.10.2 Requisitos específicos para ensayo de compactación**

Sin documentación

**B.10.3 Requisitos específicos al ensayo California Bearing Ratio (CBR)**

Sin documentación

## **B.11 Ensayos de permeabilidad de los suelos**

### **B.11.1 Procedimiento de ensayos**

Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing. Determination of soil permeability by constant and falling head, DIN-Beuth Verlag Berlin

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes:Part 5.

Compressibility, permeability and durability tests.

DIN 18130-1:1998 Soil. Investigation and testing. Determination of the coefficient of water permeability. Part 1 Laboratory tests.

### **B.11.2 Número de ensayos**

Sin documentación

### **B.11.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

Sin documentación

## **B.12 Preparación de muestras para ensayos sobre materiales rocosos**

ASTM D4543:1985 Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances

## **B.13 Ensayos de clasificación de materiales rocosos**

### **B.13.1 Generalidades**

BS 5930:1981, Code of practise for site investigation Section 8 Description and classification of rocks for engineering purposes

ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring, Part 1 Site Characterisation (1981).

ISO/DIS 14699:1995 Geotechnics in civil engineering. Identification and description of rock.

### **B.13.2 Identificación y descripción de rocas**

BS 5930:1981, Code of practise for site investigation Section 8 Description and classification of rocks for engineering purposes.

### **B.13.3 Contenido de agua**

ISRM Part 1: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties. Section 1: Suggested method for determination of the water content of a rock sample.

### **B.13.4 Densidad y porosidad**

ISRM Part 1 Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, Section 2: Suggested method for porosity/density determination using saturation and calliper techniques.

ISRM Part 1 Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties. Section 3: Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

## **B.14 Ensayos de hinchamiento de material rocoso**

### **B.14.1 Contenido de agua**

ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring, Part 2, Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-durability Index Properties.

**B.14.2 Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen**

ISRM Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 1: “Suggested Method for Determination of the Swelling Pressure Index of Zero Volume Change”.

**B.14.3 Índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial**

ISRM Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 2: “Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Index for a Radially Confined Specimen with Axial Surcharge”.

**B.14.4 Deformación por hinchamiento desarrollada en muestra de roca sin confinar**

ISRM Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 3: “Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Developed in an Unconfined Rock Specimen”.

**B.15 Ensayos de resistencia de materiales rocosos****B.15.1 Generalidades**

Sin documentación

**B.15.2 Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad**

ASTM D 2938:1991 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.

**B.15.3 Ensayo de carga puntual**

ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength;

la versión revisada se ha publicado en el International Journal for Rock Mechanics. Min. SCI & Geomech. Abstr. Vol. 22, No. 2, pp. 51-60, 1985.

**B.15.4 Ensayo de corte directo**

ISRM Suggested Method for Determining Shear Strength, Part 2. “Suggested Method for Laboratory Determination of Direct Shear Strength”.

**B.15.5 Ensayo brasileño**

ISRM Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Part 2: “Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazil Test”.

**B.15.6 Ensayo de compresión triaxial**

ISRM “Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression”.

**B.16 Artículos y otras publicaciones**

Bieniawski, Z.T. (1989)

“Engineering Rock Mass Classification”,  
Wiley, New York, 251 p.

BRE Paper BR 279 (19..)

“Sulphate and acid attack on concrete in the ground: recommended procedures for soil analysis”  
Building Research Establishment, Garston, Watford, U.K.

DGF (1995)

“A guide to engineering geological description”  
DGF Bulletin 1, Rev. 1, May 1995, Aalborg, Denmark.

Head, K.H. (1992)

Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 1: Soil Classification and Compaction Tests, 2<sup>nd</sup> ed. Pentech Press, London, U.K.

Head, K.H. (1994)

Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests, 2<sup>nd</sup> ed. Pentech Press, London, U.K.

Head, K.H. (1986)

Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 3: Effective Stress Tests.  
Pentech Press, London, U.K.

ISRM (1985)

Suggested method for determining point load strength.

International Journal of Rock Mechanics

Min. Sci & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, pp. 51-60.

Sherard, J.L., Decker, R.S. and Ryker, N.L. (1972)

Piping in Earth Dams of Dispersive Clay.

Proc. ASCE Specialty Conf. On Performance of Earth and Earth-Supported Structures.

June 1972, Purdue University, West Lafayette, Indiana. Vol. 1, Part 1, pp. 589-626.

Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S. and Steel, E.F. (1976)

Pinhole test for identifying dispersive soils.

J. Geotechn. Eng. Div., ASCE. Vol. 102, No. GT1 (January), pp. 69-85.

SPRINT (1995)

Quality Assurance in Geotechnical Testing.

Report SPRINT Ra 216 ter (different cities).

Wernick, E. (1979)

A 'true direct shear apparatus' to measure soil parameters of shear bands

Proc. VII. ECSMFE, Brighton, Vol. 2, 1979, pp. 175-182.





## **ANEXO NACIONAL (Informativo)**

En este anexo se da la relación de normas UNE existentes de ensayos de suelos y rocas. Sirve como complemento y sigue la misma estructura que el anexo B de la Norma Europea Experimental ENV 1997-2.

### **1 Objeto y campo de aplicación**

No hay documento UNE

### **2 Requisitos para todos los ensayos de laboratorio**

No hay documento UNE

### **3 Calibración de los equipos de ensayo**

No hay documento UNE

### **4 Preparación de las muestras de suelo para ensayos**

No hay documento UNE

### **5 Ensayo para clasificación, identificación y descripción de suelos**

No hay documento UNE

#### **5.1 Objeto y campo de aplicación**

No hay documento UNE

#### **5.2 Lista de comprobación para ensayos de clasificación**

No hay documento UNE

#### **5.3 Humedad**

UNE 103300:1993: Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

#### **5.4 Densidad aparente**

UNE 103301:1994: Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidrostática.

UNE 103503:1995: Determinación "in situ" de la densidad de un suelo por el método de la arena.

#### **5.5 Densidad de las partículas**

UNE 103302:1994: Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo.

#### **5.6 Análisis granulométrico**

UNE 103101:1995: Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

UNE 103102:1995: Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.

#### **5.7 Límites de consistencia**

UNE 103103:1994: Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de casagrande.

UNE 103104:1993: Determinación del límite plástico de un suelo.

**5.8 Densidad relativa**

UNE 103105:1993: Determinación de la densidad mínima de una arena.

UNE 103106:1993: Determinación de la densidad máxima de una arena por el método de apisonado.

UNE 103106:1993 ERRATUM: Determinación de la densidad máxima de una arena por el método del apisonado.

**5.9 Dispersibilidad del suelo**

No hay documento UNE

**5.10 Susceptibilidad de heladas**

No hay documento UNE

**6 Ensayos químicos de suelos y agua freática**

No hay documento UNE

**6.1 Generalidades**

No hay documento UNE

**6.2 Contenido de materia orgánica**

UNE 7368:1977: Determinación con agua oxigenada del contenido de materia orgánica en los suelos

UNE 103204:1993: Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.

UNE 103204:1993 ERRATUM: Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.

**6.3 Contenido de carbonatos**

UNE 103200:1993: Determinación del contenido de carbonatos en los suelos.

**6.4 Contenido de sulfatos**

UNE 103201:1996: Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.

UNE 103202:1995: Determinación cualitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.

**6.5 Valor de pH (acidez y alcalinidad)**

No hay documento UNE

**6.6 Contenido de cloruros**

No hay documento UNE

**7 Ensayos de compresibilidad de suelos**

No hay documento UNE

**7.1 Procedimientos de ensayos**

UNE 103405:1994: Geotécnia. Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro.

## **8 Ensayos del índice de resistencia de suelos**

No hay documento UNE

### **8.1 Procedimientos de ensayo**

UNE 103400:1993: Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo.

## **9 Ensayos de resistencia de suelos**

No hay documento UNE

### **9.1 Ensayo de compresión triaxial consolidada**

UNE 103402:1998: Determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial.

### **9.2 Ensayos de corte directo consolidados en caja de corte cuadrada o circular**

UNE 103401:1998: Determinación de los parámetros de resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo.

## **10 Ensayos de compactacion de suelos**

No hay documento UNE

### **10.1 Procedimientos de ensayos aplicados a ambos tipos de ensayos**

UNE 103500:1994: Geotécnia. Ensayo de compactación. Proctor normal.

UNE 103501:1994: Geotécnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.

UNE 103502:1995: Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice C.B.R. de un suelo.

### **10.2 Requisitos específicos para ensayo de compactación**

UNE 103500:1994 y UNE 103501:1994

### **10.3 Requisitos específicos al ensayo California Bearing Ratio (CBR)**

UNE 103502:1995

## **11 Ensayos de permeabilidad de los suelos**

No hay documento UNE

### **11.1 Procedimiento de ensayos**

UNE 103403:1999: Determinación de la permeabilidad de una muestra de suelo. Método de carga constante.

### **11.2 Número de ensayos**

No hay documento UNE

### **11.3 Evaluación de los resultados de ensayos**

No hay documento UNE

## **12 Preparación de muestras para ensayos sobre materiales rocosos**

No hay documento UNE

**13 Ensayos de clasificación de materiales rocosos**

No hay documento UNE

**13.1 Generalidades**

No hay documento UNE

**13.2 Identificación y descripción de rocas**

No hay documento UNE

**13.3 Contenido de agua**

No hay documento UNE

**13.4 Densidad y porosidad**

No hay documento UNE

**14 Ensayos de hinchamiento de material rocoso**

No hay documento UNE

**14.1 Contenido de agua**

No hay documento UNE

**14.2 Índice de presión de hinchamiento sin cambio de volumen**

UNE 103601:1996: Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro.

UNE 103602:1996: Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro.

**14.3 Índice de deformación por hinchamiento para muestra confinada radialmente con sobrecarga axial**

No hay documento UNE

**14.4 Deformación por hinchamiento desarrollada en muestra de roca sin confinar**

No hay documento UNE

**15 Ensayos de resistencia de materiales rocosos**

No hay documento UNE

**15.1 Generalidades**

No hay documento UNE

**15.2 Resistencia a Compresión Uniaxial y Deformabilidad**

UNE 22950-1:1990: Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 1: resistencia a la compresión uniaxial

**15.3 Ensayo de carga puntual**

UNE 22950-5:1996: Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 5: Resistencia a carga puntual.

#### **15.4 Ensayo de corte directo**

No hay documento UNE

#### **15.5 Ensayo brasileño**

UNE 22950-2:1990: Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 2: resistencia a tracción. Determinación indirecta (ensayo brasileño).

#### **15.6 Ensayo de compresión triaxial**

UNE 22950-4:1992: Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 4: resistencia a la compresión triaxial.

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

**AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID**