



**CNBES**

Comité Técnico Norma Boliviana  
de Estudios Geotécnicos

# NORMA BOLIVIANA DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE OBRAS  
PÚBLICAS, SERVICIOS Y VIVIENDA





**CNBES**

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



# ESTADO PLURINACIONAL DE **BOLIVIA**

## Norma Boliviana de **Estudios Geotécnicos**



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

## Créditos

### Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda – MOPSV

Ministro: Ing. Edgar Montaña Rojas.

### Viceministro 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 Gestión de Proyectos – UGP

Jefe de Unidad: Ing. Gonzalo Vaca Valdez.

### 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. Víctor Manuel López Chumacero.

### Dirección:

Av. Mariscal Santa Cruz, esquina Calle Oruro  
Edificio Centro de Comunicaciones La Paz, 4° Piso  
Teléfonos: (+591-2) 2119999 - 2156600 - Fax: 2124390

[www.oopp.gob.bo](http://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<br>Pdte. Comité Técnico / R.M. No. 044           |  |
| 2 | M.Sc. Ing. Juan Carlos Rocha Garces<br>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 | Ing. Miguel Ángel Ruiz Hurtado           |  |
| 17 | M.Sc. René Fernando Salgueiro Bustillos  |  |
| 18 | M.Sc. Oscar Alberto Zabalaga Montaña     |  |

Borrador

Borrador



**CNBES**  
Comité Técnico Normas Bolivianas  
de Estudios Geotécnicos

Borrador

# TÍTULO I GENERALIDADES

## CAPÍTULO I – ALCANCE

### Artículo 1.- Objeto

El objeto de esta norma es establecer las exigencias mínimas necesarias para la realización de estudios geotécnicos destinados al diseño de fundaciones y a las excavaciones asociadas en 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 la capacidad de carga y los asentamientos de las fundaciones. Esta norma es aplicable a edificaciones tales como viviendas, edificios de múltiples pisos, centros educativos, hospitales, mercados, auditorios, centros comerciales, infraestructura deportiva, tinglados, cobertizos, hangares, naves industriales, terminales – aeroportuarias, terrestres, navales –, estaciones, torres, 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. Realiza la planificación, el seguimiento y la elaboración del estudio geotécnico con base en la presente normativa.

**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.

### Artículo 4.- Tipos de estudios geotécnicos

Son tres los tipos de estudio geotécnico que se reconocen, cuyo propósito y alcance son los siguientes:

### **a) Estudio geotécnico preliminar**

El estudio geotécnico preliminar tiene como objetivo, a través de prospecciones, determinar el perfil estratigráfico del terreno de fundación y evaluar la ausencia de condiciones competentes del subsuelo que puedan comprometer la seguridad de las edificaciones proyectadas. Estas condiciones incluyen la presencia de suelos o materiales problemáticos (como suelos expansivos, suelos dispersivos, suelos colapsables, suelos orgánicos, rellenos antrópicos no diseñados, entre otros), cavidades subterráneas, estructuras subterráneas, condiciones hidrogeológicas desfavorables, contaminación del suelo y otros factores geotécnicos críticos.

Se constituyen en la base para la planificación del estudio geotécnico de diseño y en ningún caso lo sustituye. Sin embargo, el estudio geotécnico preliminar puede ser obviado si el Responsable del Estudio Geotécnico así lo considera, respaldado en la información existente del perfil de la zona de estudio y la magnitud del proyecto.

El número de prospecciones que se deben ejecutar en el estudio preliminar puede ser menor al del estudio de diseño y será definida por el Responsable del Estudio Geotécnico.

### **b) Estudio geotécnico de diseño**

El objetivo del estudio de diseño es obtener la información necesaria para establecer las unidades geotécnicas a considerar en el diseño geotécnico de las edificaciones. 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 con este propósito; mismo que no está obligado a cumplir con los requisitos de número de sondeos, profundidad y muestreo establecidos en esta norma, sino más bien solo aquellas prospecciones y ensayos que lleven a 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**

El objetivo de la planificación del Estudio Geotécnico de Diseño es definir los siguientes datos:

- Número de puntos de exploración
- Profundidad de exploración
- Calidad de muestra a obtener
- Técnicas de exploración
- Ensayos de campo
- Ensayos de laboratorio

La planificación del estudio geotécnico de diseño, según la presente norma, establece un plan de trabajo estructurado para garantizar la recolección adecuada de la información geotécnica del terreno para el diseño de edificaciones. Este plan incluye:

-Determinar el número y ubicación de puntos de exploración: Establecer la cantidad y localización estratégica de puntos de exploración para abarcar adecuadamente todas las áreas de interés del sitio de estudio.

-Definir la Profundidad de Exploración: Fijar la profundidad a la que se deben llevar a cabo las exploraciones para asegurar que se obtiene información representativa del subsuelo.

-Especificar la Calidad y Tipo de Muestras: Definir los requisitos de calidad y los tipos de muestras que se deben recolectar para el análisis geotécnico en laboratorio.

-Seleccionar las Técnicas de Exploración Apropriadas: Elegir las técnicas de exploración que mejor se adaptan a las características específicas del terreno en las diferentes regiones del país y a los requerimientos del proyecto.

-Planificar los Ensayos de Campo y de Laboratorio: Programar y definir los ensayos de campo y laboratorio que se deben realizar para determinar adecuadamente los parámetros geotécnicos del terreno a ser utilizados en el diseño.

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

## Artículo 6.- Información preliminar

Para la planificación de la prospección geotécnica del terreno, es necesaria, como mínimo, la siguiente información:

- Tipo de edificación proyectada
- Descripción de las características y variabilidad del tipo de terreno dónde se edificará
- Profundidad preliminar a la que se proyectará la fundación
- Tipo de fundación (superficial o profunda)
- Dimensión máxima de la fundación superficial (base y largo)

## Artículo 7.- Tipo de edificación

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 <sup>±</sup>	De interés social (Vivienda básica)	Hasta 3.5 m Una planta
	Simple (Vivienda privada)	Hasta 4.5 m Una planta y media
C-2 <sup>±</sup>	Mediana (Vivienda uso mixto)	Hasta 6.5 m Planta baja y planta alta
C-3	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 20 plantas.
C-5	Edificaciones especiales	Cualquier altura

Nota 1.- Cuando la distancia mayor entre apoyos sea mayor a 10 m, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.

Nota 2.- En el cómputo de plantas se incluyen sótanos y áticos.

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.

## Artículo 8.- Distancia máxima entre puntos de exploración

La variabilidad de la estratigrafía del terreno de fundación condiciona la distancia máxima entre los puntos de exploración, conforme a lo estipulado en la Tabla 2. La selección del tipo de terreno estará 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, debido a la falta de información anterior, se debe seleccionar el tipo T-3.

## Artículo 9.- Determinación del número de puntos de exploración

La disposición de los puntos de exploración será definida por el Responsable del Estudio Geotécnico, quien debe distribuir los puntos de exploración dentro el 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.

El número mínimo de puntos de exploración es función del tipo de edificación, como se muestra en la Tabla 3. Asimismo, la separación entre puntos de exploración no debe ser mayor que la distancia establecida en la Tabla 2. Si al cumplir estas dos condiciones no se cubre adecuadamente el área de estudio, entonces se debe incrementar el número mínimo de puntos de exploración de tal manera que se puedan determinar los parámetros geotécnicos necesarios para establecer las unidades geotécnicas.

Asimismo, cuando el número de puntos de exploración directos necesarios para cubrir el área de estudio exceda el número mínimo de puntos de exploración estipulado en la Tabla 3, está permitido sustituir métodos de exploración directa por ensayos de auscultación dinámica (DPSH y DPL). Los porcentajes de sustitución presentados en la Tabla 3 se aplican al número de puntos de exploración por encima del mínimo. La definición de las técnicas de exploración de campo se detalla en el Artículo 13 del Título IV.

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	2 <sup>±</sup>	66	70	70
C-2	2 <sup>±</sup>	66	66	66
C-3	2	66	66	66
C-4a	3	66	66	50
C-4b	3	66	66	50
C-4c	3	50	50	40
C-5	∞	40	40	30

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

∞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

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 casos de incertidumbre, se debe considerar que la fundación será profunda.

Para fundaciones superficiales la profundidad mínima se determina de acuerdo con los dos criterios siguientes:

- Para 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  $\Delta\sigma = 0.10 \times q_0$ .
- Para 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 ( $\sigma_0'$ ) existente en el terreno a esa profundidad antes de construir el edificio; es decir, la profundidad para la que se cumpla la relación  $\Delta\sigma = 0.10 \times \sigma_0'$ .

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

Para fundaciones profundas:

- a) La profundidad del nivel de fundación ( $D_f$ ) más:
- dos (2) veces el ancho del grupo de pilotes,
  - o diez (10) veces el diámetro del pilote aislado.

Borrador

# TÍTULO III

## CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE DRENAJE DEL SUELO

### CAPÍTULO I

#### Artículo 11.- Clasificación y estado de drenaje del suelo

- 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, por efecto de una carga aplicada, considerados significativos. 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  $k = 10 \text{ E-6 m/s}$ . 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 <sup>§</sup>	SÍ <sup>¥</sup>
Limo	ML, MH	SÍ	SÍ
Arcilla	CL, CH, CL-ML	SÍ	SÍ
Orgánico	OL, OH	SÍ	SÍ

<sup>§</sup> Con un máximo de 30% que pase por el tamiz No.200 y que tengan límite líquido  $LL \leq 30\%$  e índice plástico  $IP \leq 15\%$ .

<sup>¥</sup> 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 terreno, 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 modo que se complementen.

### Artículo 13.- Estado muestras de suelo

Las muestras obtenidas a través de métodos directos de exploración se clasifican según su estado en: inalteradas, alteradas, reconstituidas y no representativas. La descripción de las 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 aceptados bajo la Categoría A de la presente norma.

#### b. Muestras alteradas

Son aquellas muestras cuya estructura *in situ* es modificada durante el proceso de extracción, pero conservan el contenido de agua natural y la distribución de tamaño de partículas. Los muestreadores Categoría 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 14.- Categorías de muestreadores

Tres son las categorías de muestreadores, su selección está determinada en función del parámetro del suelo que se desea determinar, 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

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.

## CAPÍTULO II - MÉTODOS DIRECTOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO

### Artículo 15.- 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; aquellas que, por diseño del equipo, no permiten la recuperación de muestras, pero sí facilitan la obtención de parámetros del suelo, son denominadas auscultaciones. De las técnicas que extraen muestras, algunas tienen como único objetivo el de obtener muestra para la realización de ensayos de laboratorio.

Los ensayos 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. Mientras que, los ensayos de penetración estática se caracterizan por emplear una punta instrumentada que, a través de la aplicación de una fuerza, avanza en profundidad con una tasa de penetración constante.

### Artículo 16.- Ensayos directos de campo

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 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,	$P, P_0, P_p, P_L$
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 mínimo 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, NSPT; 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 de los 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, N60, 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 estudio geotécnico.
- VIII. El diámetro de perforación máximo permitido es de 200 mm; en consecuencia, no está permitido el uso de calcatas 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 estudio geotécnico.
- 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 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 del valor  $N_{20}$ , deben ser las mismas que las indicadas para el ensayo SPT con todas sus consideraciones.

- 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 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 poro ( $u$ ), de esta manera se calcula la resistencia total del cono ( $q_t$ ).
- III. El ensayo CPTu está indicado para su ejecución en suelos drenantes y no drenantes.
- IV. Los valores obtenidos de la resistencia por punta ( $q_c$ ) deberán ser corregidas por el factor de área neta ( $a$ ) y la presión de poro ( $u$ ), de esta manera se calcula la resistencia total del cono ( $q_t$ ).
- V. Debido a la limitación para la obtención de muestras del terreno, el ensayo se ejecutará en combinación con métodos directos con toma de muestras.
- VI. A partir de los resultados obtenidos en el ensayo CPTu, se estima la clasificación y estratigrafía del terreno en función al comportamiento del suelo, de la misma forma, se obtienen parámetros cuantitativos de resistencia y deformación, de calidad media y alta, respectivamente.

- VII. 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.
- VIII. 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 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 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 de comportamiento drenado como no drenado, 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 de la tensión efectiva horizontal, se relaciona con la razón de sobre consolidación 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

- I. Los ensayos geofísicos son métodos indirectos que se deben aplicar para la caracterización geotécnica y geológica del terreno. Su objetivo es optimizar el programa de sondeos, contribuir a la identificación de las unidades geológicas y geotécnicas, y abarcar el estudio de áreas extensas. Estos ensayos constituyen un complemento a la exploración geotécnica, sin reemplazar las técnicas directas ni los ensayos de laboratorio.

### Artículo 23.- Ensayos geofísicos

- I. Los ensayos de exploración indirecta, 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 establecidos en la presente norma para la exploración indirecta del terreno.

Tabla 7. Ensayos de campo indirectos basados en métodos 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)	$V_s$
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

El ensayo Downhole, realiza mediciones directas de las velocidades de las ondas de compresión (P) o de corte (S), o de ambas en un sondeo. El ensayo realiza mediciones de los tiempos de llegada (tiempo de viaje desde la fuente en superficie hasta el geófono) de las ondas P y S generadas entre una fuente en la superficie y los receptores a distintas profundidades dentro de un sondeo.

## **b) Crosshole**

El ensayo Crosshole, realiza mediciones directas de las velocidades de las ondas P, o de las ondas S. La velocidad de onda P o S se calcula a partir de la medición del tiempo de viaje en sentido de la fuente de energía transmitida a los receptores ubicados entre las perforaciones. Puede detectar capas de baja velocidad (de baja rigidez) siempre que sea un estrato grueso en comparación con la distancia entre sondeos (ASTM D4428 recomienda una separación de sondeos entre 3m a 6m). La prueba puede realizarse en todo tipo de suelos y rocas, sin límite de profundidad.

## **c) SCPT y SDMT**

La prueba SCPT y SDMT es una modificación del ensayo CPT y DMT, que permite medir las velocidades de onda P o S. La energía sísmica se genera en la superficie cerca del punto de inserción del piezocono o del dilatómetro.

## **d) Refracción sísmica**

Las mediciones del tiempo de propagación de una onda de compresión (P) desde una fuente sísmica hasta uno o varios geófonos se realizan desde la superficie. Este tiempo obtenido, midiendo la llegada a cada geófono, 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 puede ser detectada.

## **e) Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW)**

El ensayo SASW, es un método para determinar el perfil de ondas de corte de un sistema de suelo estratificado mediante la medición de las ondas superficiales (ondas Rayleigh) en dos puntos de la superficie del suelo generadas para una fuente de impacto. Permite obtener la frecuencia ( $f$ ) para una longitud de onda ( $\lambda$ ), 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 velocidades de onda de corte 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 velocidad de onda de corte  $V_s$  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) - ASTM D 6431-18**

Los métodos eléctricos de corriente continua, relaciona 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 espaciado actual de los electrodos se expande alrededor de una ubicación central, se puede generar un sondeo de resistividad-profundidad.

### **b) Tomografía eléctrica resistiva (TER)**

Es un método geoelectrico 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 de los sondeos de campo. 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 destinados a ensayos de 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.
- 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 engañosos y, por ende, a resultados de diseño erróneos.
- VI. Se debe asignar un código de identificación único y sin ambigüedades a todas las muestras recolectadas de sondeos de campo. Este código puede ser reasignado en el laboratorio para uso interno. Es esencial mantener una correlación clara entre la identificación de campo y la de laboratorio para

asegurar la trazabilidad completa de las muestras. Este procedimiento garantiza la integridad y exactitud en el manejo y análisis 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. Además, la validez de estas certificaciones deberá ser evaluada continuamente, teniendo en cuenta la frecuencia de uso, el transporte y la movilización de los equipos e instrumentos de medición para asegurar su precisión y fiabilidad en el lugar de trabajo.
- 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 asegurarse de 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 y la interpretación de los ensayos de laboratorio.
- 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 permeabilidad en arcillas y limos, se debe priorizar el uso de 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 permeabilidad de los suelos, se utilizan dos métodos estándar: el procedimiento de carga constante y el procedimiento de carga variable. El método de carga constante está especificado en la norma ASTM D 2434-22, aplicable a suelos granulares, mientras que el método de carga variable se rige por la norma ASTM D 5084-16, aplicable a todos los tipos de suelos. Ambos procedimientos determinan la permeabilidad de los suelos bajo condiciones específicas. El Responsable del Estudio Geotécnico debe evaluar cuidadosamente estas condiciones para asegurar que son representativas de las características del subsuelo y debe estar plenamente consciente de las limitaciones de estos ensayos para 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 D 7928-21
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 D 2434-22
Conductividad hidráulica de materiales porosos saturados utilizando un permeámetro de pared flexible	ASTM D 5084-16
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 asegurarse de que la investigación geotécnica incluya la determinación de parámetros geoquímicos de la composición de suelos y aguas. Con base en esta información, el estudio geotécnico debe proporcionar datos útiles para seleccionar de manera adecuada los materiales y estructuras que estarán en contacto con estos elementos. 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

<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>NORMA DE REFERENCIA</b>
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 permiten la generación de 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 fundaciones 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. 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.
- IV. El diseño y análisis de fundaciones superficiales y profundas, junto con las excavaciones y estructuras de contención, requiere conocer los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo. La elección de los métodos de ensayo adecuados para determinar estos parámetros depende de las características de la edificación, el diseño de la fundación, las cargas aplicadas y las características del suelo en el sitio.
- V. El Responsable del Estudio Geotécnico debe definir los métodos de ensayo de laboratorio y las condiciones específicas necesarias para su realización, con el objetivo de determinar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.
- VI. La Tabla 10 presenta la lista de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante.

Tabla 10.- Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante

<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>NORMA DE REFERENCIA</b>
Ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado en suelos cohesivos, TXUU	ASTM D 2850-23
Ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado para suelos cohesivos, TXCU	ASTM D 4767-11
Ensayo de compresión triaxial consolidado drenado, TXCD	ASTM D 7181-20
Ensayo de corte directo en condiciones consolidadas drenadas	ASTM D 3080M-23
Resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos	ASTM D 2166M-16
Veleta miniatura de laboratorio para suelo arcilloso de grano fino saturado	ASTM D 4648M-24
Estimación de la resistencia al corte de suelos cohesivos utilizando la veleta de corte manual	ASTM D 8121-19

### Artículo 31.- Ensayos triaxiales

- I. El Responsable del estudio geotécnico debe ser consciente de que varios factores pueden afectar significativamente los resultados de ensayos triaxiales y su interpretación. Estos incluyen la alteración de la muestra, el modo de aplicación de la fuerza para que se produzca la falla por corte, las presiones de confinamiento, el tamaño del espécimen, la fracción granulométrica utilizada en el ensayo, la saturación, el desplazamiento en el momento de la falla, y la velocidad de corte y deformación necesarias para alcanzar la resistencia máxima.
- II. Los ensayos triaxiales son métodos precisos para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, y también la rigidez (módulos de deformación) en un rango de deformaciones de intermedias a grandes.
- III. El Responsable del Estudio Geotécnico debe establecer el rango de esfuerzos sobre el cual se realizarán los ensayos triaxiales, con el propósito de determinar los parámetros de resistencia al corte que se ajusten a las características específicas del proyecto de ingeniería.
- IV. Para los ensayos triaxiales, se debe priorizar el uso de 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 estos casos, 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 mínimamente 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 debe incluirse fotografías de los especímenes después del ensayo.

#### **a) Ensayo triaxial no consolidado no drenado, TX(UU)**

- I. 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 también permiten analizar el comportamiento de deformación del suelo a través del módulo de elasticidad.
- II. 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, y consecuentemente, la consolidación del suelo.
- III. El Responsable de ensayos debe definir el número de especímenes necesarios para realizar el ensayo. Se recomienda un mínimo de tres especímenes para asegurar una medida representativa y fiable de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado,  $S_u$ .
- IV. 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.
- 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.
- VI. La representatividad de los resultados del ensayo TXUU depende de que la muestra de suelo conserve su estructura original, tal como se encuentra *in situ*, hasta que se realice el ensayo. Por lo tanto, se debe priorizar el uso de muestras recolectadas con muestreadores de categoría A.

- VII. El Responsable del Estudio Geotécnico debe definir la presión de confinamiento a aplicar en el ensayo triaxial TXUU, considerando las condiciones *in situ* que se desean simular en el ensayo.

#### **b) Ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado para suelos cohesivos, TX(CU)**

- I. El ensayo TXCU permite determinar los parámetros de resistencia al corte (cohesión y el ángulo de fricción interna) y de deformación del suelo (módulos 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. En los ensayos TXCU y TXCD, la envolvente de falla de Mohr debe ser determinada utilizando al menos tres especímenes sometidos a diferentes esfuerzos efectivos. La extrapolación lineal de la envolvente de falla obtenida de los resultados del ensayo puede generar valores erróneos de la resistencia al corte del suelo, ya que la envolvente de rotura de Mohr generalmente no es una línea recta, especialmente bajo rangos de esfuerzos efectivos bajos. En estos casos, se recomienda utilizar un mayor número de especímenes de ensayo.

#### **c) Ensayo de compresión triaxial consolidado drenado, TX(CD)**

- I. El ensayo TXCD permite determinar los parámetros de resistencia al corte efectivos ( $\phi'$  y  $c'$ ) y parámetros de deformación del suelo (módulos de elasticidad).
- II. El ensayo TXCD simula las condiciones a largo plazo del suelo. Durante el procedimiento del ensayo TXCD, se permite que el espécimen se consolide completamente bajo la presión de confinamiento antes de la aplicación de la carga axial. La carga axial, que genera los esfuerzos cortantes en el espécimen hasta alcanzar la falla, 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. Los resultados obtenidos de este ensayo son aplicables a situaciones de campo donde los suelos han sido completamente consolidados y posteriormente experimentan cambios en los esfuerzos bajo condiciones drenadas.
- III. El tiempo requerido para realizar este ensayo en suelos de baja permeabilidad puede ser de varios meses. Por lo tanto, el Responsable del Estudio Geotécnico debe tener esto en cuenta al elaborar el programa de ensayos de laboratorio.

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

- I. El ensayo de corte directo proporciona datos útiles para determinar los parámetros de resistencia al corte efectivos ( $\phi'$  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-desplazamiento 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 ensayo 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.- Métodos de estimación de la resistencia al corte no drenada

- I. La veleta de corte manual, la veleta miniatura de laboratorio y resistencia a compresión no confinada pueden ser utilizadas para una estimación aproximada de la resistencia al corte no drenada del suelo. Sin embargo, estos métodos no sustituyen los ensayos triaxiales no drenados.
- II. No se deben utilizar los resultados del ensayo de compresión no confinada (curvas tensión-deformación) para determinar los módulos elásticos con fines de diseño de ingeniería.
- III. El valor de la resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ) estimado 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 confinamiento. Por lo tanto, la resistencia a la compresión obtenida de este ensayo se denomina (resistencia a la compresión no confinada  $q_u$ ). Es crucial no confundir estos dos términos; ‘resistencia al corte’ se refiere a  $S_u$ , mientras que “resistencia a la compresión” se refiere a  $q_u$ .
- IV. La ausencia de presiones de confinamiento y la falta de métodos para la medición de la presión de poros durante el ensayo resultan en errores de interpretación de los resultados del ensayo. Por lo tanto, no se debe realizar el ensayo de compresión no confinada 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 aumento de la profundidad de recolección de la muestra, ya que esta tiende a expandirse tras ser extraída debido a la liberación de los esfuerzos de confinamiento *in situ*.

## CAPÍTULO IV - CONSOLIDACIÓN

### Artículo 34.- Ensayos de consolidación

- I. A partir del ensayo de consolidación unidimensional (o ensayo de edómetro) en suelos saturados de grano fino, es posible evaluar las características de consolidación del suelo y definir la relaciones asentamiento-tiempo bajo las cargas propuestas para la cimentación. Además, permite determinar los parámetros de compresibilidad ( $C_c$ ,  $C_s$ ,  $C_r$ ), el módulo de deformación ( $E_{edo}$ ), la presión de preconsolidación, el coeficiente de consolidación ( $c_v$ ) y un valor aproximado de la permeabilidad ( $k$ ).
- II. En cada estrato conformado por suelos de grano fino que presente un estado no drenado, se debe recolectar como mínimo una muestra inalterada representativa para realizar un ensayo de consolidación. 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 Ensayos. Estas decisiones nunca deben dejarse exclusivamente al criterio del Responsable de Ensayos.
- IV. El tiempo de aplicación de la carga entre incrementos debe ser suficiente para asegurar que el incremento total de esfuerzo aplicado se transfiera adecuadamente del agua en los poros a la estructura del suelo, convirtiéndose en esfuerzo efectivo.
- V. 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. Esto asegura que el rango de esfuerzos aplicados durante el ensayo exceda ampliamente los esfuerzos efectivos necesarios para el análisis de asentamiento.
- VI. 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 emplea una carga de deformación controlada, manteniendo 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

- VII. 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- asentamiento para cada etapa, gráficos de compresibilidad y gráficos de presión de preconsolidación.
- VIII. 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 que pueden afectar significativamente en el diseño y la construcción de estructuras. 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 siguiendo los pasos definidos en este capítulo.
- III. La representatividad de los resultados de ensayos en suelos especiales depende de que la muestra de suelo conserve su estructura original, tal como se encuentra *in situ*, hasta que se realice el ensayo. Por lo tanto, se debe utilizar muestras inalteradas.
- IV. Para la interpretación de resultados de ensayos de laboratorio en suelos especiales, estos deben ser acompañados de ensayos de caracterización,

como humedad 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
Características de dispersividad para suelos arcillosos a través de la doble hidrometría	ASTM D4221-18	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 humedad 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 humedad y a contraerse cuando disminuye.
- II. El cambio de volumen debido a la expansión de los suelos de fundación 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 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. El responsable del Estudio Geotécnico debe asegurarse de 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, se considera necesario realizar al menos dos ensayos, como los descritos en la Tabla 11, para clasificar correctamente un suelo como dispersivo.
- III. El responsable del Estudio Geotécnico debe asegurarse de 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. Al seleccionar el método de ensayo ASTM D4647-13, el Responsable del Estudio Geotécnico debe ser conocer de las limitaciones del ensayo. Este método 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

La exploración geológica consiste en un mapeo de superficie en el cual se debe identificar estructuras geológicas, ejecución de ensayos de campo o laboratorio de la roca intacta, descripción del sistema de discontinuidades, indicando la distribución y la naturaleza geológica del terreno, incluidos los efectos de la alteración y la meteorización.

- b) Exploración geofísica

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

- c) Exploración geotécnica

La exploración in situ 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 de perforaciones.
- 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

<b>ENSAYO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NORMA DE REFERENCIA</b>
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

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA DE REFERENCIA</b>
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 Strength 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"> <li>- Muestreo de roca para determinación de propiedades en laboratorio.</li> <li>- Esclerómetro o martillo de Schmidt.</li> <li>- Ensayo de carga puntual.</li> </ul>	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).

Toma de datos en discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Medida de la orientación</li> <li>-Tilt test o ensayo de inclinación.</li> <li>-Medición de la rugosidad mediante perfilómetros.</li> <li>-Medición del espaciamiento, persistencia y abertura.</li> <li>-Estimación de RQD volumétrico en estación geomecánica o en sondajes.</li> </ul>	<p>ISRM Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, 1979 (Blue Book).</p> <p>ASTM D 6032-02 Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.</p>
Ensayos en los macizos rocosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ensayo dilatométrico.</li> <li>-Ensayo Lugeon para determinar el coeficiente de permeabilidad.</li> </ul>	<p>ISRM Suggested Methods for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer, 1979 (Blue Book).</p> <p>ISRM Suggested Methods for Deformability Determination Using a Stiff Dilatometer, 1979 (Blue Book).</p> <p>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.</p>

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



**CNBES**

Comité Técnico Norma Boliviana  
de Estudios Geotécnicos