
Geotecnia — Estudio de mecánica de suelos

Geotechnical — Study of soils mechanic

ICS 93.020



DOCUMENTO PROTEGIDO POR COPYRIGHT

© INN 2014

Derechos de autor:

La presente Norma Chilena se encuentra protegida por derechos de autor o copyright, por lo cual, no puede ser reproducida o utilizada en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, sin permiso escrito del INN. La publicación en Internet se encuentra prohibida y penada por la ley.

Se deja expresa constancia que en caso de adquirir algún documento en formato impreso, éste no puede ser copiado (fotocopia, digitalización o similares) en cualquier forma. Bajo ninguna circunstancia puede ser revendida. Asimismo, y sin perjuicio de lo indicado en el párrafo anterior, los documentos adquiridos en formato .pdf, tiene autorizada sólo una impresión por archivo, para uso personal del Cliente. El Cliente ha comprado una sola licencia de usuario para guardar este archivo en su computador personal. El uso compartido de estos archivos está prohibido, sea que se materialice a través de envíos o transferencias por correo electrónico, copia en CD, publicación en Intranet o Internet y similares.

Si tiene alguna dificultad en relación con las condiciones antes citadas, o si usted tiene alguna pregunta con respecto a los derechos de autor, por favor contacte la siguiente dirección:

Instituto Nacional de Normalización - INN
Matías Cousiño 64, piso 6 • Santiago de Chile
Tel. + 56 2 445 88 00
Fax + 56 2 441 04 29
Correo Electrónico info@inn.cl
Sitio Web www.inn.cl
Publicado en Chile

Contenido	Página
Preámbulo	iv
1 Alcance y campo de aplicación	1
2 Referencias normativas	1
3 Términos y definiciones	3
4 Símbolos	6
5 Tipos de estudios de mecánica de suelos	8
5.1 Estudio de mecánica de suelos	8
5.2 Estudio preliminar	8
5.3 Estudio especial	8
6 Estudio de mecánica de suelos	8
6.1 Trabajo de gabinete inicial	8
6.2 Trabajo de campo	9
6.2.1 Exploración del subsuelo	9
6.2.2 Ensayos y mediciones en sitio	9
6.2.3 Prospección geofísica	9
6.3 Ensayos de laboratorio	10
6.4 Informe de mecánica de suelos	11
6.5 Seguimiento geotécnico	12
6.6 Validez del estudio de mecánica de suelos	13
 Anexos	
Anexo A (Normativo) Exploración del subsuelo por métodos directos y/o mecánicos	14
A.1 Generalidades	14
A.2 Cantidad mínima de puntos de exploración	14
A.3 Profundidad mínima a alcanzar en cada punto de exploración para cargas estáticas	15
A.3.1 Fundaciones superficiales	15
A.3.2 Fundaciones profundas	16
A.4 Cantidad y tipo de muestras a extraer	16
A.5 Profundidad mínima a alcanzar para la clasificación sísmica del sitio	17
Anexo B (Informativo) Ensayos de laboratorio y terreno	18
 Figuras	
Figura 1 – Simbología gráfica para la representación de los suelos	7
 Tablas	
Tabla A.1 – Número mínimo de puntos de exploración para profundidades de hasta 4,0 m	14
Tabla A.2 – Número mínimo de puntos de exploración para profundidades sobre 4,0 m y hasta 8,0 m	15
Tabla B.1 – Normas de ensayos habituales de laboratorio	18

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Esta norma se estudió a través del Comité Técnico CL034 *Especialidades de la construcción*, para establecer los procedimientos mínimos que debe cumplir un estudio de mecánica de suelos para un proyecto u obra de ingeniería, sin establecer criterios de diseño, por cuanto éstos corresponden al profesional competente autor del estudio. En su elaboración se tuvo en consideración tanto la experiencia chilena como la práctica internacional.

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se ha tomado en consideración la norma ASTM E 620:2011 *Standard Practice for Reporting Opinions of Technical Experts* y antecedentes técnicos proporcionados por el Comité.

El Anexo A forma parte de la norma.

El Anexo B no forma parte de la norma, se inserta sólo a título informativo.

Si bien se ha tomado todo el cuidado razonable en la preparación y revisión de los documentos normativos producto de la presente comercialización, INN no garantiza que el contenido del documento es actualizado o exacto o que el documento será adecuado para los fines esperados por el Cliente.

En la medida permitida por la legislación aplicable, el INN no es responsable de ningún daño directo, indirecto, punitivo, incidental, especial, consecencial o cualquier daño que surja o esté conectado con el uso o el uso indebido de este documento.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 31 de marzo de 2014.

Geotecnia — Estudio de mecánica de suelos

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los estudios de mecánica de suelos para un proyecto u obra de edificación y urbanización.

1.2 Lo anterior no excluye que se deban realizar análisis adicionales o específicos para situaciones singulares, como por ejemplo, estructuras emplazadas en taludes o en su vecindad, áreas con riesgo geológico u otras.

2 Referencias normativas

Los documentos siguientes son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

NCh179, *Mecánica de suelos - Símbolos, unidades y definiciones.*

NCh433, *Diseño sísmico de edificios.*

NCh1117, *Aridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas.*

NCh1444, *Aridos para morteros y hormigón - Determinación de cloruros y sulfatos.*

NCh1515, *Mecánica de suelos - Determinación de la humedad.*

NCh1516, *Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.*

NCh1517/1, *Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.*

NCh1517/2, *Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.*

NCh1517/3, *Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 3: Determinación del límite de contracción.*

NCh1532, *Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas.*

NCh1534/1, *Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída.*

NCh1534/2, *Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 457 mm de caída.*

NCh1726, *Mecánica de suelos - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos.*

NCh1852, *Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.*

NCh2369, *Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.*

NCh3085, *Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Corte directo de suelos bajo condición consolidada drenada.*

NCh3129, *Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de parámetros de consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental.*

NCh3134, *Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.*

NCh3145, *Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en terreno - Método nuclear.*

AASHTO M 145, *Standard Specifications for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.*

ASTM C 127, *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.*

ASTM D 422, *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*

ASTM D 698, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)).*

ASTM D 854, *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.*

ASTM D 1556, *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method.*

ASTM D 1557, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)).*

ASTM D 1586, *Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.*

ASTM D 1883, *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory - Compacted Soils.*

ASTM D 2166, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.*

ASTM D 2216, *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.*

ASTM D 2435, *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.*

ASTM D 2487, *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).*

ASTM D 2922, *Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).*

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

ASTM D 3017, *Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).*

ASTM D 3080, *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.*

ASTM D 3877, *Standard Test Methods for One-Dimensional Expansion, Shrinkage, and Uplift Pressure of Soil-Lime Mixtures.*

ASTM D 4253, *Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.*

ASTM D 4254, *Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.*

ASTM D 4318, *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.*

ASTM D 4428, *Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing.*

ASTM D 4542, *Standard Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer.*

ASTM D 4546, *Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.*

ASTM D 5731, *Standard Test Method for Determination of the point load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.*

ASTM D 6032, *Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.*

ASTM D 6066, *Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential.*

ASTM E 620, *Standard Practice for Reporting Opinions of Technical Experts.*

3 Términos y definiciones

Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones indicados en NCh179 y adicionalmente los siguientes:

3.1

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials

3.2

ASTM

American Society for Testing and Materials

3.3

calicata

excavación realizada por medios manuales o mecánicos para la exploración del subsuelo

3.4

estrato u horizonte

capa o unidad de suelo o roca con propiedades geotécnicas asociables a un tipo de depósito o formación claramente distinguible

3.5

estructura de un suelo

configuración de los elementos constituyentes de un suelo (minerales, agua y aire), conformada de acuerdo a la interacción física y química existente entre sus fases

3.6

estudio de mecánica de suelos

estudio para determinar las propiedades estáticas y dinámicas y/o hídricas del subsuelo necesarias para analizar la estabilidad, deformabilidad y/o conductividad hidráulica de la masa de suelo sometidas a solicitaciones estáticas y/o dinámicas y/o por la acción del agua. El alcance y contenido de un estudio de mecánica de suelos está definido en cláusulas 5 y 6

3.7

exploración o prospección

investigación mediante métodos invasivos, que pueden ser complementados con métodos no invasivos del subsuelo con fines geotécnicos. Habitualmente incluye la obtención de muestras del subsuelo

3.8

fundación

elemento estructural para transferir las cargas de la estructura al terreno

3.9

geotecnia

rama de la ingeniería civil que estudia el comportamiento estático y dinámico de la zona superficial de la corteza terrestre bajo la acción de esfuerzos y/o la acción del agua

3.10

informe de ensayos

documento que contiene los resultados de los ensayos y mediciones de terreno y/o laboratorio sobre muestras de suelo y/o roca, conforme a las normas pertinentes

3.11

laboratorio

instalación con equipamiento destinado a la realización de ensayos normalizados y mediciones sobre muestras de suelo y/o roca

3.12

mecánica de rocas

parte de la geotecnia que estudia el comportamiento estático y dinámico de una masa rocosa bajo la acción de esfuerzos y/o la acción del agua

3.13**mecánica de suelos**

parte de la geotecnia que estudia el comportamiento estático y dinámico de un depósito de suelo bajo la acción de esfuerzos y/o la acción del agua

3.14**mejoramiento**

acción sobre el suelo, tal como su compactación, refuerzo, reemplazo del material existente por otro de mejores características, u otro método que permita mejorar en forma permanente sus propiedades geomecánicas

3.15**muestra**

porción de suelo o roca obtenida con fines de investigación geotécnica

3.16**muestra no perturbada o inalterada**

muestra que conserva la composición íntegra del suelo o roca de la que proviene, manteniendo su estructura interna

3.17**muestra perturbada**

muestra que retiene la composición íntegra del suelo o roca de la que proviene, pero no su estructura

3.18**roca**

materia mineral sólida, natural, que se presenta en grandes masas o fragmentos

3.19**RQD**

Rock Quality Designation (índice porcentual de la calidad de la roca según ASTM D 6032)

3.20**sello de excavación**

nivel correspondiente al fondo de la excavación sobre la cual se apoya una estructura o un mejoramiento

3.21**sello de fundación**

nivel de la superficie de apoyo del suelo que recibe las cargas de la fundación

3.22**SPT**

Standard Penetration Test (ensayo de penetración estándar)

3.23**subrasante de proyecto**

superficie que delimita el pavimento con todas sus capas estructurales (superestructura) y la obra básica del camino (suelo natural, terraplén, corte)

3.24**subsuelo**

suelo y/o roca por debajo de la superficie del terreno

3.25

suelo

acumulación de partículas sólidas, aire y agua, producto de la desintegración física y/o química de las rocas, que puede o no contener materia orgánica u otros minerales tales como sales soluble

3.26

superficie a explorar

en el caso de edificaciones, se refiere a la superficie mayor entre la planta del primer piso y el mayor de los subterráneos; o bien, en el caso de conjuntos habitacionales o instalaciones industriales, la superficie que contenga al conjunto de estructuras cercanas

3.27

trabajo de gabinete

estudio de escritorio destinado al análisis y evaluación de los resultados de campo, laboratorio, y a la recopilación de la información previa a la programación y ejecución de una campaña de exploración geotécnica

3.28

USCS

Unified Soil Classification System (sistema unificado de clasificación de suelo)

4 Símbolos

4.1 Los símbolos indicados en esta norma tienen el significado que se indica a continuación:

B = lado menor de una fundación;

D = diámetro del pilote o lado menor de la pila de fundación;

D_E = penetración de la exploración bajo el extremo inferior del pilote o pila de fundación;

D_f = profundidad medida desde el nivel de terreno hasta el nivel del sello de fundación;

s = menor distancia entre ejes de pilotes o pilas de fundación contiguas;

z = profundidad de exploración bajo el sello de fundación;

Z_p = profundidad del punto de exploración (calicata, sondaje u otro), medido desde la superficie del terreno.

4.2 Simbología gráfica

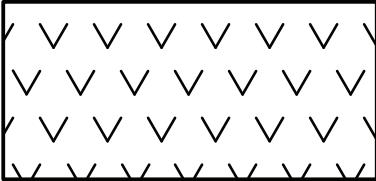
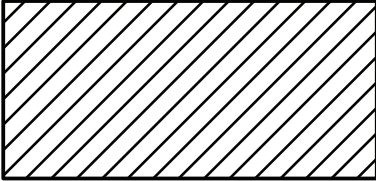
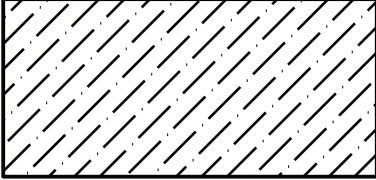
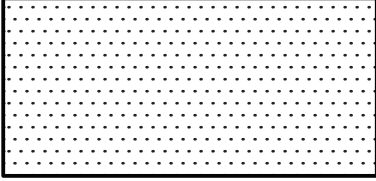
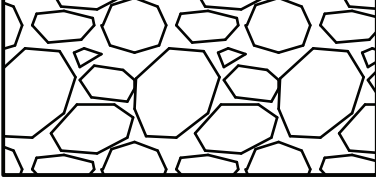
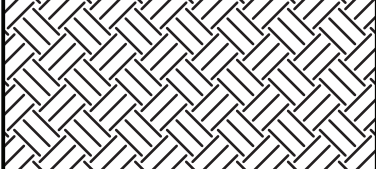
	Suelo vegetal	
	Arcilla	CL o CH
	Limo	ML o MH
	Arena	SP o SW
	Grava	GP o GW
	Roca no clasificada	

Figura 1 – Simbología gráfica para la representación de los suelos

Los símbolos pueden ser combinados cuando ello sea necesario.

5 Tipos de estudios de mecánica de suelos

5.1 Estudio de mecánica de suelos

Su objetivo es determinar el comportamiento esperado del subsuelo por la acción de los esfuerzos producidos por una obra, ya sea una estructura, una excavación, un movimiento de tierra, un túnel, etc. y por la acción del agua y/o cargas dinámicas. Incluye la determinación de los parámetros del subsuelo para el diseño de la obra con un nivel de seguridad adecuado para evitar el deterioro o falla durante su vida útil.

Adicionalmente, cuando corresponda, debe proporcionar la clasificación sísmica del sitio de emplazamiento de la obra.

5.2 Estudio preliminar

Es un estudio simplificado que se realiza para estimar las condiciones que se deben considerar durante el proyecto de las obras en estudio y los posibles problemas que pueden surgir durante el proyecto y su construcción.

5.3 Estudio especial

Es un estudio enfocado a analizar o resolver un problema particular.

NOTA Estos casos pueden ser, por ejemplo, deterioro o falla de una estructura existente, el estudio de un derrumbe en una excavación, el control de desprendimiento y/o derrumbes de un macizo rocoso, etc.

Este tipo de estudios requiere de una programación especial de la exploración, de los ensayos de laboratorio y de un criterio de análisis especial, los que deben estar acordes con las características del problema, con lo que se desea determinar, y con la factibilidad de las mediciones.

6 Estudio de mecánica de suelos

El estudio de mecánica de suelos incluye los trabajos de gabinete, de campo, de laboratorio y el informe de mecánica de suelos. Esto es aplicable también a estudios preliminares como a estudios especiales, en lo que corresponda.

6.1 Trabajo de gabinete inicial

Corresponde a la recopilación de la información existente sobre la zona a estudiar con el objeto de programar el trabajo de campo y, si ello es factible, el trabajo de laboratorio necesario para obtener la información requerida del subsuelo, o para ratificar, complementar o ampliar la información existente.

6.1.1 La información a recopilar, corresponde entre otras:

- a) ubicación: mapas y planchetas, plano topográfico, planos del anteproyecto de la obra, etc.;
- b) información geológica: memorias, informes y mapas geológicos;
- c) información geotécnica: publicaciones, memorias e informes geotécnicos, registro de sondajes y exploraciones geotécnicas;
- d) información local: estructuras y obras existentes en el área de interés.

6.1.2 La programación debe incluir los aspectos siguientes:

- a) las técnicas de reconocimiento a utilizar;
- b) número de puntos de prospección y su ubicación;
- c) la profundidad de investigación;
- d) el muestreo y ensayos en sitio a realizar;
- e) tipo y cantidades de ensayos (estimativos) a realizar en laboratorio.

6.2 Trabajo de campo

Corresponde al trabajo de reconocimiento en terreno, a la obtención de muestras del subsuelo, y a las mediciones y ensayos en sitio. Este trabajo de campo se puede agrupar en exploración del subsuelo, ensayos y mediciones en sitio y prospección geofísica.

6.2.1 Exploración del subsuelo

6.2.1.1 La exploración se puede efectuar a través de calicatas o pozos, zanjas y sondajes para obtener muestras, las que se pueden ensayar en laboratorio.

6.2.1.2 Los programas de investigación de terreno se deben definir mediante:

- a) la cantidad de puntos a investigar;
- b) la profundidad a alcanzar en cada punto;
- c) la distribución de los puntos en la superficie del terreno;
- d) número y tipo de muestras a extraer;
- e) mediciones y ensayos en terreno;
- f) ensayos y mediciones en laboratorio.

6.2.1.3 Los detalles y los requisitos mínimos de la exploración del subsuelo se incluyen en Anexo A.

6.2.2 Ensayos y mediciones en sitio

Los ensayos y mediciones en sitio se efectúan en calicatas, pozos o zanjas, en sondajes o en la superficie del terreno.

6.2.3 Prospección geofísica

Son procedimientos basados en la medición de la variación espacial de alguna característica física del subsuelo mediante técnicas no destructivas. Los procedimientos más comunes son:

- a) refracción sísmica;
- b) métodos superficiales de mediciones de ondas Rayleigh, tales como SASW (Spectral Analysis of Surface Wave), MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave), REMI (Refraction Microtremor), entre otros;

- c) métodos directos de medición de velocidades de ondas de corte, tales como Down-hole, Cross-hole, entre otros.

6.3 Ensayos de laboratorio

6.3.1 Las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo se deben ensayar de acuerdo con las normas correspondientes por un laboratorio acreditado en el área de mecánica de suelos en los ensayos que corresponda, según un programa de mediciones y ensayos definidos por el profesional competente responsable del estudio.

NOTA Los ensayos posibles de realizar se indican en Anexo B.

6.3.2 Los ensayos y mediciones mínimas a realizar para el suelo en estudio, pero no necesariamente para todas las muestras, son los siguientes:

- a) clasificación completa:
 - a.1) granulometría;
 - a.2) límites de consistencia (límites de Atterberg);
 - a.3) clasificación USCS y AASHTO en caso de caminos;
- b) peso específico;
- c) contenido orgánico cuando corresponda;
- d) densidad en sitio o peso unitario natural; y
- e) contenido de humedad natural.

En suelos granulares gruesos, los ensayos anteriores se deben realizar en la fracción bajo 3 pulgadas. Se debe informar el porcentaje en peso estimado del tamaño sobre 3 pulgadas. En este caso no es exigible la determinación de la densidad ni la humedad del suelo natural.

6.3.3 En función del tipo de suelo, si corresponde, se debe determinar lo siguiente:

- a) Arenas:
 - compacidad y/o resistencia al corte.
- b) Suelos finos:
 - compresión oedométrica (consolidación);
 - resistencia al corte;
 - hinchamiento libre y presión de hinchamiento.

c) Suelos singulares:

El profesional competente debe definir los ensayos necesarios. Entre los suelos singulares y sin ser excluyente, se pueden citar los siguientes:

- arenas licuables;
- limos colapsables;
- suelos expansivos;
- suelos alofánicos;
- suelos salinos;
- suelos residuales;
- suelos antrópicos.

Para el caso de diseño de pavimentos, se deben considerar los ensayos CBR y Proctor.

En zonas desérticas se deben considerar además los ensayos siguientes:

- contenido de sales totales solubles en agua;
- contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua.

NOTA Los ensayos de resistencia al corte pueden ser ensayos triaxiales, compresión no confinada, corte directo u otro.

6.4 Informe de mecánica de suelos

6.4.1 Con la información obtenida de los trabajos de gabinete y de campo, del informe de laboratorio y los requisitos del proyecto, el profesional competente debe ponderar la información a su disposición, para así determinar las propiedades geotécnicas que permitan la modelación del subsuelo compatible con el tipo de obra.

6.4.2 El resultado de todo el trabajo descrito se debe resumir en un informe de mecánica de suelos, con el contenido mínimo siguiente:

a) Alcance del informe

Se debe definir claramente los límites de validez técnica del informe.

b) Descripción general

Descripción del proyecto, obra o situación que motiva el estudio, e individualización del mandante.

c) Objetivo del informe

Se debe indicar claramente la finalidad del estudio de mecánica de suelos.

d) Antecedentes utilizados

Estudios anteriores, documentos geológicos y/o geotécnicos, normas, códigos, planos u otros antecedentes.

e) Trabajo de campo realizado

Se debe indicar los puntos de exploración, su profundidad, fecha de ejecución y plano con la ubicación en planta de estos puntos.

f) Trabajos de laboratorio realizados

Se deben incluir los informes de laboratorio.

g) Descripción geológica

Se debe incluir la descripción geológica si se considera necesario.

h) Descripción geotécnica del subsuelo

Se debe incluir la descripción del subsuelo clasificado en unidades estratigráficas a partir de los ensayos en sitio y de laboratorio realizados y de las características geotécnicas que de ellas se deduzcan, de modo que en cada unidad las propiedades sean sensiblemente homogéneas. Se debe incluir el nivel medido de la napa freática y su fecha de control.

i) Parámetros de diseño

Se deben incluir los parámetros geotécnicos resultantes del análisis de los trabajos de campo y laboratorio.

j) Clasificación sísmica del suelo de fundación según norma sísmica vigente.

k) Recomendaciones de diseño

Se deben incluir las recomendaciones de diseño indicando los criterios utilizados y, si corresponde, las normas utilizadas, así como las consideraciones y limitaciones incluidas.

l) Condiciones para la ejecución de obras

Se deben incluir las condiciones derivadas del estudio de mecánica de suelos para la ejecución de excavaciones, mejoramientos de suelos, compactaciones, cortes y terraplenes, depresión de napa, materiales a utilizar para rellenos, procedimientos de control, etc., los cuales deben ser parte integrante de las especificaciones técnicas de la obra.

m) Recepción de sellos

El informe debe definir las condiciones de la recepción del sello de las fundaciones de la obra.

6.5 Seguimiento geotécnico

El seguimiento a mediano y largo plazo, como la medición de asentamientos de una estructura con el tiempo, la medición de las deformaciones de un muro, o de un pavimento, etc. no forma parte del estudio de mecánica de suelos. Es una labor independiente del estudio mismo.

6.6 Validez del estudio de mecánica de suelos

6.6.1 El informe debe estar firmado por el profesional responsable del estudio.

6.6.2 El estudio no es válido para una obra distinta a la indicada en el alcance del informe.

Anexo A (normativo)

Exploración del subsuelo por métodos directos y/o mecánicos

A.1 Generalidades

A.1.1 La exploración consiste en penetrar el subsuelo con la finalidad de investigación geotécnica, normalmente obteniendo muestras del subsuelo, las que se pueden o no ensayar en laboratorio.

Esta penetración se puede efectuar a través de:

- a) calicatas o pozos y zanjas;
- b) sondajes.

A.1.2 Un programa de investigación de terreno y laboratorio debe cumplir lo indicado en 6.2.1.2.

A.2 Cantidad mínima de puntos de exploración

A.2.1 El número de puntos de exploración se determina según Tablas A.1 y A.2.

Tabla A.1 – Número mínimo de puntos de exploración para profundidades de hasta 4,0 m

Superficie a explorar m ²	Cantidad de puntos de exploración
Hasta 500	2
De 501 a 1 000	3
De 1 001 a 2 000	4
De 2 001 a 5 000	5
De 5 001 a 10 000	6
De 10 001 a 20 000	8
De 20 001 a 30 000	10
Para más de 30 000	Según lo indicado por el profesional competente, con un mínimo de 12

Tabla A.2 – Número mínimo de puntos de exploración para profundidades sobre 4,0 m y hasta 8,0 m

Superficie a explorar m ²	Cantidad de puntos de exploración
Hasta 1 000	2
De 1 001 a 4 000	3
De 4 001 a 10 000	4
Más de 10 000	Según lo indicado por el profesional competente, con un mínimo de 5

A.2.2 En vías urbanas el número mínimo de pozos debe ser de uno cada 150 m con un mínimo de dos pozos, y en caminos y carreteras debe ser de un pozo cada 250 m con un mínimo de dos pozos. La profundidad mínima debe ser de 1,50 m bajo el nivel de subrasante de proyecto.

A.2.3 El número de calicatas o sondajes debe ser conforme a lo indicado en Tablas A.1 y A.2 para las profundidades que resulten de aplicar cláusula A.3.

Si al aplicar cláusula A.3 a algunas estructuras del proyecto o todo el proyecto requiere exploraciones de más de 8 m de profundidad, la cantidad de calicatas y/o sondajes de esa zona se debe determinar por el profesional competente, sin embargo las otras estructuras del proyecto fundadas a menor profundidad deben contar con la cantidad de calicatas y/o sondajes indicadas en Tablas A.1 y A.2.

A.3 Profundidad mínima a alcanzar en cada punto de exploración para cargas estáticas

Se entiende como profundidad mínima de exploración aquella en que se produce la interacción suelo-estructura de la obra en proyecto.

A.3.1 Fundaciones superficiales

Se determina de la manera siguiente:

$$Z_p \geq D_f + z$$

en que:

D_f = distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el sello de fundación;

z = 1,5 B; siendo B el lado menor de la fundación prevista de mayor área.

A.3.1.1 El valor de z se puede incrementar en función de la calidad del suelo, de la geología, los antecedentes sísmicos de la zona y la importancia de la estructura.

A.3.1.2 Para el caso de losas de fundación, la profundidad z queda condicionada a un mínimo de B, salvo que se justifique una profundidad menor.

A.3.1.3 En ningún caso Z_p puede ser menor que 2,5 m, excepto si se encuentra el basamento rocoso antes de alcanzar la profundidad Z_p .

A.3.1.4 La profundidad de exploración Z_p se puede acortar si se encuentra roca antes de alcanzar dicha profundidad. En cuyo caso se debe llevar a cabo una verificación para descartar que no corresponda a un bolón o clasto aislado o a un estrato cementado de poco espesor.

A.3.1.5 En caso que la fundación se apoye directamente en roca, ésta se debe investigar para determinar sus propiedades geomecánicas.

A.3.2 Fundaciones profundas

A.3.2.1 La profundidad mínima de investigación, corresponde a la longitud enterrada del elemento que transmite la carga a mayores profundidades (pilote, pilar, pila, etc.), más la profundidad D_E .

$$Z_p \geq D_f + D_E$$

en que:

D_f = distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el extremo inferior del elemento o la fundación profunda (pilote, pilares, pilas, etc.);

D_E = como se indica en A.3.2.2 , A.3.2.3 , A.3.2.4 o A.3.2.5 según corresponda.

A.3.2.2 Para fundaciones profundas, tales como pilotes aislados o pilas de fundación, la exploración se debe extender bajo el nivel previsto para la punta de los pilotes, o bajo el sello de fundación de las pilas, un mínimo de 5 m. Para el caso de cepas o estribos de puentes, el mínimo debe ser de 7 m.

A.3.2.3 Para edificaciones de menos de 500 m² construidos, no sean superior a dos niveles o pisos y tampoco presenten una altura total mayor a 8 m y que se funden sobre un conjunto de pilotes, en que la menor distancia libre entre ellos sea menor o igual que 4 diámetros de la punta del pilote, la exploración se debe extender bajo el extremo inferior en una longitud mínima de 10 m.

A.3.2.4 Para el resto de las estructuras distintas a las indicadas en A.3.2.3, que se funden sobre un conjunto de pilotes, en que la menor distancia libre entre ellos sea menor o igual que 4 diámetros de la punta del pilote, la exploración se debe extender bajo el extremo inferior en una longitud mínima de 10 m, con profundidad de exploración total no menor a 30 m.

A.3.2.5 En el caso de existir antecedentes de la presencia de un estrato de suelo resistente, se puede adoptar para Z_p la profundidad del estrato resistente más una profundidad de verificación, la cual en el caso de fundaciones profundas no debe ser menor que 5 m. Si se encuentra roca antes de alcanzar la profundidad Z_p , se debe llevar a cabo una verificación de su calidad, por un método adecuado, en una longitud mínima de 3 m.

A.4 Cantidad y tipo de muestras a extraer

La cantidad y tipo de muestras a extraer la debe definir por el profesional competente responsable del estudio de manera de poder determinar en laboratorio los parámetros necesarios que caractericen el comportamiento geomecánico del subsuelo.

Se debe tomar al menos una muestra por cada estrato relevante en la estabilidad de la obra (resistencia, deformabilidad, flujo de agua, etc.) hasta alcanzar la profundidad Z_p .

A.5 Profundidad mínima a alcanzar para la clasificación sísmica del sitio

La profundidad mínima a explorar debe satisfacer lo indicado en las normas sísmicas vigentes para la clasificación sísmica del suelo de fundación.

Anexo B (informativo)

Ensayos de laboratorio y terreno

Tabla B.1 – Normas de ensayos habituales de laboratorio

Ensayos de laboratorio	Norma extranjera	Norma nacional
Granulometría	ASTM D 422 <i>Standard Test Method for particle - Size Analysis of Soils.</i>	No hay
Peso específico de partículas o gravedad específica para tamaño menor que malla N°4	ASTM D 854 <i>Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.</i>	NCh1532 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas.</i>
Peso específico de partículas o gravedad específica para tamaño mayor que malla N°4	ASTM C 127 <i>Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.</i>	NCh1117 <i>Aridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas.</i>
Densidad en terreno por el método del cono de arena	ASTM D 1556 <i>Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method.</i>	NCh1516 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.</i>
Proctor estándar	ASTM D 698 <i>Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)].</i>	NCh1534/1 <i>Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída.</i>
Proctor modificado	ASTM D 1557 <i>Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)].</i>	NCh1534/2 <i>Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 457 mm de caída.</i>
Penetración estándar, SPT	ASTM D 1586 <i>Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.</i>	No hay
CBR	ASTM D 1883 <i>Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.</i>	NCh1852 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.</i>
Compresión simple o no confinada en suelo	ASTM D 2166 <i>Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.</i>	NCh3134 <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.</i>
Contenido de humedad	ASTM D 2216 <i>Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.</i>	NCh1515 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la humedad.</i>

(continúa)

Tabla B.1 – Normas de ensayos habituales de laboratorio (continuación)

Ensayos de laboratorio	Norma extranjera	Norma nacional
Consolidación unidimensional	ASTM D 2435 <i>Standard Test Methods for One - Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.</i>	NCh3129 <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de parámetros de consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental.</i>
Clasificación de suelos	ASTM D 2487 <i>Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).</i>	No hay
	AASHTO M 145 <i>Standard Specifications for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.</i>	
Densidad en terreno con utilización del densímetro nuclear	ASTM D 2922 <i>Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).</i>	NCh3145 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en terreno - Método nuclear.</i>
Compresión simple en roca	ASTM D 2938 <i>Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.</i>	No hay
Contenido de humedad in situ en suelo y roca con utilización de densímetro nuclear	ASTM D 3017 <i>Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).</i>	NCh3145 <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en terreno - Método nuclear.</i>
Corte directo	ASTM D 3080 <i>Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.</i>	NCh3085 <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Corte directo de suelos bajo condición consolidada drenada.</i>
Colapso - hinchamiento en suelos limosos	ASTM D 3877 <i>Standard Test Methods for One-Dimensional Expansion, Shrinkage, and Uplift Pressure of Soil-Lime Mixtures.</i>	No hay
Hinchamiento libre y presión de hinchamiento en suelos cohesivos	ASTM D 4546 <i>Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.</i>	No hay
Densidad máxima, mínima y relativa	ASTM D 4253 <i>Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.</i> ASTM D 4254 <i>Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.</i>	NCh1726 <i>Mecánica de suelos - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos.</i>
Límites de Atterberg (límites líquido, plástico y de contracción)	ASTM D 4318 <i>Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.</i>	NCh1517/1 <i>Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.</i> NCh1517/2 <i>Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.</i> NCh1517/3 <i>Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 3: Determinación del límite de contracción.</i>

(continúa)

Tabla B.1 – Normas de ensayos habituales de laboratorio (conclusión)

Ensayos de laboratorio	Norma extranjera	Norma nacional
Crosshole	ASTM D 4428 <i>Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing.</i>	No hay
Contenido de cloruros, sulfatos y sales totales solubles en agua	ASTM D 4542 <i>Standard Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer.</i>	NCh1444/1 <i>Aridos para morteros y hormigones - Determinación de sales - Parte 1: Determinación de cloruros y sulfatos.</i>
Carga puntual en testigos de roca	ASTM D 5731 <i>Standard Test Method for Determination of the point load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.</i>	No hay
Refracción sísmica	ASTM D 5777 <i>Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation para refracción sísmica.</i>	No hay
RQD para testigos de roca	ASTM D 6032 <i>Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.</i>	No hay
Penetración estándar SPT para suelos potencialmente licuables	ASTM D 6066 <i>Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential.</i>	No hay
Downhole	ASTM D7400 <i>Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing.</i>	No hay
CPT (Cone Penetration Test)	ASTM D 3441-05 <i>Standard Test Method for Mechanical Cone</i> y ASTM D 5778-12 <i>Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.</i>	No hay
Presiómetro o presurómetro (Pressuremeter Testing)	ASTM D 4719-07 <i>Standard Test Methods for Prebored Pressuremeter Testing in Soils.</i>	No hay
Veleta de corte (VST - Vane Shear Test)	ASTM D 2573-08 <i>Standard Test Methods for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil.</i>	No hay