



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS,
SERVICIOS Y VIVIENDA



CNBEG

Comité Técnico Norma Boliviana
de Estudios Geotécnicos

NORMA BOLIVIANA DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS



Sociedad de Ingenieros de Bolivia



Asociación Boliviana de
Ingeniería Geotécnica



VICEMINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO
DIRECCIÓN GENERAL DE VIVIENDA Y URBANISMO



CNBEG

Comité Técnico **Norma Boliviana**
de Estudios Geotécnicos



ESTADO PLURINACIONAL DE **BOLIVIA**

Norma Boliviana de **Estudios Geotécnicos**



CNBEG
Comité Técnico Normativa Boliviana
de Estudios Geotécnicos

Créditos

Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda - MOPSV

Ministro: Ing. Edgar Montaña Rojas.

Viceministerio de Vivienda y Urbanismo - VMVU

Viceministro a.i.: Lic. Alberto Saucedo Leigues.

Dirección General de Transporte Aéreo - DGTA

Director General: M.Sc. Ing. Fernando Floresyavi.

Unidad de Políticas de Vivienda - UPV

Jefe de Unidad: Lic. Rodrigo Mendoza Hurtado.

Equipo Técnico - DGVU.

Arq. Carlos Andres Nina Tinta.

Arq. Consuelo Vanessa Quiroga Chavez.

Elaboración de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos.

Agradecimiento especial a todos los miembros que conformaron el CTNBEG (Comité Técnico de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos por su dedicación en la elaboración de la primera Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos 2023 - 2024.

Diseño y Maquetación:

Ing. Co. Victor Manuel López Chumacero.

Universidad Mayor, Real y Pontificia

de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Dirección:

Av. Mariscal Santa Cruz, esquina Calle Oruro

Edificio Centro de Comunicaciones La Paz, 5^{to} Piso

Telefonos: (+591-2) 2119999 - 2156600 - Fax: 2124390

WWW.oopp.gob.bo

La Paz - Bolivia

Gestión 2024

Miembros Acreditados

No.	Miembro	Institución
-----	---------	-------------

Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda

- | | | |
|---|---|--|
| 1 | M.Sc. Ing. Fernando Floresyavi
Pdte. Comité Técnico / R.M. No. 044 | |
| 2 | M.Sc. Ing. Juan Carlos Rocha Garces
Secretario Comité Técnico / R.M. No. 044 | |

Universidades Públicas

- | | | |
|---|----------------------------------|---|
| 3 | Dr. Juan Carlos Rojas Vidovic | Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca |
| 4 | Ing. Marco Antonio Guzmán Pórréz | Universidad Mayor de San Andrés |
| 5 | Dr. Gabriel Rodríguez Roca | Universidad Mayor de San Simón |
| 6 | Ing. Efraín Pérez Chavarría | Universidad Autónoma Gabriel René Moreno |
| 7 | Dr. Percy Oscar Gutiérrez Gómez | Universidad Autónoma Tomás Frías |
| 8 | Dr. Alberto Benítez Reynoso | Universidad Autónoma Juan Misael Saracho |

Sociedad de Ingenieros de Bolivia

- | | | |
|---|------------------------------|--|
| 9 | M.Sc. Durval Párraga Morales | |
|---|------------------------------|--|

Colegio de Ingenieros Civiles de Bolivia

- | | | |
|----|---------------------------------|--|
| 10 | M.Sc. Henry Claros Vargas | |
| 11 | M.Sc. Luis Alberto Sandi Vargas | |

Asociación Boliviana de Ingeniería Geotécnica

- | | | |
|----|--|--|
| 12 | M.Sc. Ing. José Fernando Caballero Hoyos | |
| 13 | Dra. Rosemary Janneth Llanque Ayala | |
| 14 | Ing. Fernando Ortega Ayllón | |
| 15 | Dr. Mauricio Gastón Prudencio Salcedo | |
| 16 | M.Sc. Miguel Ángel Ruiz Hurtado | |
| 17 | M.Sc. René Fernando Salgueiro Bustillos | |
| 18 | M.Sc. Oscar Alberto Zabalaga Montaña | |

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° **055**

La Paz, **18 MAR 2025**

VISTOS Y CONSIDERANDO:

El párrafo I del Artículo 19 de la Constitución Política del Estado de 7 de febrero de 2009, establece, sobre los derechos fundamentales de las personas, que *“Toda persona tiene derecho a un hábitat y vivienda adecuada, que dignifiquen la vida familiar y comunitaria.”*

El numeral 4 del párrafo I del Artículo 175 de la Constitución Política del Estado de 7 de febrero de 2009, sobre las atribuciones de las Ministras y los Ministros de Estado, además de las competencias determinadas por la Ley y la norma, establece *“Dictar normas administrativas en el ámbito de su competencia.”*

Los numerales 11 y 36 del párrafo II del artículo 298 de la Constitución Política del Estado, señala que, entre las competencias del nivel central del Estado se encuentran Obras Públicas de Infraestructura de Interés del nivel Central del Estado y las políticas generales de vivienda.

El numeral 2 del párrafo I del Artículo 82 de la Ley N° 031 Marco de Autonomías y Descentralización “Andrés Ibáñez” de 19 de julio de 2010, el cual, sobre el hábitat y vivienda, establece que: *“De acuerdo a la competencia del Numeral 36 del párrafo II del Artículo 298 de la Constitución Política del Estado, el nivel central del Estado tendrá las siguientes competencias exclusivas: 2. Formular y aprobar políticas generales del hábitat y la vivienda, incluyendo gestión territorial y acceso al suelo, el financiamiento, la gestión social integral, las tecnologías constructivas y otros relevantes, supervisando su debida incorporación y cumplimiento en las entidades territoriales autónomas, sin perjuicio de la competencia municipal.”*

El inciso w) del párrafo II del Artículo 14 del Decreto Supremo N° 4857 Organización del Órgano Ejecutivo del 6 de enero del 2023, sobre las atribuciones de las Ministras y los Ministros del Órgano Ejecutivo en el marco de las competencias asignadas al nivel central tiene la atribución de: *“Emitir Resoluciones Ministeriales, así como Biministeriales y Multiministeriales en coordinación con las Ministras (os) que correspondan en el marco de sus competencias; (...)”*

El inciso d) del Artículo 63 del Decreto Supremo N° 4857 Organización del Órgano Ejecutivo del 6 de enero del 2023, sobre las atribuciones del Ministro de Obras Públicas Servicios y Vivienda, establece: *“Las atribuciones de la Ministra (o) de Obras Públicas Servicios y Vivienda, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, con las siguientes: d) Proponer y dirigir políticas y normas de mejoramiento urbano y rural en vivienda y servicios de competencia del ministerio, priorizando las de interés social de los sectores sociales más deprimidos, coordinando las competencias concurrentes con las entidades territoriales autónomas; (...)”*

El inciso j) del Artículo 63 del mismo cuerpo normativo, establece: *“Las atribuciones de la Ministra (o) de Obras Públicas Servicios y Vivienda, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, con las siguientes: j) Definir y ejecutar planes, programas y proyectos de infraestructura, vivienda, obras civiles y servicios públicos, de interés del nivel central del Estado, en el área de su competencia; (...)”*

El inciso d) del Artículo 66 del Decreto Supremo N° 4857 Organización del Órgano Ejecutivo del 6 de enero del 2023, sobre las atribuciones del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo, establece: *“Las atribuciones del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, son las siguientes: d) Proponer y aplicar normas básicas de urbanismo y vivienda para la construcción de vivienda y edificaciones multifamiliares que promuevan el empleo y el mejoramiento efectivo de la calidad de vida; (...)”*



por la Constitución Política del Estado, son las siguientes: e) Promover, diseñar y aprobar normas técnicas para la construcción de viviendas y edificaciones multifamiliares; (...)"

El inciso f) del Artículo 66 del mismo cuerpo normativo, establece: "Las atribuciones del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, son las siguientes: f) Establecer e implementar normas técnicas para el control y supervisión de la calidad de las viviendas construidas en el marco de las políticas, programas y proyectos de vivienda social; (...)"

El inciso j) del Artículo 63 del Decreto Supremo N° 4857, establece como una atribución del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, definir y ejecutar planes, programas y proyectos de infraestructura, vivienda, obras civiles y servicios públicos, de interés del nivel central del Estado, en el área de su competencia.

El inciso n) del Artículo 66 del mismo cuerpo normativo, establece: "Las atribuciones del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, son las siguientes: n) Formular e implementar políticas para el establecimiento de obras públicas de infraestructura como articulador con los sectores y gobiernos autónomos; (...)"

Mediante la Resolución Ministerial N° 097 del 18 de mayo del 2022 se ha aprobado el Reglamento Interno de "Conformación del Comité Técnico para la Elaboración de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos para cimentaciones" y "Reglamento Interno para la Conformación del Comité Técnico para la Elaboración de la Norma Boliviana de Diseño Sísmico"; instruyendo al Viceministerio de Vivienda y Urbanismos la difusión, cumplimiento y aplicación de las mismas.

CONSIDERANDO

El Informe Técnico – Legal INF/MOPSV/VMVU/DGVU/UPC N° 0013/2025 I/2024 – 09486 de 19 de febrero del 2025 elaborado por la Dirección General de Vivienda y Urbanismo dependiente del Viceministerio de Vivienda y Urbanismos del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, mismo que concluye y recomienda: "Por la necesidad de contar en nuestro Estado Plurinacional de Bolivia con una Norma de carácter vinculante de la cual todos los departamentos, municipios, sociedad de Ingenieros, Colegio de Profesionales, Universidades, Profesionales relacionados y Población en General puedan contar con un documento oficial el cual brinde los criterios técnicos e Ingenieriles para el correcto diseño de funciones y/o cimentaciones de edificaciones, velando por la seguridad de la población en general verificando la estabilidad local del terreno como su capacidad de carga y asentamientos, por tanto, se concluye que es viable la elaboración de la Resolución Ministerial que apruebe la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos – NBEG. ""

Informe Técnico INF/MOPSV/VMT/DGTA/UTA N° 0677 I/2024 – 09486 de 17 de diciembre del 2024 elaborado por el Comité Técnico para la elaboración de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos dependiente del Viceministerio de Vivienda y Urbanismos del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, el cual concluye que: "(...) Por unanimidad fue aprobada la norma NBEG2024 en su versión final por todos los miembros acreditados y presentes en sala, en la Décima Cuarta reunión ordinaria del 16/08/2024. Es importante resaltar que ésta primera versión debe ser actualizado en un periodo de 5 años, y encomendar a las diferentes instituciones que componen el Comité, vayan desarrollando las futuras actualizaciones. (...)"

El informe jurídico MOPSV/DGAJ/N° 122/2025 I/2024-09486 de 18 de marzo del 2025, elaborado por dependencias de la Dirección General de Asuntos Jurídicos del Ministerio de Obras Públicas Servicios y Vivienda, el cual concluye que: "(...) se considera VIABLE la emisión de la Resolución Ministerial que apruebe la NORMA BOLIVIANA DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. Por lo que, corresponde dar curso a su tramitación que ha sido justificada de manera plena."

El Ministro de Obras Públicas Servicios y Vivienda, en ejercicio de sus atribuciones, conforme al inciso w) del parágrafo I del artículo 14 del Decreto Supremo N° 4857 de 6 de enero de 2023 de la Estructura Organizativa del Órgano Ejecutivo del Estado Plurinacional;

RESUELVE:

PRIMERO. - Aprobar la "NORMA BOLIVIANA DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS - NBEG" elaborada por el Comité Técnico para la Elaboración de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos, en sus doce (12) capítulos, mismo que en Anexo forma parte integrante e indivisible de la presente Resolución Ministerial, que es de aplicación a nivel nacional.

SEGUNDO. - Reconformar cada cinco (5) años para su actualización y gestión de nuevas acreditaciones el Comité Técnico de la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos.

TERCERO. - Se deja sin efecto cualquier disposición contraria a la presente Resolución Ministerial.

CUARTO. - El Viceministerio de Vivienda y Urbanismos, es el encargado de la difusión y aplicación de la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese y archívese.

Ing. Edgar Montaño Rojas
MINISTRO
Min. Obras Públicas, Servicios y Vivienda
ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



EMR
LACP/mlsp
C.c.: Arch.



MINISTERIO OBRAS PÚBLICAS, SERVICIOS Y VIVIENDA
DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS JURIDICOS
TRES
LEGALIZACIÓN: La presente fotocopia en fs. ...TRES...
...es copia fiel del original de su referencia, que cursa en archivo de esta Dirección y al que en caso necesario me remito, por lo que se legaliza en cumplimiento de los arts. 1311 del Código Civil y 400 inc. 21 de su procedimiento. - Conste.
La Paz 03 de 06 de 2025

ABOGADO RESPONSABLE
UNIDAD DE ANALISIS JURIDICOS
DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS JURIDICOS



La Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos, representa un hito importante para establecer las exigencias mínimas para la realización de estudios destinados al diseño de cimentaciones de edificaciones, asegurando niveles de seguridad mínimos, que respondan a las condiciones geotécnicas de estabilidad del terreno, la cual es aplicable a edificaciones tales como viviendas, edificios de múltiples pisos, hospitales, mercados, centros educativos, centros culturales, centros comerciales, auditorios, infraestructuras deportivas, tinglados, cobertizos, hangares, naves industriales, terminales aeroportuarias, terrestres, navales, estaciones y silos.

Con el fin de mejorar las construcciones y así evitar desastres, salvaguardando la vida de las bolivianas y los bolivianos, presento a todo nuestro Estado Plurinacional de Bolivia, esta importante **Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos**, que brinda los lineamientos para el correcto diseño estructural y construcción de edificaciones, realizadas por medio de la exploración en el terreno, para estudiar la capacidad de carga.

Ing. Edgar Montaña Rojas

MINISTRO DE OBRAS PÚBLICAS, SERVICIOS Y VIVIENDA



Por la necesidad de contar en con una Norma de carácter vinculante, se instaló el Comité Técnico para la elaboración de la Norma de Estudios Geotécnicos, la cual será de gran utilidad para todos los departamentos y municipios de nuestro Estado Plurinacional de Bolivia. La Sociedad de Ingenieros, Colegios de Profesionales, Universidades, Profesionales Técnicos, Constructores y Población en General, podrán contar con un documento oficial, el cual brinde los criterios técnicos e ingenieriles para el correcto diseño de fundaciones y/o cimentaciones de edificaciones, velando por la seguridad de la población en general verificando la estabilidad local del terreno, como su capacidad de carga y asentamientos, en ese sentido tengo el agrado de entregarles la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos para su implementación y cumplimiento en el ámbito nacional, con el objetivo de mejorar la calidad y seguridad de los proyectos de ingeniería.

Lic. Alberto Saucedo Leigues

VICEMINISTRO DE VIVIENDA Y URBANISMO a.i.

Índice

TÍTULO I

GENERALIDADES

CAPÍTULO I

ALCANCE

Artículo 1.- Objeto

Artículo 2.- Campo de aplicación

Artículo 3.- Profesionales responsables

Artículo 4.- Tipos de estudios geotécnicos

TÍTULO II

PLANIFICACIÓN

CAPÍTULO I

PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE DISEÑO

Artículo 5.- Objetivo

Artículo 6.- Información base para la planificación

Artículo 7.- Tipo de edificación

Artículo 8.- Distancia máxima entre puntos de exploración

Artículo 9.- Determinación del número de puntos de exploración

Artículo 10.- Profundidad de prospección

TÍTULO III

CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE DRENAJE DEL SUELO

CAPÍTULO I

Artículo 11.- Clasificación y estado de drenaje del suelo

TÍTULO IV

EXPLORACIÓN DE CAMPO

CAPÍTULO I

Artículo 12.- Métodos directos e indirectos

CAPÍTULO II

MÉTODOS DIRECTOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO

Artículo 13.- Técnicas directas de exploración de campo

Artículo 14.- Estado de muestras de suelo

Artículo 15.- Técnicas de muestreo y categorías de muestreadores

Artículo 16.- Ensayos directos de campo

Artículo 17.- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Artículo 18.- Ensayo de Penetración dinámica superpesada (DPSH)

Artículo 19.- Ensayo de penetración dinámica liviana (DPL)

Artículo 20.- Ensayo de piezocono (CPTu)

Artículo 21.- Ensayo del dilatómetro de Marchetti (DMT)

CAPÍTULO III	
MÉTODOS INDIRECTOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO	17
Artículo 22.- Métodos indirectos de exploración de campo	17
Artículo 23.- Ensayos geofísicos	17
Artículo 24.- Ensayos geofísicos sísmicos	17
Artículo 25.- Ensayos geofísicos eléctricos	21
TÍTULO V	
ENSAYOS DE LABORATORIO	22
CAPÍTULO I	
PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORATORIO	22
Artículo 26.- Consideraciones previas al programa de ensayos de laboratorio	22
Artículo 27.- Control de calidad de instrumentos de medida y equipos	23
CAPÍTULO II	
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN	24
Artículo 28.- Ensayos de laboratorio para la caracterización y clasificación de suelos	24
Artículo 29.- Ensayos químicos y mineralógicos	25
CAPÍTULO III	
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	27
Artículo 30.- Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante	27
Artículo 31.- Ensayos triaxiales	28
Artículo 32.- Ensayo de corte directo en condiciones consolidadas drenadas	30
Artículo 33.- Ensayo de compresión no confinada, CNC	30
CAPÍTULO IV	
CONSOLIDACIÓN	31
Artículo 34.- Ensayos de consolidación edométrica	31
CAPÍTULO V	
SUELOS ESPECIALES	32
Artículo 35.- Ensayos de laboratorio para suelos especiales	32
TÍTULO VI	
MÉTODOS DE EXPLORACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO EN ROCAS	36
CAPITULO 1	
MÉTODOS DE EXPLORACIÓN EN ROCAS	36
Artículo 36.- Métodos de exploración	36
Artículo 37.- Ensayos en laboratorio	36
Artículo 38.- Ensayos de campo para macizos rocosos	38
Artículo 39.- Sistemas de Clasificaciones Geomecánicas	39

Índice de Tablas

Tabla 1.-Tipos de edificaciones	4
Tabla 2.-Tipo de terreno y distancia máxima entre puntos de exploración	5
Tabla 3.-Número mínimo de puntos de exploración y porcentaje de sustitución.	6
Tabla 4.-Estado de drenaje en función de la clasificación de suelos.	8
Tabla 5.-Correspondencia entre categoría de muestreador y parámetro del suelo a determinar.	11
Tabla 6.- Ensayos de campo directos	12
Tabla 7. Métodos indirectos de exploración de campo: ensayos geofísicos sísmicos	17
Tabla 8.-Ensayos para la caracterización y clasificación de suelos	25
Tabla 9.-Ensayos químicos y mineralógicos	26
Tabla 10.- Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante	27
Tabla 11.- Métodos de Ensayos de consolidación unidimensional	32
Tabla 12.- Ensayos de laboratorio para Suelos Especiales	33
Tabla 13.- Ensayos de caracterización en la matriz rocosa	37
Tabla 14.- Ensayos de resistencia de la matriz rocosa	37
Tabla 15.- Ensayos de laboratorio para discontinuidades	38
Tabla 16.- Trabajos de campo para macizos rocosos	38
Tabla 17.- Clasificaciones geomecánicas	40

GLOSARIO

A.S.T.M.: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials).

Auscultación: Conjunto de técnicas y dispositivos utilizados para la medición de parámetros geotécnicos en el terreno, tales como deformaciones, presiones, movimientos y otros indicadores de estabilidad y comportamiento del suelo.

Bloque: Fragmento grande y cohesivo de suelo o roca extraído intacto durante la exploración geotécnica, generalmente utilizado para estudios y pruebas que requieren muestras no perturbadas.

Calicata: Excavación o pozo de inspección realizado manual o mecánicamente en el terreno, para observar y registrar las características de los estratos y recoger muestras para análisis geotécnico.

Cimentación superficial: Tipo de cimentación que se apoya en las capas más cercanas a la superficie del terreno y que distribuye las cargas de la estructura sobre una amplia área.

Cimentación profunda: Tipo de cimentación que se extiende a capas más profundas del terreno, a menudo a través de pilotes, para alcanzar estratos con mayor capacidad de carga y transmitir las cargas de la estructura a dichos estratos.

Colapso: Fenómeno en el que un suelo pierde su estructura y densidad rápidamente cuando es sometido a cargas o cambios en las condiciones de humedad, resultando en una reducción súbita de volumen y capacidad de soporte.

Conductividad hidráulica: Medida de la capacidad de un material poroso, como el suelo, para transmitir agua a través de sus poros o espacios vacíos bajo un gradiente de presión hidráulica.

Consolidación: Proceso por el cual un suelo saturado reduce su volumen debido a la expulsión de agua de sus poros, generalmente bajo la acción de una carga aplicada, aumentando su densidad y resistencia.

Difracción de rayos X (DRX): Herramienta analítica que permite determinar la geometría tridimensional de materiales cristalinos. Implica el uso de radiaciones electromagnéticas, es decir, rayos X, para elaborar el espacio interatómico dentro de un cristal.

Diseño: Documentación desarrollada para la ejecución de un proyecto de construcción.

Discontinuidades: son planos espaciales en la litosfera que están sobrepuestas a la matriz rocosa, formando bloques.

Dispersividad: Capacidad de un suelo para desintegrarse y dispersarse en agua, influenciada por la composición química y mineralógica del suelo, y que puede afectar su estabilidad y comportamiento hidráulico.

Ensayo de Compresión Triaxial: El ensayo de compresión triaxial tiene como finalidad determi-

nar el máximo esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser sometida a cargas axiales. Permite reproducir las condiciones del terreno, aplicando sobre las muestras presiones de compresión y de confinamiento.

Espécimen representativo: Ejemplar representativo de una clase o grupo de suelos, es decir, muestra de una determinada especie que refleja las características y cualidades que se consideren representativas de dicho suelo.

Esfuerzo cortante: Fuerza por unidad de área que actúa tangencialmente a un plano dentro de un material, como el suelo, y que tiende a provocar deslizamientos entre las partículas o estratos.

Estabilidad local del terreno: Condición en la que un segmento específico del terreno es capaz de mantener su integridad estructural bajo las cargas y condiciones del proyecto previstas, sin experimentar deslizamientos, hundimientos o fallas.

Estratigrafía del terreno: Estudio y descripción de la disposición y características de las capas o estratos de suelo y roca en una región, incluyendo su origen, edad y procesos formativos.

Estrato: Capa de suelo o roca que se distingue por sus características físicas, químicas y mecánicas, y que se diferencia de las capas subyacentes y suprayacentes.

Evaluación geológica: modelo geológico que vincula la geología regional y local con y los acontecimientos que condujeron a la formación de las diferentes unidades geológicas.

Expansión: Incremento de volumen que experimenta un suelo cuando absorbe agua, común en suelos arcillosos con alta plasticidad, lo que puede generar presiones y movimientos perjudiciales para las estructuras.

Expansión libre: Porcentaje de incremento de volumen del suelo, $\Delta h/h \cdot 100$, diferencia de altura final menos la inicial dividida sobre la altura inicial.

Exploración geotécnica: Conjunto de métodos y técnicas utilizados para investigar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo y la roca, con el fin de obtener información relevante para el diseño y construcción de obras de ingeniería.

Geología: Ciencia que estudia la tierra para su caracterización basados en las eras de su conformación en el tiempo.

Índice de colapso: Es el valor del colapso determinado, para una presión vertical, como el porcentaje de disminución de altura que experimenta el suelo al ser inundado, una vez alcanzado el equilibrio bajo la acción de la presión vertical seleccionada, con respeto a su altura en el momento de proceder a la inundación.

Laboratorio: Instalaciones destinadas a la realización de ensayos.

Laterización: Proceso de formación de suelos típicos de climas calientes y húmedos, se caracteriza por la concentración de óxidos e hidróxidos principalmente de aluminio y hierro.

Lixiviación: Remoción de partículas solubles o coloidales de un suelo por percolación de agua.

Lodo bentonítico: Fluido estabilizante a base de bentonita para soportar las paredes de la perforación.

Macizo rocoso: Es el conjunto de bloques de matriz rocosa formados por las discontinuidades.

Matriz rocosa o roca intacta: Es el conjunto de minerales que se presenta en la naturaleza sin discontinuidades.

Muestra: Porción representativa de suelo o roca obtenida durante una exploración geotécnica, utilizada para realizar ensayos de laboratorio que determinen sus propiedades físicas y mecánicas.

Nivel freático: Nivel por debajo del cual los poros de los suelos o fisuras de las rocas están saturados de agua. Dicho nivel está en equilibrio con la presión atmosférica.

Perfil del terreno: Corte transversal del terreno que muestra la disposición y características de los estratos a lo largo de una línea específica, utilizado para análisis y diseño geotécnico.

Perfil estratigráfico: Representación gráfica y descriptiva de la secuencia de capas de suelo y roca en una localización específica, mostrando las diferentes unidades geológicas y sus características físicas.

Perforación: Técnica de exploración geotécnica que consiste en realizar agujeros en el terreno utilizando equipos especializados, con el objetivo de obtener muestras de suelo y roca, así como de instalar instrumentos de medición.

Potencial de Colapso: Es el valor del colapso determinado, para una presión vertical dada, como el porcentaje de disminución de altura que experimenta el suelo al ser inundado, una vez alcanzado el equilibrio bajo la acción de la presión vertical seleccionada, con respecto a la altura inicial del suelo.

Prospección: Actividad de exploración inicial que tiene como objetivo identificar las características generales de un terreno y determinar la viabilidad de realizar estudios geotécnicos más detallados.

Proyecto: Conjunto de actividades y documentación técnica necesarias para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de una obra de ingeniería, incluyendo estudios geotécnicos, análisis estructurales y especificaciones técnicas.

Suelo: Sedimento o acumulación de partículas sólidas, producidas por la desintegración física y química de las rocas, que puede contener o no materia orgánica.

Suelos colapsables: Suelos que al ser humedecidos sufren un asentamiento o colapso relativamente inmediato dejando en riesgo la estabilidad de la estructura construida sobre ellos.

Suelos dispersivos: Suelos que cuando entran en contacto con el agua, se dispersan o aparentan que se disuelven en el agua, formando una turbidez o nube alrededor de las partículas del suelo desprendidas. La dispersión ocurre por la hinchazón de las plaquetas de arcilla y el colapso de agregados de arcilla.

Suelos expansivos: Suelos que al ser humedecidos sufren una expansión provocando riesgos estructurales en las obras construidas sobre ellos.

Suelos lateríticos: Suelos cuya génesis se comandada por procesos de laterización.

Suelos residuales: Suelos formados como producto del ataque de los agentes de intemperismo que queda en el lugar directamente sobre la roca madre.

Suelos saprolíticos: Suelo que resulta de la descomposición o degradación in situ de la roca (considerado material consolidado de la superficie terrestre), manteniendo aún la estructura de la roca que le dio origen. El suelo saprolítico es genuinamente un suelo residual.

Terreno: Superficie de la tierra y la masa de suelo y roca subyacente, considerada desde el punto de vista de su capacidad para soportar construcciones y otras obras de ingeniería.

Terreno de fundación: Parte del terreno que está en contacto directo con la cimentación de una estructura, proporcionando el soporte necesario para las cargas transmitidas por dicha estructura.

Unidad geotécnica: Volumen de terreno con propiedades geotécnicas homogéneas, que se comporta de manera similar bajo condiciones de carga y sollicitaciones externas.

Unidad geológica: Volumen de material terrestre (roca o suelo) que posee características geológicas homogéneas, tales como origen, edad y composición, y que puede ser distinguido y mapeado como una entidad única.



CNBEG

Comité Técnico **Norma Boliviana**
de **Estudios Geotécnicos**

TÍTULO I

GENERALIDADES

CAPÍTULO I – ALCANCE

Artículo 1.- Objeto

El objeto de esta norma es establecer las exigencias mínimas para la realización de estudios geotécnicos destinados al diseño de fundaciones de edificaciones, asegurando niveles de seguridad mínimos que respondan a las condiciones geotécnicas y estructurales específicas de cada proyecto.

Artículo 2.- Campo de aplicación

La presente norma establece lineamientos y criterios para la exploración geotécnica del terreno de fundación de edificaciones, con el propósito de verificar la estabilidad local del terreno de fundación, específicamente su capacidad de carga y asentamientos. Esta norma es aplicable a edificaciones tales como viviendas, edificios de múltiples pisos, hospitales, mercados, centros educativos, centros culturales, centros comerciales, auditorios, infraestructura deportiva, tinglados, cobertizos, hangares, naves industriales, terminales –aeroportuarias, terrestres, navales–, estaciones, silos.

Artículo 3.- Profesionales responsables

En la elaboración del estudio geotécnico participan con grado de responsabilidad Ingenieros Civiles y/o Ingenieros Geólogos con formación académica y experiencia en geotecnia, bajo las siguientes categorías:

a) Responsable del Estudio Geotécnico – Es el ingeniero que firma el informe geotécnico, asumiendo toda la responsabilidad de la información contenida y las conclusiones presentadas. Con base en la presente norma, realiza la planificación, el seguimiento y la elaboración del estudio geotécnico.

b) Responsable de los Ensayos – Es el ingeniero que tiene la responsabilidad de la correcta ejecución de los ensayos, el procesamiento de los datos y los resultados obtenidos; firmando la información generada. Puede ser más de un profesional por estudio geotécnico, inclusive el Responsable del Estudio Geotécnico mismo.

Artículo 4.- Tipos de estudios geotécnicos

En el marco de esta norma, un estudio geotécnico es el conjunto de actividades, principalmente la planificación y realización de trabajos de campo y laboratorio, cuyo objetivo es el determinar las

propiedades de caracterización y geomecánicas del terreno en el cual se fundará una edificación; información imprescindible para establecer las unidades geotécnicas, el tipo y las características de la fundación.

Son tres los tipos de estudio geotécnico que se reconocen, cuyo propósito y alcance se describe a continuación:

a) Estudio geotécnico preliminar

El estudio geotécnico preliminar tiene como objetivo determinar el perfil estratigráfico del terreno de fundación -identificando los diferentes tipos de suelos presentes y la posición del nivel freático-, información necesaria para seleccionar los métodos de exploración a ejecutarse en el estudio geotécnico de diseño.

La realización de este tipo de estudio no es obligatoria. En ningún caso sustituye al estudio geotécnico de diseño.

El estudio geotécnico preliminar no está obligado a cumplir con los requisitos de número de sondeos establecido en esta norma y este número será definido por el Responsable del Estudio Geotécnico.

b) Estudio geotécnico de diseño

El objetivo del estudio geotécnico de diseño es obtener la información necesaria para establecer las unidades geotécnicas a considerar en el diseño geotécnico de las fundaciones. Esta información comprende parámetros de caracterización (propiedades físicas y/o químicas) y geomecánicos (propiedades mecánicas e hidráulicas) con una distribución espacial determinada a través de los criterios de número y profundidad de las exploraciones y frecuencia de muestreo en profundidad.

c) Estudio geotécnico de verificación

En caso de considerarse necesaria la complementación o verificación de la información contenida en el estudio geotécnico de diseño, se llevará adelante un estudio geotécnico de verificación; en este no es obligatorio cumplir con los requisitos de número de sondeos, profundidad y muestreo establecidos en esta norma, sino más bien se realizarán solo aquellas prospecciones y ensayos requeridos para alcanzar el propósito establecido por el Responsable del Estudio Geotécnico de verificación.

TÍTULO II PLANIFICACIÓN

CAPÍTULO I – PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE DISEÑO

Artículo 5.- Objetivo

- I. El objetivo de la planificación del Estudio Geotécnico de Diseño es definir los siguientes datos relacionados con la exploración a realizarse en el terreno de fundación:
 - Número de puntos de exploración.
 - Ubicación de los puntos de exploración.
 - Profundidad de exploración.
 - Técnicas de exploración.
 - Ensayos de campo.
 - Ensayos de laboratorio.
 - Calidad de muestra a obtener.

- II. La planificación del estudio geotécnico de diseño, según la presente norma, establece un plan de trabajo estructurado para garantizar la obtención adecuada de la información geotécnica del terreno. El plan incluye:
 - a. Determinar el número (Art. 9) y ubicación de los puntos de exploración: establecer la cantidad y localización estratégica de los puntos de exploración para caracterizar todas las áreas de interés del sitio de estudio.
 - b. Establecer la profundidad de exploración: definir la profundidad hasta la que se deben llevar a cabo las exploraciones, asegurando que se abarque la zona donde se generen cambios significativos en los esfuerzos a ser generados por la edificación proyectada (Art. 10).
 - c. Seleccionar las técnicas de exploración (Art. 15 y 36): elegir las técnicas de exploración que mejor se adaptan a las características específicas del terreno y a los requerimientos del proyecto.
 - d. Seleccionar los ensayos de campo (Art. 16, 23 y 38) y de laboratorio (Art. 28-35, y 37): definir y programar los ensayos de campo y laboratorio que se deben realizar para determinar los parámetros geotécnicos del terreno de fundación.
 - e. Especificar la calidad y tipo de muestras: definir los requisitos de calidad (Art. 14) y los tipos de muestras (Art. 13) que se deben obtener para los ensayos de laboratorio.

- III. La planificación será realizada con base en la información obtenida en el estudio geotécnico preliminar o con la información disponible de las características del terreno de fundación.

Artículo 6.- Información base para la planificación

Para la planificación de la campaña geotécnica es necesaria, como mínimo, la siguiente información:

- Tipo de edificación proyectada (Art. 7).
- Descripción de las características y variabilidad del tipo de terreno dónde se edificará.
- Profundidad de fundación.
- Tipo de fundación (superficial o profunda).
- Dimensión máxima de la fundación (base/largo o diámetro).

Artículo 7.- Tipo de edificación

- I. La clasificación de edificaciones tiene como referencia la Guía Boliviana de Construcción de Edificaciones (2015), la cual establece los tipos de construcción basados en su tipología, superficie y altura. Los diferentes tipos de edificaciones están detallados en la Tabla 1:

Tabla 1.-Tipos de edificaciones

TIPO	TIPOLOGÍA	ALTURA
C-1 ^(a)	De interés social (Vivienda básica)	Hasta 3.5 m Una planta
	Simple (Vivienda privada)	Hasta 4.5 m Una planta y media
C-2 ^(a)	Mediana (Vivienda uso mixto)	Hasta 6.5 m Planta baja y planta alta
C-3 ^(a)	Medianamente compleja (Vivienda uso mixto, multifamiliar)	Hasta 12.5 m Dos a cuatro plantas
C-4a	Compleja (Vivienda uso mixto, multifamiliar, oficinas, comercio)	Hasta 40 m Cinco a diez plantas
C-4b		Hasta 60 m Once a veinte plantas
C-4c		Mayores a 60 m o VEINTE plantas
C-5	Edificaciones especiales	Cualquier altura

^(a) Para edificaciones ejecutadas con inversión privada la realización del estudio geotécnico de diseño es obligatoria cuando las Entidades Territoriales Autónomas (ETA's) establezcan la obligatoriedad del diseño estructural.

- II. Para los tipos de edificación C-1, C-2 y C-3 que serán ejecutadas con inversión privada la realización del estudio geotécnico de diseño es obligatoria cuando las Entidades Territoriales Autónomas (ETA's) establezcan la obligatoriedad del diseño estructural.
- III. En el cómputo del número de plantas se incluyen sótanos, semisótanos, terrazas y áticos.
- IV. Cuando la distancia entre apoyos sea mayor a 10 m se clasificará la edificación en el tipo inmediato superior.

Artículo 8.- Distancia máxima entre puntos de exploración

La variabilidad de la estratigrafía del terreno de cimentación condiciona la distancia máxima entre los puntos de exploración, conforme a lo estipulado en la Tabla 2. La selección del tipo de terreno está a cargo del Responsable del Estudio Geotécnico, quien debe considerar las características geológicas y geotécnicas locales de la zona de estudio.

Tabla 2.-Tipo de terreno y distancia máxima entre puntos de exploración

TIPO	TIPOLOGÍA	DISTANCIA MÁXIMA [m]
T-1	Terreno con estratigrafía de variabilidad baja.	30
T-2	Terreno con estratigrafía de variabilidad media.	25
T-3	Terreno con estratigrafía de variabilidad alta.	20

En los casos en los que se desconoce la tipología de terreno se debe seleccionar el tipo T-3.

Artículo 9.- Determinación del número de puntos de exploración

- I. Un punto de exploración es el punto dentro del área de estudio (entiéndase como la superficie a construir en planta) en el que se han determinado parámetros del suelo que permiten la obtención de propiedades geomecánicas.
- II. La disposición de los puntos de exploración será definida por el Responsable del Estudio Geotécnico, quien debe distribuir los puntos de exploración dentro del área de estudio de manera que permitan obtener la mayor cantidad de información posible sobre la variabilidad del terreno, evitando dejar zonas amplias sin caracterizar.
- III. El número mínimo de puntos de exploración es función del tipo de edificación (Tab. 1) y la distancia máxima entre puntos de exploración (Tab. 2). Si al cumplir estas dos condiciones no se cubre adecuadamente el área de estudio, entonces se debe incrementar el número de puntos de exploración.

- IV. Son considerados puntos de exploración aquellos en los que se ejecutan ensayos CPTu, SPT, DMT, VST o PMT; además de aquellos en los que se obtienen muestras a través de tubos Shelby o bloques obtenidos de calicatas, en cuyas muestras obligatoriamente deben ejecutarse ensayos de laboratorio para la determinación de parámetros geomecánicos.
- V. Cuando el número de puntos de exploración necesarios para cubrir el área de estudio supera el número estipulado en la Tabla 3, está permitido sustituir -en un porcentaje de los puntos de exploración adicionales- los métodos de exploración citados en el inciso IV de este artículo por ensayos DPSH, DPL y de geofísica sísmica. Los porcentajes de sustitución se presentan en la Tabla 3, y se aplican al número de puntos de exploración por encima del número mínimo.

Tabla 3.-Número mínimo de puntos de exploración y porcentaje de sustitución.

Tipo de edificación	Número mínimo de puntos de exploración con métodos directos	Porcentaje de sustitución		
		T-1	T-2	T-3
C-1 ^(a)	2	70	70	66
C-2 ^(a)	2	66	66	66
C-3 ^(a)	2	66	66	66
C-4a	3	66	66	50
C-4b	3	66	66	50
C-4c	3	50	50	40
C-5	^(b)	40	40	30

^(a) Para edificaciones realizadas con inversión privada la necesidad del estudio geotécnico es obligatoria cuando las Entidades Territoriales Autónomas (ETA's) establezcan la obligatoriedad del diseño estructural.

^(b) De acuerdo con el tipo de edificación especial, es responsabilidad del Responsable del Estudio Geotécnico, el establecer el número de puntos de exploración.

Artículo 10.- Profundidad de prospección

- I. Para establecer la profundidad mínima de prospección, se debe asumir de manera preliminar el tipo de cimentación (i.e. superficial o profunda) y la geometría de la fundación de mayor tamaño (i.e. base y largo de la fundación superficial, o diámetro del pilote) a diseñar. En caso de incertidumbre, se debe considerar que la fundación será profunda.
- II. Para fundaciones superficiales la profundidad mínima se determina de acuerdo con los dos criterios siguientes:
- a) Para una base igual o menor a seis (6) metros: es la profundidad del nivel de fundación (D_f) más la profundidad a la que el incremento de

esfuerzo vertical es el 10% de la carga aplicada por la fundación (q_0); Es decir, la profundidad para la que se cumpla la relación $\Delta\sigma = 0.10 \times q_0$.

- b) Para una base mayor a seis (6) metros: es la profundidad del nivel de fundación (D_f) más la profundidad a la que el incremento de esfuerzo vertical ($\Delta\sigma$) en el terreno, generado por la carga aplicada por la fundación (q_0), sea igual o inferior al 10% del esfuerzo efectivo vertical (σ'_0) existente en el terreno a esa profundidad antes de construir el edificio; es decir, la profundidad para la que se cumpla la relación $\Delta\sigma = 0.10 \times \sigma'_0$.

Nota: El cálculo del incremento tensional ($\Delta\sigma$) será efectuado en el centro de la cimentación utilizando metodologías apropiadas para el efecto (i.e. ecuaciones o algoritmos basados en la teoría de la elasticidad).

- III. Para fundaciones profundas, la profundidad de prospección será igual a la profundidad del nivel de fundación (D_f) más uno de los dos criterios:
- a) una (1) vez el ancho del grupo de pilotes.
b) tres (3) veces el diámetro del pilote aislado.
- IV. El criterio para finalizar la exploración, en profundidad, es uno de los siguientes:
- a) Alcanzar mínimamente la profundidad establecida con los criterios I-a), I-b) o III), según corresponda.
- b) Cuando la presencia de un estrato cuyas características de resistencia no permitan el avance del método de exploración utilizado, se procederá de la siguiente manera:
- i) Edificaciones Tipo C-1, C-2 y C-3, la exploración del terreno se considerará suficiente.
- ii) Edificaciones Tipo C-4, C-5 y especiales, debe comprobarse la continuidad del estrato competente en una profundidad mínima de 1 m más 0.5 m adicionales por cada planta que tenga la construcción. Esta comprobación puede ser realizada a través de perforación de rotación con corona de diamantes o ensayos geofísicos. Si se verifica la continuidad la exploración se considera suficiente; caso contrario, se debe continuar con la exploración hasta alcanzar la profundidad establecida de acuerdo con los incisos I-a), I-b) o III).
- c) En el caso particular del uso de perforación de rotación con corona de diamantes como técnica de exploración y de verificar la presencia de roca, materiales IGM o suelos cementados, la profundidad mínima de exploración será la establecida según el inciso IV-b)-ii), independientemente del tipo de edificación.

TÍTULO III

CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE DRENAJE DEL SUELO

CAPÍTULO I

Artículo 11.- Clasificación y estado de drenaje del suelo

- I. I. La clasificación geotécnica de las muestras de suelo recolectadas de los estratos que conforman el perfil del terreno debe ser realizada según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM D2487-17.
- II. Las condiciones de estabilidad, para el diseño geotécnico estático de fundaciones, establecen la necesidad de considerar el estado drenado o no drenado para cada estrato de suelo presente dentro la zona del suelo donde se producen incrementos de esfuerzo significativos, por efecto de una carga aplicada. La conductividad hidráulica es el parámetro que determina si se debe considerar el estado drenado o no drenado del suelo, con un valor límite aceptado de $k = 10^{-6}$ m/s. En caso de que no se disponga de este dato, la Tabla 4 proporciona, de manera referencial, la relación entre el tipo de suelo y su estado de drenaje, que puede ser utilizada para el diseño de fundaciones.

Tabla 4.-Estado de drenaje en función de la clasificación de suelos.

TIPO DE SUELO	GRUPO	ESTADO	
		DRENADO (Permanente)	NO DRENADO (Transitorio)
Grava	GW, GP, GM, GC GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC, GC-GM	SÍ	NO
Arena	SW, SP, SM, SC SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC, SC-SM	SÍ ^(c)	SÍ ^(d)
Limo	ML, MH	SÍ	SÍ
Arcilla	CL, CH, CL-ML	SÍ	SÍ
Orgánico	OL, OH	SÍ	SÍ

^(c) Con un máximo de 30% que pase por el tamiz No.200 y que tengan límite líquido $LL \leq 30\%$ e índice plástico $IP \leq 15\%$.

^(d) Arenas que no cumplan con las condiciones mencionadas para el estado drenado.

TITULO IV EXPLORACIÓN DE CAMPO

CAPÍTULO I

Artículo 12.- Métodos directos e indirectos

Los métodos directos, que implican el acceso físico al subsuelo, ya sea con o sin obtención de muestras, deben ser considerados como la primera opción entre las técnicas para la caracterización del terreno de fundación.

El uso exclusivo de métodos indirectos, los cuales consisten en mediciones realizadas desde la superficie sin acceso físico al subsuelo, está permitido únicamente después de haber agotado todas las posibilidades de aplicación de los métodos directos, tanto en términos del tipo de método como de la profundidad a alcanzar.

La exploración de campo debe ser realizada a través de métodos directos o una combinación de métodos directos e indirectos, de manera que se complementen.

CAPÍTULO II

MÉTODOS DIRECTOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO

Artículo 13.- Técnicas directas de exploración de campo

Las técnicas directas de exploración de campo se diferencian, entre ellas, por su capacidad de extraer muestras y/u obtener parámetros del suelo.

De las técnicas que extraen muestras, algunas tienen como único objetivo el obtener muestra para la realización de ensayos de laboratorio.

Aquellas técnicas que a partir de su aplicación permiten obtener parámetros del suelo son denominadas ensayos; los ensayos que no permiten la recuperación de muestras son denominados auscultaciones.

Artículo 14.- Estado de muestras de suelo

- I. Las muestras obtenidas a través de técnicas directas de exploración se clasifican según su estado en: inalteradas, alteradas, reconstituidas y no representativas. La descripción de sus características se encuentra a continuación::

a. Muestras inalteradas

Son aquellas muestras que mantienen las características que el suelo presenta in situ: estructura, distribución de tamaño de partículas y contenido de agua.

A pesar de su denominación, durante el proceso de su extracción las muestras de esta categoría sufren modificaciones de su historia de esfuerzos; para minimizar este efecto, su obtención debe ser realizada con muestreadores y técnicas aceptadas bajo la Categoría A (Art. 15-II-a) de la presente norma.

b. Muestras alteradas

Son aquellas muestras cuya estructura *in situ* es modificada significativamente durante el proceso de extracción, pero conservan el contenido de agua natural y la distribución de tamaño de partículas. Los muestreadores Categoría B (Art. 15-II-b) son los indicados para su obtención.

c. Muestras reconstituidas

Muestras cuyo peso unitario y contenido de agua son preestablecidos en laboratorio, reproduciendo los valores medidos en campo, con o sin modificación de la distribución de tamaño de partículas, esto de acuerdo con la necesidad del proyecto.

d. Muestras no representativas

Son aquellas muestras cuya distribución de tamaño de partículas ha sido modificada durante el proceso de su extracción, ya sea por la remoción o adición de fracciones granulométricas de suelos y/o rocas. Estas muestras no deben ser utilizadas para ensayos de laboratorio y pueden ser utilizadas únicamente para determinar la secuencia estratigráfica.

Artículo 15.- Técnicas de muestreo y categorías de muestreadores

- I. Las técnicas de muestreo son procedimientos que permiten la toma de muestras para la realización de ensayos de laboratorio. De acuerdo con las características particulares de cada técnica, la calidad de la muestra obtenida es categorizada y relacionada con el parámetro a obtener.
- II. Tres son las categorías de muestreadores consideradas en la presente norma, el detalle se encuentra en la Tabla 5.

Tabla 5.-Correspondencia entre categoría de muestreador y parámetro del suelo a determinar.

PARÁMETRO	CATEGORÍA A	CATEGORÍA B	CATEGORÍA C
Espesor de estrato	X	X	X
Granulometría	X	X	---
Límites de consistencia	X	X	---
Contenido de agua	X	X	---
Gravedad específica	X	X	---
Ensayos químicos	X	X	---
Peso unitario	X	---	---
Conductividad hidráulica	X	---	---
Esfuerzo de corte	X	---	---
Compresibilidad	X	---	---
Índice de colapso	X	---	---
Ensayos de expansión	X	---	---

a. Categoría A

Los muestreadores de esta categoría permiten obtener muestras inalteradas, a partir de las cuales se determinan propiedades de caracterización y geomecánicas.

a.1 Bloques a partir de calicatas

Las muestras en bloque son extraídas a partir de calicatas, mediante un proceso cuidadoso de tallado manual que minimice la modificación de la estructura in situ de la muestra.

Una vez extraída, para conservar la categoría A de la muestra, se debe evitar la modificación de la estructura del suelo siguiendo las especificaciones de conservación y transporte de muestras de suelo especificadas en la ASTM D4220/D4220M-14.

a.2 Tubos de pared delgada - Shelby

Las características geométricas de los tubos y el procedimiento de extracción deben cumplir la norma ASTM D1587/D1587M-15, donde se especifica el muestreo de suelos finos con tubos de pared delgada.

b. Categoría B

Los tubos de pared gruesa forman parte de esta categoría, son aquellos que no cumplen con los requisitos geométricos de los tubos de pared delgada; por lo tanto, alteran la estructura de la muestra obtenida. Los muestreadores de esta categoría son los siguientes:

b.1 Cuchara bipartita

La cuchara bipartita, también denominada cuchara de Terzaghi o muestreador SPT, es un muestreador de pared gruesa utilizado como parte del equipo del ensayo de penetración estándar SPT.

b.2 Muestreador MOSTAP

El muestreador MOSTAP, acrónimo que corresponde al holandés Monster Steek Apparaat, es utilizado como un método de muestreo complementario al ensayo de penetración de cono CPT.

c. Categoría C

Para la determinación preliminar de la estratigrafía del terreno se tienen como opción métodos simples de extracción de muestras, que, por las características propias del método, la muestra obtenida corresponde al estado no representativo.

c.1 Barrenas para perforación

Las barrenas para perforación, o saca muestras de suelo, son herramientas utilizadas en los estudios geotécnicos preliminares y tienen diferentes formas de acuerdo con el tipo de suelo a perforar y extraer.

Artículo 16.- Ensayos directos de campo

Los ensayos directos de campo que implican la obtención de parámetros del suelo se clasifican según el método de penetración utilizado en el terreno, dividiéndose en métodos dinámicos y estáticos. Los ensayos de penetración dinámica utilizan un tubo de pared gruesa o una punta cónica metálica que se introduce en el terreno por medio de golpes repetitivos. Por otro lado, los ensayos de penetración estática se caracterizan por emplear una punta instrumentada que, a través de la aplicación de una fuerza, avanza en profundidad a una tasa de penetración constante.

La lista de ensayos de exploración directa, considerados en la presente norma, se encuentra en la Tabla 6.

Tabla 6.- Ensayos de campo directos

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	MÉTODO DE PENETRACIÓN	EXTRACCIÓN DE MUESTRA	PARÁMETRO
Ensayo de penetración estándar (SPT)	ASTM D1586/ D1586M-18e1	Dinámica	Sí	$N_{60}; (N_1)_{60}$

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	MÉTODO DE PENETRACIÓN	EXTRACCIÓN DE MUESTRA	PARÁMETRO
Ensayo de penetración dinámica super pesada (DPSH)	UNE-EN ISO 22476-2:2008	Dinámica	No	N_{20}
Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)	UNE-EN ISO 22476-2:2008	Dinámica	No	N_{10}
Ensayo de penetración de cono (CPTu)	ASTM D5778-20	Estática	No	$q_c, f_{s, u}$
Ensayo dilatómetro de Marchetti (DMT)	ASTM D6635-15	Estática Dinámica	No	P_0, P_1
Ensayo presiométrico (PMT)	ASTM D4719-20	Estática	No,	P, P_0, P_f, P_L
Ensayo de corte con veleta (VST)	ASTM D2573/ D2573M-18	Estática	No	T
Ensayo de carga de placa (PLT)	ASTM D 1194-94	Estática	No	Relación carga- asentamiento

Artículo 17.- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

- I. El ensayo de penetración estándar (SPT) es una prueba de penetración dinámica que se realiza dentro de una perforación según norma ASTM D1586/D1586M-18e1.
- II. El ensayo debe ser ejecutado con un espaciamiento máximo en profundidad de metro y medio (1,5 m).
- III. Ante la presencia de suelos arenosos sueltos por debajo del nivel freático, para evitar el desmoronamiento de las paredes de la perforación, se debe encamisar la perforación o utilizar lodos de perforación.
- IV. El resultado del ensayo es el número de golpes para una profundidad de penetración de treinta centímetros, N_{SPT} ; parámetro que se encuentra

afectado principalmente por la eficiencia de energía del equipo con el que se ejecuta el ensayo.

- V. Para la determinación de la eficiencia de energía del equipo se debe realizar la medición de la energía siguiendo la norma ASTM D4633-16. Si no se cuenta con esta medición, es responsabilidad del Responsable del Ensayo el asumir este dato con base en las características del equipo y los valores de eficiencia de energía de equipos similares reportados en la literatura.
- VI. Para determinar el número de golpes corregido, N_{60} , se deberán aplicar las correcciones por: energía, longitud de barra, diámetro de perforación y muestreador.
- VII. En los equipos SPT accionados de manera automática la corrección por longitud de barra es consistente con los datos experimentales; en los equipos SPT accionados manualmente la corrección por longitud parece no ser pertinente, dejando su aplicación a criterio del Responsable del Ensayo.
- VIII. El diámetro de perforación máximo permitido es de 200 mm; en consecuencia, no está permitido el uso de calicatas como método de perforación.
- IX. El efecto del diámetro interno de la cuchara bipartida, entre constante y variable, debe ser corregido solamente en el caso de muestreadores de diámetro interno variable.
- X. En los casos particulares relacionados con el uso de encamisados, lodos de perforación y suelos de arena fina y limo ubicados por debajo del nivel freático, las correcciones adicionales serán aplicadas a criterio del Responsable del Ensayo.
- XI. En el caso de arenas, además de las correcciones mencionadas en el punto VI, se debe corregir por el efecto del esfuerzo efectivo vertical, teniendo como resultado el número de golpes corregido por sobrecarga, $(N_1)_{60}$.
- XII. El ensayo SPT está indicado para su ejecución en suelos arenosos de comportamiento drenado; a partir del parámetro $(N_1)_{60}$ se obtienen parámetros cuantitativos de resistencia y deformación, cuya calidad es media y alta, respectivamente.
- XIII. Cuando el ensayo SPT es realizado en suelos arcillosos o arenosos de comportamiento no drenado a corto plazo, los parámetros estimados con base en el dato N_{60} , tienen una calidad baja, consecuentemente se constituyen en un dato de carácter cualitativo.

Artículo 18.- Ensayo de Penetración dinámica superpesada (DPSH)

El ensayo de penetración dinámica superpesada (DPSH), es un ensayo de auscultación dinámica que complementa (Art. 9-V) a los ensayos SPT, CPTu y DMT.

- I. La punta cónica, debe tener la configuración establecida en la normativa de referencia.
- II. El resultado del ensayo DPSH es el número de golpes necesarios para introducir veinte centímetros la punta cónica en el suelo, N_{20} .
- III. Las correcciones que se deben aplicar al valor N_{20} , son: energía, longitud de barra y diámetro de perforación.
- IV. El parámetro N_{20} , no debe ser correlacionado con parámetros de diseño, pudiendo ser utilizado para compararlo con resultados del ensayo SPT ejecutado en el mismo sitio de estudio.

Artículo 19.- Ensayo de penetración dinámica liviana (DPL)

El ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) es un método de auscultación dinámica que complementa (Art. 9-V) a los ensayos SPT, CPTu o DMT.

- I. El resultado del ensayo DPL es el número de golpes necesarios para introducir diez (10) centímetros la punta cónica en el terreno, N_{10} . Este resultado está afectado por la energía de eficiencia de energía del equipo.
- II. El número de golpes N_{10} solamente será utilizado para una evaluación cualitativa del perfil del suelo o para una comparación relativa con otros ensayos de campo ejecutados en el mismo sitio de estudio.
- III. La profundidad máxima de aplicación de prospección del ensayo es de seis (6) metros.

Artículo 20.- Ensayo de piezocono (CPTu)

El ensayo de piezocono (CPTu), es una prueba de auscultación estática que se realiza bajo la referencia de la norma ASTM D5778-20.

- I. Durante la ejecución del ensayo CPTu se mide la resistencia a la penetración de la punta, q_c , la fricción lateral, f_s y la presión de poros, u .
- II. Los valores obtenidos de la resistencia por punta, q_c , deberán ser corregidas por el factor de área neta, a , y la presión de poros, u , de esta manera se calcula la resistencia total del cono, q_t .

- III. El ensayo CPTu está indicado para su ejecución en suelos en estado drenado y no drenado.
- IV. Debido a la ausencia de obtención de muestras del terreno, el ensayo se ejecutará en combinación con perforaciones con toma de muestras.
- V. A partir de los resultados obtenidos en el ensayo CPTu se estima la clasificación y estratigrafía del terreno en función al comportamiento ingenieril del suelo; de la misma forma, se obtienen parámetros cuantitativos de resistencia y deformación, de calidad media y alta, respectivamente.
- VI. Las pruebas de disipación del exceso de presión de poros generado durante el ensayo se llevarán a cabo de acuerdo con la norma ASTM D5778-20, en las profundidades y ubicaciones donde se requiere determinar la posición del nivel freático y la conductividad hidráulica del estrato ensayado.
- VII. La calibración del equipo se realizará de acuerdo con las instrucciones del fabricante y de conformidad a la norma de referencia ASTM.

Artículo 21.- Ensayo del dilatómetro de Marchetti (DMT)

El ensayo del dilatómetro de Marchetti (DMT) es una prueba de auscultación que se realiza bajo la referencia de la norma ASTM D6635-15.

- I. El ensayo se ejecuta dentro de una perforación, la hincada del instrumento en el terreno se realiza mediante penetración estática o dinámica, dependiendo de las características del terreno y/o equipo de hincada.
- II. El ámbito de aplicación del ensayo es tanto para suelos en condiciones drenadas como no drenadas, de poco a muy densos y de blandos a duros, respectivamente.
- III. A partir de los valores de presiones corregidos de P_0 y P_1 , se derivan tres parámetros intermedios característicos de este ensayo:
 - i) índice de material, ID, relacionado con el tipo de suelo y su comportamiento mecánico.
 - ii) índice de esfuerzo horizontal, KD, dependiente del esfuerzo efectivo horizontal, se relaciona con la relación de sobreconsolidación del suelo, OCR.
 - iii) módulo dilatométrico, ED, determinado a partir de la teoría de la elasticidad. Este valor no se debe confundir con el módulo de Young.

- IV. Con base en los parámetros intermedios ID, KD y ED, el ensayo DMT permite estimar con una calidad media y alta, parámetros de resistencia, deformabilidad e historia de esfuerzos del suelo.

CAPÍTULO III

MÉTODOS INDIRECTOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO

Artículo 22.- Métodos indirectos de exploración de campo

Los ensayos geofísicos son métodos indirectos de caracterización geotécnica del terreno. Contribuyen a optimizar el programa de exploración de campo a través de la identificación de las unidades geotécnicas del área de proyecto. Estos ensayos constituyen un complemento a la exploración geotécnica, sin reemplazar a las técnicas directas ni a los ensayos de laboratorio.

Artículo 23.- Ensayos geofísicos

Los ensayos geofísicos, conforme a la presente norma, se clasifican en dos categorías principales: ensayos geofísicos sísmicos y ensayos geofísicos eléctricos.

Artículo 24.- Ensayos geofísicos sísmicos

- I. Los ensayos geofísicos sísmicos tienen como objetivo determinar las velocidades de propagación de las ondas elásticas en el terreno. Los resultados de este ensayo permiten la zonificación del terreno; además, proporcionan información sobre los espesores de los estratos del terreno y permiten evaluar sus propiedades elásticas.
- II. La Tabla 7 presenta las características de los ensayos geofísicos sísmicos considerados en la presente norma para la exploración indirecta del terreno.

Tabla 7. Métodos indirectos de exploración de campo: ensayos geofísicos sísmicos

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	FUENTE SÍSMICA	UBICACIÓN DE LOS GEÓFONOS	PARÁMETRO
Downhole	ASTM D7400/ D7400M-19	Activa	Dentro de un sondeo	V_p y V_s
Crosshole	ASTM D4428/ D4428M-14	Activa	Dentro de un sondeo	V_p y V_s
SCPT	ASTM D5778 asociado a ASTM D 7400	Activa	En punta (auscultación)	V_s

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	FUENTE SÍSMICA	UBICACIÓN DE LOS GEÓFONOS	PARÁMETRO
SDMT	ASTM D6635 asociado a ASTM D 7400	Activa	En punta (auscultación)	V_s
Refracción sísmica	ASTM D5777-18	Activa	En superficie	V_p
Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW)	---	Activa	En superficie	V_R
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)	---	Activa	En superficie	V_R
Refracción de Microtremores (ReMi)	---	Pasiva	En superficie	V_R
Análisis de Microtrepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM)	---	Pasiva	En superficie	V_R
Método de Autocorrelación Espacial (SPAC)	---	Pasiva	En superficie	V_R
Razón Espectral H/V	---	Pasiva	En superficie	Espectro H/V

a) Downhole

A través del ensayo Downhole se obtienen la velocidad de onda de compresión (V_p) y la velocidad de onda de corte (V_s). Se mide el tiempo de viaje de las ondas de compresión (P) y ondas de corte (S) generadas entre una fuente en la superficie y los receptores ubicados a distintas profundidades dentro una perforación. A partir de estas mediciones se obtiene una curva domocrónica que asocia la profundidad con el tiempo de llegada de las ondas P y ondas S. La precisión de las mediciones del tiempo de viaje de las ondas disminuye con la profundidad, generalmente se considera que el ensayo es efectivo hasta profundidades de entre 30 a 50 m, dependiendo de las características del sitio y del equipo utilizado.

b) Crosshole

El ensayo Crosshole permite obtener V_p y V_s a través de la medición del tiempo de llegada a lo largo de una trayectoria directa entre dos o más

perforaciones. El ensayo se realiza colocando una fuente de energía emisora en una de las perforaciones y uno o varios geófonos en las perforaciones receptoras. La fuente y los geófonos son colocados a la misma profundidad dentro de las perforaciones. La separación entre la perforación de la fuente y la primera perforación receptora debe ser de 1.5 a 3 m y la distancia entre las perforaciones receptoras subsiguientes debe ser de 3 a 6m. La calidad de la señal puede disminuir con el incremento de la distancia entre perforaciones.

c) SCPT y SDMT

La prueba SCPT y SDMT es una modificación del ensayo CPT y DMT, respectivamente, que permite medir V_p y V_s . La energía sísmica se genera en la superficie cerca del punto de inserción del piezocono o del dilatómetro.

d) Refracción sísmica

El ensayo de refracción sísmica permite obtener el tiempo de propagación de V_p generada por una fuente activa y registrada en uno o varios geófonos alineados en la superficie del terreno. El tiempo de llegada de las ondas refractadas registrado por los geófonos, sirve para obtener las curvas domocrónicas (tiempo-distancia). Cuando una capa de suelo tiene una velocidad sísmica menor que la capa superior, la capa de baja velocidad sísmica no es detectada por el ensayo de refracción sísmica.

e) Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW)

El ensayo SASW, es un método que utiliza la naturaleza dispersiva de las ondas superficiales mediante la medición de las ondas Rayleigh que se propagan entre dos puntos de la superficie del terreno generadas para una fuente de impacto activa. Permite obtener la frecuencia (f) para una longitud de onda (λ), con estas mediciones se determina la velocidad de fase. Una vez obtenidas las velocidades se obtiene la curva de dispersión (variación de la velocidad con la frecuencia) que se puede transformar a variación de velocidades con la profundidad.

f) Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El ensayo MASW utiliza un arreglo de 12 o más geófonos con un sismógrafo multicanal, empleado para evaluar las V_s del terreno mediante el análisis de las propiedades de dispersión de ondas superficiales Rayleigh generadas por fuentes sísmicas activas.

De su ejecución, se obtiene la curva de dispersión (velocidad de fase en función de la frecuencia), permite obtener la distribución de la velocidad de onda de corte V_{s1-D} en el suelo y el macizo rocoso.

g) Refracción de Microtremores (ReMi)

El ensayo ReMi utiliza fuentes sísmicas pasivas, ya sea de fuentes naturales o de la actividad humana a través de las propiedades dispersivas de las ondas Rayleigh. Con el método ambiental, las vibraciones del suelo de baja frecuencia son registradas por un tren de geófonos de componente vertical durante un largo período de tiempo. Las curvas de dispersión (velocidad de fase vs frecuencia) resultantes se invierten para obtener registros de la velocidad de onda de corte V_{s1-D} en el centro del conjunto de receptores sísmicos.

h) Análisis de Microtrepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM)

Este ensayo se utiliza para calcular la velocidad de fase a partir del ruido ambiental o fuentes pasivas, empleando arreglos bidimensionales. La determinación de la curva de dispersión se realiza utilizando métodos de fase de acuerdo a la configuración del arreglo y la cantidad de microtremores. El proceso de inversión de la curva de dispersión permite obtener el perfil de velocidad de onda de corte V_{s1-D} .

i) Método de Autocorrelación Espacial (SPAC)

El método SPAC, registra a través de microtremores mediante un conjunto de estaciones equidistante, cuyo procesamiento consisten en la estimación de los coeficientes de autocorrelación espacial (curva espectral característica), el cálculo de la velocidad de fase y la frecuencia (curva de dispersión) y modelizar la estructura de velocidad de la onda de corte V_s a partir del proceso de inversión.

j) Razón Espectral H/V

El método del cociente espectral H/V es un método pasivo, que capta vibraciones ambientales de baja amplitud. Se registran las señales en estaciones individuales *in situ* utilizando un geófono triaxial, compuesto por dos sensores horizontales (norte-sur y este-oeste) y un sensor vertical (arriba-abajo). Se estima que las vibraciones ambientales contienen predominantemente ondas S, por lo que la relación espectral H/V se aproxima al espectro de la función de transferencia del sitio con respecto al lecho rocoso.

La cantidad de mediciones dependen del área a estudiar, siendo recomendable realizar un mínimo de 3 mediciones por cada medición de V_s realizada, las cuales deben tener una duración mínima de 20 a 30 min.

Artículo 25.- Ensayos geofísicos eléctricos

- I. Los métodos geofísicos eléctricos utilizan corriente continua y se basan en la determinación de la resistividad de los materiales del terreno.

a) Sondeo eléctrico vertical (SEV)

Los métodos eléctricos de corriente continua relacionan la corriente inducida por un dispositivo tetraelectrónico con la diferencia de potencial eléctrico medido y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de 4 electrodos, permitiendo determinar el valor de la resistividad aparente del terreno. Si el espaciamiento de los electrodos se expande alrededor de una ubicación central se genera un sondeo de resistividad-profundidad.

b) Tomografía eléctrica resistiva (TER)

Es un método geoelectrónico multielectrónico que utiliza corriente continua para calcular perfiles de resistividad eléctrica del terreno tanto en profundidad como lateralmente, en configuraciones 2-D o 3-D. Este método emplea arreglos de múltiples electrodos para obtener una imagen de resistividad detallada del subsuelo, facilitando una evaluación comprehensiva de las propiedades eléctricas del terreno.

TÍTULO V

ENSAYOS DE LABORATORIO

CAPÍTULO I - PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Artículo 26.- Consideraciones previas al programa de ensayos de laboratorio

- I. El Responsable del Estudio Geotécnico establecerá el programa de ensayos de laboratorio para la determinación de parámetros geotécnicos, especificando las profundidades de extracción de muestras, así como el método y cantidad de ensayos a realizar. Este programa debe ser ajustado en función de los resultados preliminares de los métodos de exploración de campo, con el objetivo de asegurar la representatividad de los parámetros geotécnicos de los estratos del subsuelo.
- II. La determinación de la cantidad y métodos de ensayo de laboratorio debe tomar en cuenta los requerimientos de seguridad y la complejidad del proyecto, la variabilidad del subsuelo, la relación costo-beneficio de los ensayos y la disponibilidad de los métodos seleccionados.
- III. La selección de especímenes representativos para los ensayos es una de las actividades más importantes de los procedimientos de muestreo y ensayo. En este sentido, el Responsable del Estudio Geotécnico debe inspeccionar visualmente todas las muestras recolectadas a través de las técnicas de extracción. La inspección permitirá elaborar un perfil preliminar del subsuelo y seleccionar las muestras representativas de cada estrato relevante para su posterior análisis en laboratorio. Este procedimiento debe realizarse conforme al procedimiento de la ASTM D 2488-17.
- IV. El Responsable del Estudio Geotécnico es el encargado de evaluar la representatividad de cada muestra de suelo o espécimen destinado a ser ensayado en laboratorio, considerando posibles alteraciones durante su transporte, almacenamiento y/o preparación. Para este propósito, las muestras, al momento de su recolección, deben ser preservadas para evitar alteraciones durante su transporte y manipulación.
- V. Las muestras de suelo se ensayarán tan pronto como sea posible después de su obtención en campo, ya que el manejo inadecuado de las muestras podría llevar a resultados de pruebas imprecisos y, por ende, a resultados de diseño erróneos. La manipulación descuidada de muestras de suelo inalteradas puede causar perturbaciones significativas en su estructura.
- VI. Se debe asignar un código de identificación único y sin ambigüedades a todas las muestras extraídas en campo. Este código puede ser modificado en el laboratorio para uso interno. Es esencial mantener una

correspondencia clara entre la identificación de campo y la de laboratorio para asegurar la trazabilidad completa de las muestras.

Artículo 27.- Control de calidad de instrumentos de medida y equipos

- I. El Responsable del Estudio Geotécnico deberá asegurarse de que todos los instrumentos de medida utilizados en los ensayos de laboratorio cuenten con registros de calibración vigentes, emitidos por un laboratorio metrológico acreditado. Para asegurar la precisión y fiabilidad de las mediciones, la validez de los certificados de calibración debe ser verificada continuamente, teniendo en cuenta la frecuencia de uso, el transporte y la movilización de los equipos e instrumentos de medición.
- II. El Responsable del Estudio Geotécnico verificará que las dimensiones y masas de los equipos de ensayo se ajusten a las tolerancias de trabajo especificadas por los procedimientos de ensayo citados en la presente norma.
- III. El Responsable de los Ensayos debe informar de manera inmediata al Responsable del Estudio Geotécnico sobre cualquier funcionamiento defectuoso o modificaciones que afecten la calibración de los equipos e instrumentos de medición.
- IV. Para ensayos especiales que requieran condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, el Responsable del Estudio Geotécnico debe asegurar que los ambientes de laboratorio cumplan con las especificaciones establecidas en los procedimientos de ensayos de laboratorio citados en esta norma.

CAPÍTULO II

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

Artículo 28.- Ensayos de laboratorio para la caracterización y clasificación de suelos

- I. Para la caracterización del perfil del terreno, las muestras deben ser obtenidas con un espaciamiento vertical máximo de 1.5 m. En cada muestra recolectada, se debe realizar, como mínimo, ensayos de contenido de humedad, granulometría por tamizado y límites de consistencia.
- II. La clasificación geotécnica de las muestras de suelo debe ser realizada según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM D2487-17, conforme a lo especificado en el Artículo 11.
- III. Durante la preparación de muestras para ensayos de caracterización en suelos naturalmente cementados, como los suelos residuales y suelos lateríticos, se debe proceder con especial cuidado. Procedimientos como la desagregación de partículas y la temperatura de secado en horno pueden alterar las propiedades geotécnicas de estos suelos. Estas alteraciones pueden afectar los resultados de los ensayos de laboratorio y la interpretación del comportamiento del suelo ensayado.
- IV. Dadas las características físicas, químicas y mineralógicas particulares de los suelos residuales y suelos lateríticos, el Responsable del Estudio Geotécnico podrá verificar los valores de límite líquido de estos suelos utilizando el método del penetrómetro de cono, conforme a lo especificado en la norma BS-1377 (UNE).
- V. Para los ensayos de conductividad hidráulica en arcillas y limos, se deben utilizar muestras recolectadas con muestreadores de categoría A. En el caso de materiales granulares como arena y grava se utilizarán muestras reconstituidas, dada la dificultad de mantener su estructura natural durante la extracción y transporte.
- VI. Para determinar la conductividad hidráulica de los suelos se utilizan dos métodos estándar: el de carga constante y el de carga variable. El método de carga constante está especificado en la norma ASTM D2434-22, aplicable a suelos granulares, mientras que el método de carga variable se rige por la norma ASTM D5084-16, aplicable a todos los tipos de suelos. Ambos procedimientos determinan la conductividad hidráulica del suelo bajo condiciones específicas. El Responsable del Estudio Geotécnico debe evaluar cuidadosamente estas condiciones para asegurar que son representativas de las características del subsuelo e interpretar correctamente los resultados.

VII. La Tabla 8 detalla los ensayos que deber ser considerados para la caracterización y clasificación de suelos.

Tabla 8.-Ensayos para la caracterización y clasificación de suelos

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Descripción e identificación de suelos, procedimiento visual-manual.	ASTM D 2488-17
Contenido de agua	ASTM D 2216-19
Gravedad específica de los sólidos del suelo	ASTM D 854-23
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	ASTM D 6913M-17
Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	ASTM D4318-17
Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación (hidrometría)	ASTM D7928-21
Peso unitario y densidad de suelos	ASTM D7263-21
Determinación de la succión del suelo utilizando papel filtro	ASTM D5298-16
Densidad relativa de suelos	ASTM D4254-16
Conductividad hidráulica de suelos granulares - carga constante	ASTM D2434-22
Conductividad hidráulica de materiales porosos saturados utilizando un permeámetro de pared flexible	ASTM D5084-16
Límite líquido mediante el penetrómetro de cono	BS-1377 (UNE)

Artículo 29.- Ensayos químicos y mineralógicos

- I. En caso de que los resultados de los ensayos de caracterización presenten valores fuera de los rangos reportados comúnmente en la experiencia local o internacional, o que la complejidad del proyecto requiera un análisis más detallado de las muestras, el Responsable del Estudio Geotécnico deberá considerar la realización de ensayos adicionales para una correcta interpretación de los resultados. Estos ensayos incluyen análisis de mineralogía, composición química, o determinación del contenido de materia orgánica.
- II. El agua subterránea, el suelo y las rocas pueden contener constituyentes agresivos al hormigón y al acero, tales como sulfatos, cloruros, medios ácidos y contaminantes industriales. En casos específicos, el Responsable del Estudio Geotécnico debe incluir en la investigación geotécnica la determinación de parámetros geoquímicos de la composición de suelo y agua. Con base en esta información, el estudio geotécnico debe proporcionar datos para seleccionar de manera adecuada los materiales y estructuras que estarán en contacto con el suelo. Esto contribuirá a la

toma de decisiones informadas para el diseño y la construcción, mitigando posibles daños estructurales y garantizando la durabilidad de las obras.

- III. La Tabla 9 presenta la lista de ensayos químicos y mineralógicos considerados en la presente norma.

Tabla 9.-Ensayos químicos y mineralógicos

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Ensayo para determinar la salinidad y sulfatos	ASTM D4542-22
Método de ensayo estándar para el análisis composicional por termogravimetría	ASTM E1131-20
pH de suelos	ASTM D4972-19
Ensayo de difracción de rayos X	—
Guía estándar para el análisis cuantitativo mediante espectroscopía de energía dispersiva	ASTM E D1508
Método de ensayo estándar para iones de sulfato en agua	ASTM D516-16
Métodos de ensayo estándar para iones de cloruro en agua	ASTM D512-23
Determinación del contenido de material orgánico de turbas y otros suelos orgánicos.	ASTM D2974-20

CAPÍTULO III - RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

Artículo 30.- Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante

- I. Los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante realizados en laboratorio se dividen en dos categorías: los ensayos no drenados, que generan un incremento de la presión de poros durante el ensayo, y los ensayos drenados, en los que el incremento de la presión de poros es nulo durante la aplicación de la carga.
- II. Con propósitos de estudios geotécnicos para diseño de cimentaciones la condición crítica es:
 - a. El estado drenado para suelos drenantes.
 - b. El estado no drenado para suelos no drenantes normalmente consolidados.
 - c. El estado drenado para suelos no drenantes sobreconsolidados.
- III. La elección del método de ensayo adecuado para determinar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo depende de las características de la edificación, el método de diseño de la cimentación, la magnitud de las cargas aplicadas y las características del suelo en el sitio. El Responsable del Estudio Geotécnico debe definir los métodos de ensayo de laboratorio y las condiciones específicas para su realización.
- IV. Para cada grupo de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante realizados en un estrato representativo, se deben realizar los ensayos de límite de consistencia y granulometría.
- V. La Tabla 10 presenta la lista de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante.

Tabla 10.- Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado en suelos cohesivos, TXUU	ASTM D2850-23
Ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado para suelos cohesivos, TXCU	ASTM D4767-11
Ensayo de compresión triaxial consolidado drenado, TXCD	ASTM D7181-20
Ensayo de corte directo en condiciones consolidadas drenadas	ASTM D3080M-23
Resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos	ASTM D2166M-16

Artículo 31.- Ensayos triaxiales

- I. Varios factores pueden afectar significativamente los resultados de ensayos triaxiales y su interpretación, estos son la alteración de la muestra, el modo de aplicación de la fuerza para que se produzca la falla por corte, la presión de confinamiento, el tamaño del espécimen, la fracción granulométrica utilizada en el ensayo, la saturación, el desplazamiento al momento de la falla y la velocidad de deformación.
- II. Los ensayos triaxiales son métodos precisos para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, y también la rigidez (módulos) en un rango de deformaciones de intermedias a grandes.
- III. El Responsable del Estudio Geotécnico debe establecer el rango de esfuerzos normales a aplicarse durante los ensayos triaxiales, esto con el propósito de determinar los parámetros de resistencia al corte que se ajusten a las características específicas de carga del proyecto de ingeniería.
- IV. Los ensayos triaxiales se deben ejecutar en muestras inalteradas recolectadas con muestreadores de categoría A. Cuando no es posible obtener este tipo de muestras, como en el caso de suelos arenosos y gravosos, se deben utilizar muestras reconstituidas. En este último caso, el Responsable del Estudio Geotécnico debe especificar las condiciones de ensayo, incluyendo el contenido de humedad y la densidad, así como también el método de preparación de la muestra. Estas especificaciones deben basarse en los requisitos de diseño o en las características geotécnicas in situ de los suelos.
- V. El reporte de los ensayos debe incluir detalles sobre la preparación de las muestras, las condiciones de ensayo y las mediciones realizadas. Esto debe abarcar tablas detalladas con todos los datos medidos durante el ensayo, gráficos de las curvas de esfuerzo-deformación, cambio volumétrico-deformación y la evolución de la presión de poros, si se mide. También deben incluirse fotografías de los especímenes después del ensayo.

a) Ensayo triaxial no consolidado no drenado, TXUU

- I. Antes de realizar el ensayo TXUU, es necesario verificar que las muestras estén completamente saturadas para evaluar la condición crítica. La saturación se puede verificar midiendo la presión de poros, lo cual permitirá identificar si es necesario aplicar métodos adicionales de saturación para el espécimen. El Responsable del Estudio Geotécnico debe tener

en cuenta que una saturación parcial de los especímenes puede afectar significativamente tanto los resultados del ensayo como su interpretación.

- II. Los resultados obtenidos del ensayo TXUU proporcionan curvas de esfuerzo-deformación que son útiles para determinar la resistencia al esfuerzo cortante no drenado, s_u . Además, estos resultados permiten analizar el comportamiento de deformación del suelo a través del módulo de elasticidad en condiciones no drenadas, E_u .
- III. La resistencia obtenida a través del ensayo TXUU es aplicable a situaciones donde se asume que las cargas se aplican de manera tan rápida que no existe tiempo suficiente para la disipación del incremento de la presión de poros generado.
- IV. El Responsable de Laboratorio debe definir el número de especímenes necesarios para realizar el ensayo. Se recomienda un mínimo de tres especímenes para asegurar una medida representativa de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado, s_u .
- V. Para la correcta interpretación de los resultados, el reporte del ensayo debe incluir los resultados del análisis granulométrico, los límites de consistencia y la gravedad específica.

b) Ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado para suelos cohesivos, TXCU

- I. El ensayo TXCU permite determinar los parámetros de resistencia al corte cohesión y ángulo de fricción interna, y el módulo de elasticidad. Utilizando la presión de poros medida durante el ensayo, la resistencia al corte obtenida por este método puede expresarse en términos de esfuerzos totales y efectivos.
- II. La envolvente de falla de Mohr debe ser determinada utilizando un mínimo de tres especímenes sometidos a diferentes esfuerzos de confinamiento efectivos.

c) Ensayo de compresión triaxial consolidado drenado, TXCD

- I. El ensayo TXCD permite determinar los parámetros de resistencia al corte efectivos (ϕ' y c') y el módulo de elasticidad, E' .
- II. Durante el procedimiento del ensayo TXCD, se permite que el espécimen se consolide bajo la presión de confinamiento antes de la aplicación de la carga axial. La carga axial, que genera los esfuerzos cortantes en el

espécimen, se aplica a una velocidad lo suficientemente lenta como para permitir el drenaje del agua en los poros, evitando así el incremento de la presión de poros..

Artículo 32.- Ensayo de corte directo en condiciones consolidadas drenadas

- I. El ensayo de corte directo proporciona datos para determinar los parámetros de resistencia al corte efectivos (ϕ' y c') bajo condiciones drenadas en un plano de falla predefinido.
- II. No se permite calcular módulos de deformación a partir de las relaciones esfuerzo-deformación obtenidas del ensayo de corte directo, ya que durante el proceso de ensayo los esfuerzos cortantes y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente en la muestra.
- III. Este método de ensayo se aplica únicamente a especímenes de suelo saturados. El Responsable del Estudio Geotécnico debe tener esto en cuenta para la interpretación correcta de los resultados.
- IV. El ensayo de corte directo se distingue del ensayo triaxial en que la falla por corte se preestablece en un plano horizontal, lo que se considera una desventaja. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en la preparación de la muestra para asegurarse de que su orientación sea representativa de las condiciones *in situ*.

Artículo 33.- Ensayo de compresión no confinada, CNC

- I. El valor de la resistencia al corte no drenado (s_u) obtenido a partir de un ensayo de compresión no confinada, CNC, es conservador. La carga axial máxima de compresión, medida en el momento de la falla, representa la resistencia a la compresión del suelo bajo condiciones específicas de carga, drenaje y en ausencia de confinamiento, denomina resistencia a la compresión no confinada (q_u).
- II. No se debe realizar el ensayo de CNC en suelos granulares, suelos secos o friables, suelos no saturados, limos, o materiales fisurados o estratificados. Además, se debe considerar que la confiabilidad de los resultados del ensayo disminuye con el incremento de la profundidad de recolección de la muestra, ya que la muestra tiende a expandirse tras ser extraída debido a la liberación de los esfuerzos de confinamiento *in situ*.
- III. No se deben utilizar los resultados del ensayo de compresión no confinada (curvas esfuerzo-deformación) para determinar los módulos.

CAPÍTULO IV - CONSOLIDACIÓN

Artículo 34.- Ensayos de consolidación edométrica

- I. A partir del ensayo de consolidación edométrica unidimensional en suelos saturados de grano fino, es posible evaluar las características de consolidación del suelo y definir las relaciones asentamiento-tiempo bajo las cargas propuestas para la cimentación. Permite determinar el índice de compresión (C_c), el índice de expansión (C_s) y el índice de compresión secundaria (C_α), el módulo de deformación (E_{ed}), la presión de preconsolidación (σ'_p), el coeficiente de consolidación (c_v) y un valor aproximado de la conductividad hidráulica (k).
- II. En cada estrato en el que se prevé comportamiento no drenado, según la Tabla 4, se debe extraer como mínimo una muestra inalterada para realizar un ensayo de consolidación edométrica. El Responsable del Estudio Geotécnico puede solicitar un número mayor de ensayos, dependiendo de la variabilidad del terreno y de las características y complejidad de la estructura proyectada.
- III. Para el método de carga incremental establecido en la ASTM D2435M-11, tanto el tiempo de aplicación de la carga entre incrementos como la selección de la secuencia de carga deben ser determinados por el Responsable del Estudio Geotécnico en coordinación con el Responsable de Laboratorio.
- IV. Para establecer la secuencia de carga y descarga en el ensayo de consolidación, se debe considerar el tipo de suelo que se está ensayando y las características particulares del proyecto; asegurando que el rango de esfuerzos aplicados durante el ensayo exceda ampliamente los esfuerzos efectivos que se considera se aplicarán en el proyecto.
- V. En proyectos de mayor complejidad, donde es necesario analizar en detalle las condiciones complejas de carga y descarga, se recomienda realizar ensayos más avanzados, como el ensayo de deformación controlada ASTM D4186-20. Este método mantiene constante la velocidad de deformación del suelo durante todo el ensayo, lo que permite un control más riguroso sobre la deformación del suelo y una observación más detallada de su respuesta a la carga aplicada.
- VI. El reporte de los ensayos debe incluir detalles sobre la preparación de las muestras, las condiciones de ensayo y las mediciones realizadas. Este reporte debe contener, como mínimo, tablas detalladas con todos los datos medidos en todas las etapas del ensayo, curvas de consolidación tiempo-deformación para cada etapa, gráficos de compresibilidad y gráficos de presión de preconsolidación.

VII. La Tabla 11 presenta la lista de ensayos de consolidación unidimensional.

Tabla 11.- Métodos de Ensayos de consolidación unidimensional

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental	ASTM D2435M-11
Consolidación unidimensional de suelos cohesivos utilizando cargas con deformación controlada	ASTM D4186-20

CAPÍTULO V - SUELOS ESPECIALES

Artículo 35.- Ensayos de laboratorio para suelos especiales

- I. En el contexto de la presente norma de estudios geotécnicos, los suelos denominados especiales son aquellos que presentan características particulares en su comportamiento. Se clasifican de acuerdo con su origen y comportamiento. Estas características pueden hacer que los suelos se comporten de manera no convencional bajo cargas o condiciones ambientales específicas.
- II. El Responsable del Estudio Geotécnico definirá los ensayos necesarios para su identificación de acuerdo con lo estipulado en este capítulo.
- III. La representatividad de los resultados de ensayos en suelos especiales está condicionada a la conservación de la estructura original del suelo, tal como se encuentra in situ, hasta que se realice el ensayo. Por lo tanto, se deben utilizar muestras inalteradas.
- IV. Para la interpretación de los resultados de ensayos de laboratorio en suelos especiales estos deben ser acompañados de ensayos de caracterización, como contenido de agua natural, límites de consistencia, gravedad específica y granulometría.
- V. La Tabla 12 enlista los ensayos de laboratorio para suelos especiales.

Tabla 12.- Ensayos de laboratorio para Suelos Especiales

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	CARACTERÍSTICA
Método de prueba estándar para medir el potencial de colapso de los suelos	ASTM D5333-03	Colapso
Expansión o colapso Unidimensional de Suelo	ASTM D4546-21	Expansión y colapso
Dispersividad de suelos arcillosos utilizando el ensayo de Crumb	ASTM D 6572-21	Dispersividad
Dispersividad de suelos arcillosos por el método de doble hidrómetro	ASTM D 4221-18	Dispersividad
Dispersividad de suelos arcillosos utilizando el ensayo Pinhole	ASTM D4647-13	Dispersividad
Ensayos químicos en sales totales disueltas en el agua de poros.	–	Dispersividad

a) Ensayo de colapso en edómetro

- I. Las obras de ingeniería construidas sobre suelos colapsables pueden sufrir daños debido a asentamientos súbitos y significativos. En estos casos, el estudio geotécnico debe considerar la evaluación del potencial de colapso con fines de diseño y consideraciones constructivas de las edificaciones.
- II. El método ASTM D5333-03 se utiliza para medir la magnitud del colapso unidimensional en suelos que pueden presentar una reducción significativa en volumen al incrementar el contenido de agua. Esta reducción de volumen puede ocurrir con o sin la aplicación de una carga adicional.
- III. Los suelos con mayor susceptibilidad a presentar un colapso son aquellos predominantemente compuestos por limos y con muy bajo contenido de arcilla. Estos suelos tienden a tener estructuras débiles, bajo peso unitario seco y bajo contenido de agua natural.
- IV. Para determinar el potencial de colapso (I_c) se debe priorizar el uso de especímenes inalterados. Los suelos colapsables son sensibles a los métodos de muestreo que emplean fluidos, por lo que es necesario recolectar las muestras utilizando métodos secos. Además, en el caso de muestras reconstituidas, se debe tener en cuenta que la compactación puede alterar la estructura original del suelo *in situ*.

b) Ensayos de expansión en edómetro

- I. Los suelos expansivos, típicamente arcillosos, experimentan grandes cambios de volumen en respuesta directa a los cambios en la humedad del suelo. A diferencia de los suelos colapsables, estos suelos tienden a hincharse cuando aumenta el contenido de agua y a contraerse cuando disminuye.
- II. El cambio de volumen debido a la expansión de los suelos de cimentación puede provocar daños importantes y costosos a las estructuras construidas sobre ellos. Por lo tanto, se debe evaluar en laboratorio el potencial de expansión y la presión de hinchamiento de los suelos que, in situ, presentan un bajo grado de saturación y se clasifican como arcillosos. Para esta clasificación, el Responsable del estudio geotécnico puede basarse en criterios como el porcentaje de arcilla determinado mediante análisis de granulometría por sedimentación (hidrometría), la identificación de minerales expansivos a través de ensayos de difracción de rayos X y/o el rango de valores del límite líquido e índice de plasticidad.
- III. Al seleccionar el método de ensayo de laboratorio, el responsable del estudio geotécnico debe asegurarse de que las condiciones utilizadas para determinar la expansión reflejen adecuadamente las características específicas de la edificación proyectada. Esto incluye considerar el tipo de cimentación, las cargas aplicadas y las características del suelo en el sitio.
- IV. De acuerdo con la norma ASTM D 4546-21, el potencial de hinchamiento unidimensional puede determinarse en un edómetro utilizando muestras inalteradas o reconstituidas. En este ensayo, se evalúa el potencial de hinchamiento observando y midiendo el aumento de volumen de un espécimen confinado lateralmente al aplicarle una pequeña sobrecarga e inundarlo con agua. Alternativamente, para medir la presión de hinchamiento, se mantiene constante la altura del espécimen añadiendo carga después de la inundación. La presión de hinchamiento se define entonces como la presión vertical necesaria para mantener un cambio de volumen nulo.

c) Ensayos para suelos dispersivos

- I. Un suelo dispersivo es un tipo específico de suelo arcilloso que se dispersa fácilmente en presencia de agua, formando suspensiones coloidales y haciéndolos altamente susceptibles a la erosión. En los estudios geotécnicos para edificaciones, se debe identificar este tipo de suelo ante cualquier sospecha, debido a sus características desfavorables que pueden comprometer la estabilidad y seguridad de las estructuras construidas sobre él o en su proximidad.

- II. Se deben realizar pruebas específicas para identificar la presencia y características de los suelos dispersivos, como pruebas de dispersión, sedimentación y erosión, además de ensayos químicos. La identificación del grado de dispersividad de un suelo no puede determinarse a partir de los resultados de un único ensayo; por lo tanto, es necesario realizar al menos dos ensayos, como los descritos en la Tabla 11, para clasificar correctamente un suelo como dispersivo.

- III. Se deben realizar pruebas específicas para identificar la presencia y características de los suelos dispersivos, incluyendo pruebas de dispersión, sedimentación, erosión, y ensayos químicos. La identificación del grado de dispersividad de un suelo no puede determinarse a partir de los resultados de un único ensayo. Por lo tanto, es necesario realizar al menos dos ensayos, como los descritos en la Tabla 11, para clasificar correctamente un suelo como dispersivo.

- IV. Para la correcta interpretación de los resultados, los ensayos para suelos dispersivos deben estar acompañados de ensayos de hidrometría y límites de consistencia.

- V. El método de ensayo ASTM D4647-13 no es aplicable a suelos con menos del 12% de la fracción más fina que 0.005 mm y con un índice de plasticidad menor o igual a 4. Suelos con estas características generalmente presentan baja resistencia a la erosión, independientemente de sus propiedades dispersivas.

TITULO VI

MÉTODOS DE EXPLORACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO EN ROCAS

CAPITULO 1- MÉTODOS DE EXPLORACIÓN EN ROCAS

Artículo 36.- Métodos de exploración

- I. El Responsable del Estudio Geotécnico establecerá el programa de exploración del macizo rocoso de acuerdo a la escala del proyecto.
- II. Los métodos de exploración incluyen:

a) Exploración geológica

Consiste en la realización de un mapeo geológico de superficie a detalle con base en información topográfica local, en la cual se debe identificar las diferentes litologías presentes (incluyendo efectos de alteración y/o meteorización), indicando mínimamente su distribución, espesores, presencia de estructuras sedimentarias, presencia de estructuras geológicas, descripción de los sistemas de discontinuidades, características geomecánicas, ubicación de las investigaciones y ensayos de campo, según recomendaciones de la Sociedad Internacional de Mecánica e Ingeniería de Rocas (ISRM).

Aparte del Mapa Geológico a escala adecuada, deben presentarse por lo menos dos perfiles geológicos cuya orientación permita mostrar de la mejor y más completa manera las características geológicas del lugar.

b) Exploración geofísica

La exploración geofísica será realizada en base a lo indicado en los artículos 22 y 25 de la presente norma.

c) Exploración geotécnica

La exploración del macizo rocoso consiste en la medición de las propiedades en su estado y condiciones naturales y a escalas representativas, además de permitir simular sobre el terreno situaciones a las que se puede ver sometido el macizo al construir una obra o estructura.

Artículo 37.- Ensayos en laboratorio

- I. El Responsable del Estudio Geotécnico establecerá el programa de ensayos de laboratorio, el tipo y cantidad de ensayos necesarios para realizar la

caracterización la matriz rocosa y las discontinuidades. Las muestras para ensayar en laboratorio serán obtenidas de las estaciones geomecánicas en superficie y de los testigos o núcleos obtenidos en sondajes exploratorios.

- II. En las Tablas 13 y 14 se detallan los ensayos que deben ser considerados para la caracterización y determinación de las propiedades mecánicas de la matriz rocosa en laboratorio.

Tabla 13.- Ensayos de caracterización en la matriz rocosa

ENSAYO	DESCRIPCIÓN	NORMA DE REFERENCIA
Composición mineralógica Fábrica y textura Tamaño de grano Color	Descripción visual, microscópica óptica y electrónica, difracción de rayos X.	ISRM Petrographic description, 1978 (Blue Book).
Porosidad	Determinación en laboratorio	ISRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability, 1978 (Blue Book).
Peso específico		
Contenido de humedad		
Permeabilidad (coeficiente de permeabilidad)	Ensayo de permeabilidad	ASTM D5084-03
Durabilidad Alterabilidad	Ensayo de alterabilidad o desmoronamiento	ASTM D4644-16

Tabla 14.- Ensayos de resistencia de la matriz rocosa

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Ensayo para la determinación del índice de resistencia de carga puntual de rocas	ASTM D 5731-16 ISRM Point Load Strength, 1985 (Blue Book)
Ensayo de Resistencia a la compresión no confinada de roca intacta	ASTM D 2938-95 ISRM Uniaxial COmpressive Stregth and Deformability, 1979 (Blue Book)
Ensayo de resistencia por medio del Martillo de Schmidt	ASTM D 5873-00 ISRM Suggested Improvement on Schmidt Rebound Hardness, 1993 (Blue Book)
Ensayo de tracción directa o indirecta (Ensayo brasilero)	ASTM D 2936-20 ASTM D 3967-16 ISRM Tensile Strength, 1978 (Blue Book)
Medición de propagación de ondas y estimación de parámetros elásticos en laboratorio	ASTM D 2845-08 ISRM Sound Velocity, 1978 (Blue Book)

Ensayo de Resistencia a la compresión triaxial	ASTM D 2664-95 ISRM Triaxial Compressive Strength, 1978 (Blue Book)
Determinación del módulo de elasticidad de roca intacta en compresión uniaxial	ASTM D 3148-02 ISRM Uniaxial Compressive Strength and Deformability, 1979 (Blue Book)
Determinación del módulo de elasticidad de roca intacta en compresión triaxial	ASTM D 5407.95 ISRM Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression; Revised Version, 1979 (Blue Book)
Desleimiento	ISRM Suggested Methods for determining Swelling and slake-durability Index properties, 1979 (Blue Book)

- III. La determinación de las propiedades de resistencia de discontinuidades en laboratorio se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.- Ensayos de laboratorio para discontinuidades

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Determinación de la resistencia al corte	ASTM D 5607-15 ISRM Shear Strength, 1974 (Blue Book) ISRM Quantitative description of discontinuities, 1978 (Blue Book)

Artículo 38.- Ensayos de campo para macizos rocosos

Las actividades para la caracterización y determinación de las propiedades mecánicas de un macizo rocoso están descritas en la Tabla 16, estas deben ser realizadas en varias Estaciones Geotécnicas (EG).

Tabla 16.- Trabajos de campo para macizos rocosos

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
Trabajos en matriz rocosa	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo de roca para determinación de propiedades en laboratorio. • Esclerómetro o martillo de Schmidt. • Ensayo de carga puntual. 	ISRM Suggested Methods for Sampling, Storage and Preparation of Test Specimens, 1979 (Blue Book). ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Rebound Hardness, 1979 (Blue Book). ISRM Suggested Methods for Determining Point Load Strength, 1979 (Blue Book).

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
Toma de datos en discontinuidades	-Medida de la orientación -Tilt test o ensayo de inclinación. -Medición de la rugosidad mediante perfilómetros. -Medición del espaciamiento, persistencia y abertura. -Estimación de RQD volumétrico en estación geomecánica o en sondajes.	ISRM Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, 1979 (Blue Book). ASTM D 6032-02 Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.
Ensayos en los macizos rocosos	-Ensayo dilatométrico. -Ensayo Lugeon para determinar el coeficiente de permeabilidad.	ISRM Suggested Methods for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer, 1979 (Blue Book). ISRM Suggested Methods for Deformability Determination Using a Stiff Dilatometer, 1979 (Blue Book). ASTM D 8359-21 Standard Test Method for Determining the In Situ Rock Deformation Modulus and other Associated Rock Properties Using a Flexible Volumetric Dilatometer.

Artículo 39.- Sistemas de Clasificaciones Geomecánicas

- I. Las clasificaciones geomecánicas permiten evaluar los parámetros geomecánicos considerados en el modelo de comportamiento adecuado del macizo rocoso, y son obtenidos mediante observación y registro directo en campo de características geométricas, como ser número de sistemas de discontinuidades, espaciamiento entre planos de un mismo sistema, persistencia de los planos, apertura, condiciones de rugosidad y meteorización de las paredes de las discontinuidades, eventual relleno entre las paredes de material granular y la presencia de aguas subterráneas. La valoración conjunta de las mencionadas características geométricas permite determinar índices de calidad del macizo rocoso. La clasificación de macizos rocosos deberá realizarse aplicándose uno de los tres sistemas presentados en la Tabla 17.

Tabla 17.- Clasificaciones geomecánicas

SISTEMA		CARACTERÍSTICAS
Índice del macizo rocoso (Bieniawski)	RMR	Sistema basado en la adición de valoraciones de cinco criterios: Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, la designación de la calidad de la roca (RQD) de Deere, espaciamiento entre los planos de un sistema de discontinuidades, condiciones de las paredes de los planos y presencia de agua subterránea, obteniéndose un RMR que estará entre 0 y 100.
Índice de resistencia geológico (Hoek)	GSI	Evaluación de GSI considerando la composición y estructura del macizo rocoso y las condiciones de las paredes de las discontinuidades y tipo de relleno entre las paredes de las discontinuidades.
Índice de calidad de la roca (Barton)	Q	Sistema basado en la introducción de coeficientes de corrección al RQD de Deere. Estos coeficientes se refieren al factor de sistemas de discontinuidades, factor por rugosidad, factor por alteración, factor por la presencia de agua y factor de reducción de esfuerzos.

- II. II. Las planillas de cálculo, así como todos los documentos de respaldo y anexos serán parte del informe geotécnico.

ANEXOS

ANEXO A - Contenido mínimo del estudio geotécnico de diseño

1. Contenido del informe

El propósito del informe del estudio geotécnico de diseño es documentar la investigación realizada y presentar los datos obtenidos. Este Anexo establece los requisitos mínimos que deben cumplir los informes de estudios geotécnicos de diseño para alcanzar el objetivo de la NBEG. Proporciona una guía sobre los contenidos esenciales que deben incluirse en el informe. A continuación, se describen los tres componentes principales del informe del estudio geotécnico de diseño:

a) Información general del proyecto y de la zona de estudio

Esta sección debe incluir una introducción, los antecedentes de la zona de estudio y toda información preliminar disponible antes del inicio del estudio geotécnico de diseño. Se puede agregar información de estudios geotécnicos previos realizados en la misma zona de estudio, si estuviera disponible. Además, debe incluirse información detallada sobre la estructura proyectada, área de estudio, cargas esperadas, dimensiones preliminares, asentamientos admisibles y requisitos específicos a considerar durante la planificación y ejecución de la campaña geotécnica. También se debe proporcionar una descripción general de las condiciones del sitio, tales como la topografía, el drenaje, la cobertura superficial del terreno y la accesibilidad.

b) Descripción y alcance del estudio geotécnico de diseño

La segunda parte del informe debe detallar el alcance del estudio geotécnico.

Esta sección debe incluir la descripción de los métodos de exploración utilizados, junto con el número, la ubicación, la profundidad, y las fechas de su realización. De la misma forma, debe incluir la frecuencia de extracción y estado de las muestras; número de ensayos de laboratorio realizados, y las normas técnicas de referencia utilizadas en cada ensayo. Además, se debe señalar cualquier variación con respecto a los procedimientos estándar establecidos en la presente norma. Es recomendable incluir, si corresponde, los datos de la calibración de los equipos e instrumentos utilizados en los ensayos realizados.

c) Presentación y análisis de resultados:

Esta sección del informe debe presentar y analizar los resultados obtenidos tanto de la exploración de campo como del programa de ensayos de laboratorio. Se deben incluir tablas resumen, gráficos y perfiles geotécnicos que integren y analicen los resultados de los diferentes ensayos realizados.

d) Conclusiones y recomendaciones

En esta sección el Responsable del Estudio Geotécnico debe proporcionar un resumen de los principales resultados obtenidos durante la investigación de campo y los ensayos de laboratorio. Esto debe incluir las características físicas, químicas (si corresponde) y geomecánicas del terreno, así como también la estratigrafía y la presencia y ubicación del nivel freático.

También se debe indicar la presencia de zonas críticas o materiales que representen riesgos para la construcción, por ejemplo, estratos inestables o suelos problemáticos. Se deben incluir recomendaciones para futuras investigaciones en caso de incertidumbre, sugiriendo puntos de exploración adicionales, estudios geofísicos o ensayos de laboratorio complementarios.

Índice del contenido tentativo del informe geotécnico:

1. Introducción
 - 1.1. Objetivo del estudio geotécnico
 - 1.2. Alcance del estudio geotécnico
2. Descripción del Proyecto
 - 2.1. Localización del proyecto
 - 2.2. Descripción de la estructura proyectada
 - 2.3. Información preliminar disponible
 - 2.4. Requisitos específicos del proyecto
3. Antecedentes del Sitio (si corresponde)
 - 3.1. Estudios geotécnicos previos
 - 3.2. Información hidrológica e hidrogeológica del sitio
4. Metodología del estudio geotécnico
 - 4.1. Campaña de exploración de campo
 - 4.1.1. Descripción de los métodos de exploración
 - 4.1.2. Ensayos *in situ* (SPT, CPT, etc.)
 - 4.1.3. Determinación de la posición del nivel freático
 - 4.2. Programa de ensayos de laboratorio
 - 4.2.1. Ensayos de caracterización y clasificación del suelo
 - 4.2.2. Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante
 - 4.2.3. Ensayos de deformación o rigidez
 - 4.2.4. Otros ensayos
5. Resultados del estudio
 - 5.1. Resultados de los ensayos de campo
 - 5.2. Resultados de los ensayos de laboratorio
 - 5.3. Perfiles geotécnicos del subsuelo
6. Conclusiones
7. Recomendaciones
8. Referencias
 - 8.1. Normas técnicas y bibliografía utilizada
9. Anexos

2. Contenido de los anexos del informe geotécnico

En los anexos del informe del estudio geotécnico de diseño se deben incluir los datos y resultados obtenidos durante la investigación de campo y de laboratorio. Además, se deben incorporar gráficos de los datos obtenidos de cada método de exploración *in situ*, tablas resumen y planillas de datos individuales para todas las pruebas de laboratorio realizadas. También es esencial incluir fotografías de las muestras de suelo o roca, así como imágenes documentando la campaña de campo y la ubicación de los puntos exploración. Los perfiles geotécnicos elaborados a partir de los datos de campo y laboratorio también deben estar presentes en esta sección. Los anexos podrán incluir la recopilación de la información existente, como registros de perforación o datos de ensayos de laboratorio de estudios previos realizados en el sitio del proyecto. Finalmente, se

podrá incluir las certificaciones de calibración de los equipos e instrumentos utilizados.

A continuación, se presenta un ejemplo del contenido de los anexos de un informe de estudio geotécnico de diseño.

Anexo A - Plano de ubicación de los puntos de exploración y perfiles geotécnicos

Anexo B - Registro fotográfico

Anexo C – Métodos de exploración directa de campo

Anexo D - Métodos de exploración indirecta de campo

Anexo E - Resultados de ensayos de laboratorio

Anexo F – Recopilación de la información existente

2.1 Formato para planillas de reporte de ensayos de campo y de laboratorio

Para las planillas de reporte de ensayos de campo y de laboratorio la información mínima a reportar es:

Datos Generales del Proyecto:

- **Proyecto:** Se debe especificar el nombre completo del proyecto para el cual se está realizando el estudio geotécnico.
- **Solicitante:** Nombre de la empresa o entidad solicitante del estudio.
- **Procedencia:** Ubicación exacta del sitio de donde se obtuvo la muestra. Debe incluir direcciones o coordenadas precisas.
- **Procesado por:** Nombre del responsable de procesar el ensayo.
- **Fecha:** La fecha en la que se realiza el registro de la muestra o ensayo.
- **Operador:** Nombre del operador o técnico que realizó el ensayo.
- **Registro de Laboratorio:** Código único asignado al proyecto.

Datos de la Muestra:

- **ID de Laboratorio:** Identificación única de la muestra asignada en el laboratorio.
- **ID del Solicitante:** Número de identificación de la muestra asignado por el solicitante. Este campo puede quedar en blanco o con un guion si no se proporciona.
- **Estado de la muestra:** Estado de la muestra recolectada, especificando si es *muestra no disturbada* o *muestra disturbada*.
- **Profundidad:** Rango de profundidad a la que se tomó la muestra, en metros.

2.2 Planos de ubicación de puntos de exploración

Se debe proporcionar un plano de ubicación del sitio, a escala regional o local, para referenciar las pruebas de campo y sitios de muestreo. Este plano puede utilizar mapas de calles o mapas topográficos, preferiblemente con contornos de elevación claros y un punto de referencia establecido, indicando la dirección norte. Se debe georeferenciar la ubicación de los puntos de exploración en relación con las infraestructuras subterráneas y superficiales, como carreteras, alcantarillas y edificios. Si se utilizan diversos métodos de exploración, el plano de ubicación debe incluir una leyenda clara que distinga entre los diferentes tipos de sondeos. Asimismo, debe presentarse una escala horizontal que facilite la interpretación de los datos.

2.3 Perfiles geotécnicos

Los informes geotécnicos deben incluir perfiles geotécnicos basados en los resultados de ensayos de campo y de laboratorio. Estos perfiles deben presentar la información relevante del terreno mostrando la relación entre los puntos de exploración. Cuando entre puntos de exploración del terreno exista una variabilidad estratigráfica alta, y en consecuencia, la continuidad del perfil pueda ser cuestionable, es obligación del Responsable del Estudio Geotécnico incluir advertencias claras sobre las limitaciones del perfil geotécnico reportado.



CNBEG

Comité Técnico **Norma Boliviana**
de **Estudios Geotécnicos**



BICENTENARIO DE
BOLIVIA

2025 Bicentenario de Bolivia.



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE OBRAS
PÚBLICAS, SERVICIOS Y VIVIENDA