

Geotecnia - Estudio de mecánica de suelos

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.

Este proyecto de norma se estudió a través del Comité Técnico *Geotecnia*, 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 Ingeniero Civil 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 este proyecto de norma se ha tomado en consideración la norma ASTM E 620 *Standard Practice for Reporting Opinions of Technical Experts* y antecedentes técnicos proporcionados por el Comité.

El proyecto de norma NCh1508 ha sido preparado por el Instituto de la Construcción, y en su estudio el Comité estuvo constituido por las organizaciones y personas naturales siguientes:

Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería
Antisísmica, Achisina
Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales, AICE
Colegio de Ingenieros de Chile A.G.
Consultor particular
Instituto de la Construcción
Ministerio de Obras Públicas, MOP

Héctor Ventura B.
Fernando Yáñez U.
Sergio Contreras A.
Manuel Ruz J.
Miguel Angel Jaramillo B.
Karime Darwiche E.

NCh1508

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, SERVIU
Sociedad Chilena de Geotecnia, Sochige

Rafael González M.
Issa Kort K.
Héctor Ventura B.

Los Anexos A y C forman parte del proyecto de norma.

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

Contenido

| | Página |
|--|---------------|
| Preámbulo | I |
| 1 Alcance y campo de aplicación | 1 |
| 2 Referencias normativas | 1 |
| 3 Términos y definiciones | 3 |
| 4 Símbolos | 5 |
| 5 Tipos de estudios de mecánica de suelos | 6 |
| 5.1 Estudio de mecánica de suelos | 6 |
| 5.2 Estudio preliminar | 6 |
| 5.3 Estudio especial | 7 |
| 6 Estudio de mecánica de suelos | 7 |
| 6.1 Trabajo de gabinete inicial | 7 |
| 6.2 Trabajo de campo | 8 |
| 6.3 Ensayos de laboratorio | 9 |
| 6.4 Informe de mecánica de suelos | 10 |
| 6.5 Seguimiento geotécnico | 12 |
| 6.6 Validez del estudio de mecánica de suelos | 12 |

Contenido

| | Página |
|--|---------------|
| Anexos | |
| Anexo A (normativo) Exploración del subsuelo | 13 |
| A.1 Generalidades | 13 |
| A.2 Cantidad mínima de puntos de investigación en base a calicatas | 13 |
| A.3 Profundidad mínima a alcanzar en cada punto de exploración | 14 |
| A.4 Distribución de los puntos de exploración | 16 |
| A.5 Cantidad y tipo de muestras a extraer | 17 |
| Anexo B (informativo) Ensayos y mediciones en sitio | 18 |
| B.1 Generalidades | 18 |
| B.2 Mediciones en sitio | 18 |
| B.3 Ensayos en sitio | 18 |
| Anexo C (normativo) Ensayos de laboratorio | 19 |
| Figuras | |
| Figura 1 Simbología gráfica para la presentación de los suelos | 6 |
| Tablas | |
| Tabla A.1 Número mínimo de calicatas de investigación para profundidades de hasta 4,0 m | 14 |
| Tabla A.2 Número mínimo de calicatas de investigación para profundidades sobre 4,0 m y hasta 8,0 m | 14 |
| Tabla A.3 Penetración de la exploración bajo la punta o sello de fundación para grupos de pilotes o pilas | 16 |
| Tabla C.1 Normas de ensayos habituales de laboratorio | 19 |

Geotecnia - Estudio de mecánica de suelos

1 Alcance y campo de aplicación

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los estudios de mecánica de suelos para un proyecto u obra de ingeniería.

2 Referencias normativas

Los documentos referenciados 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 | <i>Mecánica de suelos - Símbolos, unidades y definiciones.</i> |
| NCh433 | <i>Diseño sísmico de edificios.</i> |
| NCh1117 | <i>Aridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas.</i> |
| NCh1444/1 | <i>Aridos para morteros y hormigones - Determinación de sales - Parte 1: Determinación de cloruros y sulfatos.</i> |
| NCh1515 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de la humedad.</i> |
| NCh1516 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.</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> |
| NCh1532 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas.</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> |

| | |
|--------------|---|
| NCh1508 | |
| 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> |
| NCh1726 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos.</i> |
| NCh1852 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.</i> |
| NCh2369 | <i>Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.</i> |
| NCh3085 | <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Corte directo de suelos bajo condición consolidada drenada.</i> |
| NCh3129 | <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de parámetros de consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental.</i> |
| NCh3134 | <i>Mecánica de suelos - Métodos de ensayo - Determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.</i> |
| NCh3145 | <i>Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en terreno - Método nuclear.</i> |
| AASHTO M 145 | <i>Standard Specifications for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.</i> |
| ASTM C 127 | <i>Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.</i> |
| ASTM D 422 | <i>Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.</i> |
| 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> |
| ASTM D 854 | <i>Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.</i> |
| ASTM D 1556 | <i>Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method.</i> |
| 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> |
| ASTM D 1586 | <i>Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.</i> |
| ASTM D 1883 | <i>Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.</i> |
| ASTM D 2166 | <i>Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.</i> |
| ASTM D 2216 | <i>Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.</i> |
| ASTM D 2435 | <i>Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.</i> |
| ASTM D 2487 | <i>Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).</i> |
| ASTM D 2922 | <i>Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).</i> |
| ASTM D 2938 | <i>Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.</i> |
| ASTM D 3017 | <i>Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).</i> |
| ASTM D 3080 | <i>Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.</i> |

| | |
|-------------|---|
| ASTM D 3877 | <i>Standard Test Methods for One-Dimensional Expansion, Shrinkage, and Uplift Pressure of Soil-Lime Mixtures.</i> |
| 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> |
| ASTM D 4318 | <i>Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.</i> |
| ASTM D 4542 | <i>Standard Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer.</i> |
| ASTM D 4546 | <i>Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.</i> |
| ASTM D 5053 | <i>Standard Test Method for Colorfastness of Crocking of Leather.</i> |
| ASTM D 5731 | <i>Standard Test Method for Determination of the point load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications</i> |
| ASTM D 6032 | <i>Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.</i> |
| ASTM D 6066 | <i>Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential.</i> |
| ASTM E 620 | <i>Standard Practice for Reporting Opinions of Technical Experts.</i> |

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: manto de suelo o roca con propiedades geotécnicas homogéneas

3.5 estructura de un suelo o roca: arreglo geométrico de las partículas o granos minerales determinado por sus esfuerzos internos

3.6 estudio de mecánica de suelos: estudio para determinar las características del subsuelo necesarias para analizar la estabilidad de masas de suelo o roca ante solicitaciones estáticas y dinámicas y/o ante la acción del agua y definir los parámetros de la interacción suelo-estructura

3.7 exploración: investigación mediante la penetración del subsuelo con fines geotécnicos. Habitualmente incluye la obtención de muestras del subsuelo

NCh1508

3.8 fundación: elemento de transferencia de las cargas de la estructura al terreno

3.9 geotecnia: rama de la Ingeniería Civil que estudia el comportamiento mecánico de la zona superficial de la corteza terrestre bajo la acción de esfuerzos y/o la acción del agua

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

3.11 laboratorio: instalación con equipamiento normalizado destinado a la realización de ensayos y mediciones sobre muestras de suelo y/o roca

3.12 mecánica de rocas: parte de la geotecnia que estudia el comportamiento mecánico 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 mecánico de un depósito de suelo bajo la acción de esfuerzos y/o la acción del agua

3.14 mejoramiento: refuerzo o reemplazo del suelo existente por otro de mejores características geotécnicas, hormigón u otro material o sistema de relleno

3.15 muestra: porción de suelo o roca obtenida con fines de investigación geotécnica

3.16 muestra no perturbada: muestra que retiene la composición íntegra del suelo o roca de la que proviene, conservando la estructura interna del suelo o roca

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

3.20 sello de excavación: superficie correspondiente al fondo de una excavación

3.21 sello de fundación: superficie de apoyo del suelo que recibe las cargas de la estructura, tanto en forma directa como a través de un mejoramiento

3.22 SPT: Standard Penetration Test

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, productos de la desintegración física y/o química de las rocas, que puede o no contener materia orgánica

3.26 superficie a explorar: 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

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.
- h : Profundidad entre el nivel de piso terminado del último subterráneo y la superficie del terreno.
- 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

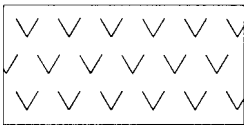
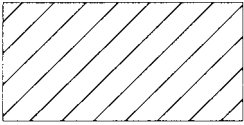
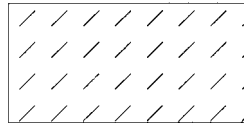
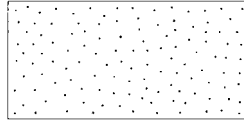
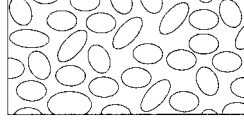

| | | |
|---|---------------------|---------|
|  | Suelo vegetal | |
|  | Arcilla | CL o CH |
|  | Limo | ML o MH |
|  | Arena | SP o SW |
|  | Grava | GP o GW |
|  | Roca no clasificada | |

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. 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.

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 específico, como 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, la estabilidad de una presa de tierra existente, 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, el informe de mecánica de suelos y el seguimiento geotécnico. 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 factible de recopilar es la siguiente:

- 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 hidrográfica: cartas hidrológicas, tabla de mareas.
- e) información sismológica: normas NCh433 y NCh2369, información del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile y memorias e informes sobre eventos sísmicos.
- f) 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 consiste en penetrar el subsuelo para obtener muestras, las que pueden o no ser ensayadas en laboratorio. Esta penetración se puede efectuar a través de calicatas o pozos, zanjas y sondajes.

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; y
- d) número y tipo de muestras a extraer.

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

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

6.2.2.2 Los ensayos más comunes se incluyen en Anexo B.

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) sísmica de refracción;
- b) propagación de ondas en sondajes; y
- c) resistividad eléctrica.

6.3 Ensayos de laboratorio

6.3.1 Las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo deben ser ensayadas de acuerdo con las normas correspondientes por un laboratorio geotécnico acreditado, según un programa de mediciones y ensayos definido por el Ingeniero Civil responsable del estudio.

6.3.2 Los ensayos posibles de realizar se indican en Anexo C.

6.3.3 Los ensayos y mediciones mínimas a realizar son los siguientes:

- a) clasificación completa:
 - i) granulometría (ver Anexo C);
 - ii) límites de consistencia (límites de Atterberg) (ver Anexo C);
 - iii) peso específico (ver Anexo C);
 - iv) contenido orgánico, clasificación USCS y AASHTO en caso de caminos (ver Anexo C);
- b) densidad en sitio o peso unitario natural (ver Anexo C); y
- c) contenido de humedad natural (ver Anexo C).

6.3.4 Además, en función del tipo de suelo, se deben realizar los ensayos siguientes:

- a) Arenas:
 - ensayo de densidades máximas, mínimas o ensayo de penetración estándar (SPT) (ver Anexo C);

NCh1508

b) Suelos con contenido de sales solubles:

- ensayo de contenido de sales totales solubles en agua (ver Anexo C);
- ensayo de contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua (ver Anexo C).

c) Suelos finos:

- ensayo de consolidación para suelos saturados o con riesgo de saturación (ver Anexo C);
- ensayo de resistencia a la compresión no confinada (ver Anexo C); o
- ensayo de corte directo (ver Anexo C).

d) Suelos expansivos:

- ensayo de hinchamiento libre (ver Anexo C); y
- ensayo de presión de hinchamiento (ver Anexo C).

e) Rocas:

- medición RQD;
- carga puntual; o
- compresión no confinada.

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 Ingeniero Civil debe proceder a ponderar la información a su disposición, a integrarla y complementarla con los aportes de la geotecnia e ingeniería de fundaciones para así modelar la situación en estudio, analizar y determinar los requisitos que debe cumplir la estructura u obra a realizar, tanto en su proceso constructivo como en su condición de servicio, para asegurar un factor de seguridad adecuado para prevenir el deterioro o ruina durante su vida útil. Asimismo, debe considerar el efecto del proceso constructivo sobre las estructuras vecinas. Para ello el Ingeniero Civil responsable del estudio se debe coordinar con los profesionales participantes en el proyecto que afecten o puedan ser afectados por las recomendaciones o conclusiones del estudio de mecánica de suelos.

6.4.2 Para el desarrollo de su labor, el Ingeniero Civil debe hacer uso de los criterios de análisis y diseño vigentes en la especialidad, de las normas aplicables y de la experiencia nacional e internacional en el tema en estudio.

6.4.3 El resultado de todo el trabajo descrito se debe resumir en un Informe de mecánica de suelos, siguiendo los principios de ASTM E 620 y este debe contener, a lo menos, lo 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 con indicación de los puntos de exploración, su profundidad, fecha de ejecución y plano con la ubicación en planta de estos puntos.

f) Trabajos de laboratorio realizados, incluyendo el Informe de Laboratorio.

g) Descripción geológica, si ello se considera necesario.

h) Descripción geotécnica del subsuelo, clasificado en unidades litológicas o 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 resultantes del análisis de los trabajos de campo y laboratorio, de la modelación geotécnica del caso y de los aportes de la geotecnia.

j) Recomendaciones de diseño, indicando los criterios utilizados y, si corresponde, las normas utilizadas, así como las consideraciones y limitaciones incluidas.

k) Condiciones derivadas del estudio de mecánica de suelos para la ejecución de compactaciones, terraplenes, depresión de napa, materiales a utilizar para rellenos, etc., los cuales deben ser parte integrante de las especificaciones técnicas de la obra.

l) El informe debe definir las condiciones del seguimiento geotécnico de la obra, según se describe en 6.5.

m) Cualquier otra información de la especialidad que se estime pertinente indicar.

6.5 Seguimiento geotécnico

6.5.1 El seguimiento permite comprobar el cumplimiento de algunas de las hipótesis de trabajo. Incluye las visitas de recepción de excavaciones y sellos de fundaciones durante la ejecución de la obras. También para aclarar dudas que se presenten y resolver cualquier problema que se detecte.

6.5.2 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 Ingeniero Civil 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

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 pueden o no ser ensayadas en laboratorio.

Esta penetración se puede efectuar a través de:

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

A.1.2 Un programa de investigación de terreno y laboratorio se debe definir mediante:

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

A.1.3 Un estudio de mecánica de suelos se puede plantear inicialmente con un programa de investigación mínima, se debe aumentar en cualquiera de sus partes si las condiciones encontradas así lo ameritan.

A.2 Cantidad mínima de puntos de investigación en base a calicatas

El número mínimo de puntos de investigación en base a calicatas se determina en Tablas A.1 y A.2 en función del área de la superficie a ocupar por éste.

Tabla A.1 - Número mínimo de calicatas de investigación 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 |
| Más de 10 000 | según lo indicado por el Ingeniero Civil |

Tabla A.2 - Número mínimo de calicatas de investigación 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 1001 a 4 000 | 3 |
| De 4 001 a 10 000 | 4 |
| Más de 10 000 | según lo indicado por el Ingeniero Civil |

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 Para exploraciones profundas con calicatas y/o sondajes de más de 8,0 m de profundidad, su número debe ser definido por el Ingeniero Civil.

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

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:

A.3.1.1 Edificación sin subterráneo:

$$Z_p \geq D_f + z$$

A.3.1.2 Edificación con subterráneo:

$$Z_p \geq h + D_f + z$$

en que:

D_f = en edificación sin subterráneo, es la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el sello de fundación. En edificaciones con subterráneo, es la distancia vertical entre el nivel de piso terminado del subterráneo y el sello de fundación;

h = distancia vertical entre el nivel de piso terminado del último subterráneo y la superficie del terreno natural;

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

A.3.1.3 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.3.1.4 Para el caso de losas de fundación, la profundidad z queda condicionada a un mínimo de B , salvo que el Ingeniero Civil justifique una profundidad menor.

A.3.1.5 En el caso que exista antecedentes previos y cercanos al sitio investigado, z se puede reducir a un mínimo de 2,0 m, a modo de verificación de dichos antecedentes y bajo la responsabilidad del Ingeniero Civil.

A.3.1.6 En ningún caso Z_p puede ser menor que 2,5 m, excepto si se encuentra roca antes de alcanzar la profundidad Z_p , en cuyo caso el Ingeniero Civil debe llevar a cabo una verificación de su calidad por un método adecuado.

A.3.2 Fundaciones profundas

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

$$Z_p \geq h + D_f + z$$

en que:

D_f = distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el extremo de la fundación profunda (pilote, pilares, pilas, etc.) en edificaciones sin subterráneo. En edificaciones con subterráneo, es la distancia vertical entre el nivel de piso terminado del subterráneo y el extremo de la fundación profunda;

h = distancia vertical entre el nivel de piso terminado del subterráneo y la superficie del terreno natural;

z = como se indica en A.3.2.2 o A.3.2.3, según corresponda.

A.3.2.2 Para fundaciones profundas, tales como pilotes 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 7 m, o bien tres veces el diámetro de la punta del pilote o tres veces el lado menor de la fundación de la pila, se debe utilizar el mayor valor que resulte al aplicar ambos criterios.

A.3.2.3 Para grupos de pilotes o pilas de fundación la exploración se debe extender bajo la punta de los pilotes o sello de fundación de las pilas previsto para el grupo, en una longitud mínima, D_E , dada por Tabla A.3, o bien hasta un mínimo de 7 m, se debe utilizar el valor mayor que se obtenga al aplicar ambos criterios.

Tabla A.3 - Penetración de la exploración bajo la punta o sello de fundación para grupos de pilotes o pilas

| S/D | D_E |
|------------|---------|
| $\geq 4,0$ | $3,0 D$ |
| 3,0 | $4,5 D$ |
| 2,5 | $5,3 D$ |

en que:

- S = menor distancia entre ejes de pilotes o pilas de fundación contiguas;
- D = diámetro de la punta del pilote o lado menor de la fundación de la pila;
- D_E = penetración de la exploración bajo la punta de la pila o pilote; si $D_E < 7$ m, usar $D_E = 7$ m.

A.3.2.4 La determinación de las profundidades de fundación establecida en A.3.2.2 se puede reducir de acuerdo al grado de certidumbre geotécnica que establezcan los estudios previos existentes.

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 , el Ingeniero Civil debe llevar a cabo una verificación de su calidad, por un método adecuado, en una longitud mínima de 3 m.

A.4 Distribución de los puntos de exploración

El Ingeniero Civil debe definir una distribución adecuada, teniendo en cuenta las características y dimensiones del terreno, características del subsuelo, así como la ubicación de las estructuras previstas, cuando éstas estén definidas.

A.5 Cantidad y tipo de muestras a extraer

La cantidad y tipo de muestras a extraer debe ser definida por el Ingeniero Civil responsable del estudio de manera de poder determinar en laboratorio todos los parámetros necesarios que caractericen el comportamiento geomecánico del subsuelo.

En todo caso, se debe tomar al menos una muestra por tipo de suelo afectado a partir del plano de apoyo de la fundación prevista D_f hasta alcanzar la profundidad Z_p , con un mínimo de una muestra cada 4 m.

En caso que el plano de apoyo de la fundación sea roca, ésta debe ser debidamente explorada de modo de poder obtener los parámetros de diseño, de acuerdo a las características de la estructura.

Anexo B
(Informativo)

Ensayos y mediciones en sitio

B.1 Generalidades

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

B.2 Mediciones en sitio

- a) densidad natural
- b) contenido de humedad
- c) granulometrías
- d) nivel de la napa
- e) permeabilidad
- f) infiltración
- g) pruebas de bombeo
- h) otras

B.3 Ensayos en sitio

- a) penetración dinámica
- b) penetración estática
- c) CBR
- d) ensayo de placa de carga
- e) ensayo de molinete
- f) ensayo presiométrico
- g) ensayos especiales (torvane, corte, etc.)
- h) otros

Se deben realizar los ensayos necesarios sobre las muestras obtenidas de la exploración, que el Ingeniero Civil considere adecuados para caracterizar las propiedades del subsuelo.

Anexo C
(Normativo)

Ensayos de laboratorio

Tabla C.1 - Normas de ensayos habituales de laboratorio

| Ensayos de laboratorio | Norma extranjera | Norma nacional | Grado de correspondencia |
|--|---|--|--|
| Granulometría | ASTM D 422 <i>Standard Test Method for Particle - Size Analysis of Soils</i> | No hay | En programa de estudio 2008-2009 |
| Peso específico de partículas o gravedad específica para tamaño menor que malla #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> | NCh1532.Of1980 es idéntica a ASTM D 854:1958 |
| Peso específico de partículas o gravedad específica para tamaño mayor que malla #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 real y neta y la absorción de agua de las gravas</i> | NCh1117.EOf1977 es equivalente a ASTM C 127:1968 (En programa de estudio 2008-2009) |
| Densidad in situ 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> | NCh1516.Of1979 es no equivalente a ASTM D 1556 |
| 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> | NCh1534/1.n2008 es equivalente a ASTM D 698:2000 |
| 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> | NCh1534/2.n2008 es equivalente a ASTM D 1557:2002 |
| Penetración Estándar, SPT | ASTM D 1586 <i>Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils</i> | No hay | - |

(continúa)

Tabla C.1 - Normas de ensayos habituales de laboratorio (continuación)

| Ensayos de laboratorio | Norma extranjera | Norma nacional | Grado de correspondencia |
|---|---|--|---|
| 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> | NCh1852.Of1981 es equivalente a ASTM D 1883:1973 |
| 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> | NCh3134.n2007 es equivalente a ASTM D 2166:2006 (En programa de estudio 2008-2009) |
| 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> | NCh1515.Of1979 es equivalente a ASTM D 2216 |
| 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> | NCh3129.n2007 es idéntica a ASTM D 2435:2004 |
| Clasificación de suelos | ASTM D 2487 <i>Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)</i> AASHTO M 145 <i>Standard Specifications for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes</i> | NCh1886 <i>Clasificación de suelos para obras de ingeniería</i> | |
| Densidad in situ 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> | NCh3145.c2007 es idéntica a ASTM D 6938:2007 (reemplaza a ASTM D 2922 y ASTM D 3017) |
| Compresión simple en roca | ASTM D 2938 <i>Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens</i> | No hay | - |

(continúa)

Tabla C.1 - Normas de ensayos habituales de laboratorio (continuación)

| Ensayos de laboratorio | Norma extranjera | Norma nacional | Grado de correspondencia |
|--|--|---|---|
| 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> | NCh3145.c2007 es idéntica a ASTM D 6938:2007 (reemplaza a ASTM D 2922 y ASTM D 3017) |
| 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> | NCh3085.Of2007 es idéntica a ASTM D 3080:2004 |
| 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> | NCh1726.Of1980 es equivalente a ASTM D 2049:1969 (En programa de estudio 2008-2009) |
| 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> | NCh1517/1.Of1979 es no equivalente a ASTM D 423 NCh1517/2.Of1979 es no equivalente a ASTM D 424 NCh1517/3.Of1979 es no equivalente a ASTM D 427 |

(continúa)

Tabla C.1 - Normas de ensayos habituales de laboratorio (conclusión)

| Ensayos de laboratorio | Norma extranjera | Norma nacional | Grado de correspondencia |
|--|---|---|----------------------------------|
| 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> | En programa de estudio 2008-2009 |
| 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 | - |
| 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 | - |