

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE**

**ESTUDIO DE GEOTECNIA**

**COCHABAMBA - BOLIVIA**

**TABLA DE CONTENIDO**

[1. OBJETIVO 3](#_Toc488132217)

[2. ALCANCE 3](#_Toc488132218)

[3. INFORMACION DE REFERENCIA 4](#_Toc488132219)

[4. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJO 4](#_Toc488132220)

[4.1. INFORMACION DEL SITIO 4](#_Toc488132221)

[4.2. EXPLORACIONES DE CAMPO 4](#_Toc488132222)

[4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO 6](#_Toc488132223)

[5. ANALISIS GEOTECNICO EN SUBESTACIONES 8](#_Toc488132224)

[5.1. CIMENTACIONES 8](#_Toc488132225)

[5.2. ESTABILIDAD DE TALUDES (EXCAVACIONES Y RELLENOS) 11](#_Toc488132226)

[5.3. CONFORMACION DE VIAS 11](#_Toc488132227)

[6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 11](#_Toc488132228)

[7. INFORMACIÓN PROCESADA 12](#_Toc488132229)

[8. CONTENIDO DEL INFORME PARALOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS 13](#_Toc488132230)

especificaciONES técnicaS

ESTUDIO DE GEOTÉCNIA

# OBJETIVO

Tendrán como objetivo determinar los parámetros para el diseño y la construcción de las obras en contacto con el suelo para garantizar un comportamiento adecuado de las edificaciones, cimentaciones, taludes, rellenos y demás obras civiles de las subestaciones Padilla, Monteagudo y Camiri dentro del Proyecto Interconexión de Camiri al SIN.

Se tendrán también en cuenta las consideraciones de la Norma Boliviana de Diseño Sísmico NBDS 2006-Titulo G.

Son documentos complementarios a estas especificaciones:

* CRITERIOS DE DISEÑO OBRAS CIVILES
* MOVIMIENTO DE TIERRAS
* OBRAS CIVILES GENERALES
* CANALIZACIONES Y DRENAJES
* OBRAS CIVILES EDIFICACIONES
* OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS

# ALCANCE

La Norma Boliviana de Diseño Sísmico (NBDS-2006) en su título G presenta un marco metodológico general para la realización de estudios geotécnicos, el cual será aplicable a la presente especificación.

El estudio geotécnico de las subestaciones deberá comprender las evaluaciones, los diseños y las recomendaciones de las obras geotécnicas necesarias para garantizar las condiciones adecuadas de estabilidad de las obras a construir en el sitio.

Para el desarrollo de este objetivo se requiere la realización de sondeos exploratorios que permitan determinar, a profundidad, el tipo y características geomecánicas de los diferentes materiales presentes en el área de estudio. Los estudios de suelos constituirán un parámetro esencial para la realización de los diseños detallados de las estructuras de cimentación de los equipos eléctricos, mecánicos y edificaciones que se construirán en las subestaciones del proyecto.

Nota aclaratoria:

*ENDE CORPORACIÓN, no entregará ningún otro estudio, debido a que no tiene disponible.*

# INFORMACION DE REFERENCIA

A continuación, se resumen los aspectos básicos de localización de las obras, áreas que comprenden las mismas y tipo de obras:

Tabla 1. Datos generales de la subestación

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Subestación** | **Localización departamento (provincia)** | **Área aproximada del desarrollo en esta etapa (m2)** | **Tipo de obras** |
| Padilla 115 kV | Chuquisaca (Provincia Tomina) | 80000 | Ampliación de Subestación |
| Monteagudo 115kV / 24.9 kV | Chuquisaca (Hernando Siles) | 80000 | Nueva Subestación |
| Camiri 115 kV | Santa Cruz (Provincia Cordillera) | 80000 | Nueva Subestación |

# PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJO

## INFORMACION DEL SITIO

La recolección de la información de los sitios donde se van a desarrollar los trabajos de la(s) subestación(es), debe incluir la descripción de aspectos tales como: geología, sismicidad, clima (régimen de lluvias, temperatura), vegetación, existencia y características de las edificaciones vecinas y revisión de estudios técnicos existentes.

## EXPLORACIONES DE CAMPO

### CRITERIOS GENERALES DE CAMPO

Estas exploraciones comprenden la ejecución de calicatas, perforaciones estáticas u otros procedimientos de exploración normalizados, con el fin de ejecutar pruebas directas y obtener muestras para ensayos de laboratorio.

Es importante que el número y el tipo de exploraciones que en esta guía se especifican, no condicionen la realización de los estudios adicionales que se requieran para definir adecuadamente las condiciones del subsuelo, las cuales deben corresponder con el criterio del Profesional Responsable.

Las características y la distribución de las exploraciones deben cumplir con las siguientes disposiciones:

1. Las muestras, tanto alteradas como inalteradas, se toman en cada cambio de material o por cada 1,00 m de longitud del sondeo. Las características de la muestra se definen de acuerdo con el tipo de ensayos de laboratorio que permitan definir los parámetros necesarios para los distintos modelos de análisis. Al menos la mitad de los sondeos se realizarán en los puntos donde estarán ubicadas las cimentaciones de los pórticos y los equipos, principalmente en aquellos con cargas altas.
2. La distribución de los sondeos a ejecutar debe cubrir completamente el área de estudio, de tal modo que sea posible obtener perfiles estratigráficos suficientemente confiables y profundos para un adecuado conocimiento de la cobertura de las excavaciones y rellenos previstos en el proyecto, de acuerdo con la geología de cada sector y la profundidad de incidencia de las cargas.
3. Las exploraciones de campo deben considerar la ejecución de ensayos in situ (SPT, DPL, CPT), dependiendo de las condiciones particulares de cada sitio y el concepto del profesional responsable, quien debe ser un ingeniero con experiencia en este tipo de labores.

### REGISTROS DE EXPLORACIONES DE CAMPO

Para la correcta descripción de las exploraciones de campo se debe incluir una información mínima que contenga los principales elementos relacionados con dicha actividad.

Algunos puntos importantes que no deben faltar en la descripción de los registros de calicatas y perforaciones se muestran a continuación.

### Registros de calicatas

1. Registro de material orgánico (Si lo hay).
2. Tipo de material encontrado en cada uno de los estratos.
3. Profundidad y espesor de cada estrato.
4. Descripción del material encontrado en el cual se incluya el color y las características de cohesión y humedad encontradas.
5. Condiciones del nivel freático.

### Registro de perforaciones

1. Tipo de taladro.
2. Tipo de muestreador o corona.
3. Tipo de revestimiento (si fue utilizado).
4. Ángulo u orientación de la perforación.
5. Características del martinete: Peso y altura de caída.
6. Profundidad del sondeo.
7. Número de muestra.
8. Porcentaje de recobramiento.
9. Material encontrado.
10. Descripción del material.
11. Nivel freático

### PROFUNDIDAD Y NUMERO MINIMO DE SONDEOS

En la tabla 2 se presentan los valores mínimos para la cantidad y profundidad de los sondeos se deben ser realizados según los alineamientos mencionados anteriormente.

Tabla 2. Valores mínimos para cantidad y profundidad de sondeos en cada subestación

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Subestación |  | Método de exploración | | | | |
| Calicatas de 2,0 m de profundidad | | Perforaciones SPT de 5,0 m de profundidad | Perforaciones con taladro de 10,0 m de profundidad mínima | Ensayo de carga de Placa | Calicatas de 1,0m a 2,0 m de profundidad en vías |
| Carrasco 500kV / 230kV | 5 | | 12 | 4 | 4 | 5 |

Notas:

* En las perforaciones de 5,0 m a 10,0 m se deben realizar ensayos SPT (o equivalente según sea aplicable).
* En las subestaciones existentes se desarrollarán los sondeos solo en caso de no existir estudios geotécnicos previos.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

### GENERALIDADES

Las muestras obtenidas de las exploraciones serán clasificadas por el contratista a través del profesional responsable encargado de los trabajos de campo, quien ordenará los ensayos de laboratorio normales que se realizan para conocer con claridad la clasificación, pesos unitarios, propiedades de resistencia al corte, deformaciones, comportamiento bajo cargas cíclicas a través del módulo dinámico de cortante y permeabilidad de los materiales encontrados en el sitio del proyecto.

Si de acuerdo con los resultados de los ensayos de clasificación y el criterio del profesional responsable se identifican suelos de tipo expansivo, se deben efectuar pruebas especiales que permitan definir claramente el potencial expansivo del material y su incidencia sobre el tipo de estructuras proyectadas.

Cuando se trate de suelos potencialmente licuables identificados con base en los patrones de riesgo y los registros de las perforaciones, como por ejemplo los estratos de arenas sueltas y saturadas entre 3 y 10 metros de profundidad, se deben efectuar ensayos triaxiales cíclicos para diferentes presiones de confinamiento equivalentes a las condiciones reales del estrato de suelo a diferentes profundidades, que permitan definir la profundidad y el riesgo de licuación en el estrato de suelo ante las deformaciones generadas por los movimientos sísmicos.

### PRINCIPALES ENSAYOS DE LABORATORIO

Con base en las muestras recuperadas durante las exploraciones de campo, se deben realizar diferentes ensayos de laboratorio con el fin de caracterizar los diferentes estratos del perfil del suelo desde el punto de vista físico - mecánico, para así modelar el comportamiento esfuerzo - deformación de los materiales existentes.

A continuación, se mencionan los principales ensayos de laboratorio que se realizan sobre estas muestras. El contratista a través del profesional responsable del estudio determinara la aplicabilidad para los estudios que se elaboren en esta etapa del proyecto.

1. Contenido de Humedad
2. Análisis Granulométrico
3. Límite Líquido y Límite Plástico
4. Peso Específico Relativo de Sólidos
5. Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)
6. Densidad Relativa\*
7. Peso volumétrico de suelo cohesivo
8. Límite de Contracción
9. Ensayo de Compactación Proctor Modificado
10. Descripción Visual-Manual
11. Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea
12. Consolidación Unidimensional
13. Colapsabilidad Potencial
14. Compresión Triaxial no Consolidado no Drenado
15. Compresión Triaxial Consolidado no Drenado
16. Compresión no Confinada
17. Expansión o Asentamiento Potencial Unidimensional de Suelos Cohesivos
18. Corte Directo
19. Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea
20. Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea
21. CBR
22. Permeabilidad
23. Líneas de refracción sísmicas
24. Determinación de la permeabilidad de los diferentes niveles geotécnicos detectados mediante ensayos de tipo Lefranc.

\* Debe ser usada únicamente para el control de rellenos granulares.

# ANALISIS GEOTECNICO EN SUBESTACIONES

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones importantes para el análisis geotécnico de la subestación.

## CIMENTACIONES

### GENERALIDADES

Para que toda estructura pueda cumplir con las funciones para las cuales fue proyectada debe estar adecuadamente soportada sobre el terreno; para esto es importante considerar que en ningún caso puede fundarse directamente sobre la capa vegetal, ni sobre rellenos sueltos, materiales inestables susceptibles a erosión, a socavación, a licuación o a la acción de aguas subterráneas.

El diseño de las cimetaciones se realiza evaluando las condiciones críticas que puedan presentarse durante la construcción o durante la vida útil de la subestación según lo indicado en la Norma Boliviana de Diseño Sísmico.

1. Estado límite de falla: A este estado se puede llegar cuando se presente alguna de las siguientes características:
2. La capacidad de soporte del suelo, luego de ser considerados los factores de seguridad apropiados, sea menor que las solicitaciones impuestas por los equipos, los pórticos y en general, por las estructuras a instalar en el proyecto.
3. Se presenta disminución en el equilibrio de las estructuras en conjunto o en alguna de sus partes, debido a una reducción en la estabilidad del terreno.
4. Se presentan fallas en los elementos críticos de la cimentación
5. Se presentan reacciones del suelo debido a la amplificación de ondas sísmicas o por la licuación del mismo, debida al sismo.
6. Existan fallas constructivas en las cimentaciones
7. Se presentan deformaciones inaceptables que pueden ocasionar la pérdida del equilibrio estático o daños graves en la estructura.
8. Estado límite de funcionamiento o servicio: A este estado límite se puede llegar cuando:
9. Se presentan deformaciones o asentamientos excesivos, que para el caso de subestaciones de energía serían de gran influencia en el funcionamiento de equipos como los seccionadores pantógrafos.
10. Existen desplazamientos o levantamientos excesivos causados por suelos expansivos
11. Se presentan vibraciones excesivas producidas por elementos móviles, como es el caso de los desplazamientos de transformadores y otros equipos sobre carrileras.

Con base en los resultados provenientes de los ensayos de campo y/o laboratorio se establecen los parámetros de diseño. Los factores de seguridad se definen teniendo en cuenta la magnitud de la obra, las consecuencias de una posible falla y la calidad de la información disponible acerca de las características de los suelos.

En la evaluación de cimentaciones es necesario realizar análisis de asentamientos; la evaluación de estos se realiza utilizando parámetros de deformación obtenidos de los ensayos de laboratorio o por correlaciones de campo, suficientemente justificadas.

La capacidad admisible de diseño para la cimentación será el menor valor calculado a partir de la resistencia ante falla reducida por el factor de seguridad, y la que produzca asentamientos inferiores a los permitidos. Igualmente se considera en los análisis, las solicitaciones de carga horizontal, momento o cualquier otra que se considere crítica en un proyecto en particular.

Es importante considerar los modos de falla en las cimentaciones utilizadas en las subestaciones. En general se establece que “La capacidad de carga es la presión ultima o de falla por corte del suelo y se determina utilizando las formulas aceptadas por la mecánica de suelos.

Al referirse a los sistemas de cimentación para los equipos y los pórticos en las subestaciones, es importante considerar tres premisas fundamentales orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de las estructuras apoyadas.

1. Es preciso considerar que la presión de contacto transmitida no debe superar la presión admisible del subsuelo, definida esta última de acuerdo con la forma de las cimentaciones, los niveles de carga estática y dinámica y las características del terreno, evitando así que se presenten fallas por cizalladura ya sean de tipo local o general.
2. La presión de contacto establecida será tal que no genere asentamientos totales o diferenciales que comprometan la estabilidad y el buen funcionamiento de las estructuras.
3. Se pretende que la fuerza de arrancamiento generada por las cargas laterales que actúen sobre las estructuras deberá ser contrarrestada por el sistema de cimentación elegido.

Es complemento al diseño de cimentaciones, la especificación técnica “Criterios de Diseño Obras Civiles”.

### TRANSFORMADOR Y REACTOR

Para el cálculo de las cimentaciones de estos equipos, se considera que el profesional encargado de los estudios geotécnicos brinde recomendaciones para el tipo de cimentación donde considere como parámetros para el diseño el módulo de balasto o de Winkler, el módulo de elasticidad del suelo y la relación de Poisson, estos parámetros son comúnmente utilizados para el dimensionamiento y diseño de cimentaciones sometidas a altas cargas.

### CIMENTACIONES PARA SOPORTES DE PORTICOS Y EQUIPOS

Este tipo de elementos tienen como característica principal que la magnitud de la carga vertical es muy pequeña con relación a la magnitud del momento actuante (sin que este sea de una gran magnitud), lo que hace que la resultante de fuerzas tenga una alta excentricidad, definida esta última como el momento actuante de la carga vertical.

En este caso, si se trabaja con las metodologías tradicionales para el diseño de cimentaciones, donde la resultante de fuerzas debe quedar ubicada dentro del tercio medio de la cimentación (es decir, e < B/6, con B igual al ancho de la cimentación), se requerirían unas cimentaciones con unas dimensiones mucho mayores que las que se necesitan para transmitirle al suelo una presión de contacto menor que su capacidad de soporte y/o producir unos asentamientos en un rango aceptable.

Teniendo en cuenta lo anterior es posible que para las cimentaciones de estos equipos se emplee una metodología diferente a la tradicional, como la expuesta por Braja M. Das o la expuesta por M. L. Hann y explicada por la Comisión de la Sociedad de Energía de Francia.

Para el análisis de los sistemas de cimentación de los pórticos de las subestaciones es posible utilizar una metodología que agrupe una serie de cimentaciones de tipos y de dimensiones variadas.

## ESTABILIDAD DE TALUDES (EXCAVACIONES Y RELLENOS)

Deben realizarse análisis de estabilidad de los taludes conformados por ENDE Transmisión y conformados por el contratista llave en mano, considerando las características geotécnicas del material del talud, las condiciones hidráulicas esperadas, la geometría de la excavación, la sobrecarga de las obras vecinas, los sistemas y procesos constructivos y los efectos sísmicos.

Se debe definir el volumen y características del material de préstamo requerido para los llenos, de acuerdo con el criterio del ingeniero responsable del proyecto, basado en los resultados de los ensayos de laboratorio y las necesidades del proyecto.

Se deben presentar los parámetros requeridos para el diseño de los muros de contención requeridos.

## CONFORMACION DE VIAS

### GENERALIDADES

Para el caso de las vías, se tomarán las muestras requeridas para ensayos de CBR y para obtener los parámetros necesarios para el diseño. Estas muestras, según la información que se requiera, serán inalteradas o alteradas para su posterior caracterización en el laboratorio, o también se obtienen de la ejecución de ensayos en sitio.

Para las vías internas se tomarán como mínimo tres muestras (donde indique el supervisor de ENDE Transmisión) sobre las cuales se realizan ensayos de caracterización del terreno para determinar su resistencia.

Es importante aclarar que el profesional responsable debe realizar un reconocimiento de las vías, con el fin de definir zonas críticas o de tratamiento especial (filtros, reemplazos, entre otros).

# ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para el caso de las vías, el estudio geotécnico debe plantear consideraciones referentes al proceso constructivo de las estructuras tales como recomendaciones sobre compactación. De igual manera debe incluir las especificaciones correspondientes a los materiales que se deben emplear en dichas actividades.

Para la ejecución de cortes, el estudio debe definir la secuencia más conveniente para realizar el movimiento de tierras para el proyecto específico y hacer referencia a las recomendaciones y consideraciones para la protección de taludes en el caso que sea necesario.

En el caso de los rellenos, se debe especificar el tratamiento necesario para la cimentación de la zona donde se van a realizar (descapotes, drenajes, etc.) y establecer los lineamientos acerca de la aptitud de los materiales que se utilizarán para tal fin.

También se especificarán las recomendaciones acerca de los equipos más adecuados para realizar el proceso de conformación de los llenos de acuerdo al tipo de suelo.

Es preciso definir los controles de compactación que se deben efectuar con el fin de garantizar la adecuada conformación de los terraplenes.

# INFORMACIÓN PROCESADA

Como resultado del estudio geotécnico, el contratista debe presentar en la fase de diseño, un documento con toda la información relativa a las condiciones físico - mecánicas del subsuelo, las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de las obras relacionadas, antecedidas de una introducción y una descripción general del contenido del informe. En la introducción se debe especificar el nombre de la empresa que solicita el estudio, el nombre del proyecto y su localización.

En dicho documento es importante la inclusión de un capítulo con la descripción general del proyecto, donde se haga alusión al área de estudio, a las generalidades del lote donde está ubicado el proyecto y una planta general con la ubicación de los sitios de las obras.

El documento contendrá como mínimo, aspectos relacionados con el proyecto, el subsuelo, los análisis geotécnicos, las recomendaciones para el diseño y para la construcción, acompañado de anexos fotográficos correspondientes a la zona de estudio y a los sitios de exploración y anexos de otro tipo tales como resultados de ensayos de laboratorio y de campo, ubicación del proyecto y de las edificaciones.

El estudio e informe(s) Geotécnico(s) mínimo(s) deberán contener:

* Descripción Geológica y Geomorfológica
* Capacidad portante del suelo mediante ensayos directos,
* Perfil estratigráfico.
* Clasificación del suelo.
* Análisis y cálculo de asentamientos.
* Ensayos de penetración estándar (SPT), estratigrafía, posición del nivel freático, capacidad portante, recomendación de la profundidad de cimentación, recomendaciones sobre el tipo de fundación (pilotes/micro pilotes para fundaciones, losas de fundación),
* Ensayo carga placa. (determinación del coeficiente de balasto) para diseño de losas apoyadas en el terreno (fundación banco reactores y/o autotransformadores).
* Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) en los bordes de la plataforma,
* Ensayos de capacidad portante de la subrasante (CBR).
* Ensayo de permeabilidad del terreno.
* En Bancos de Préstamo, se realizará calicatas, clasificación del suelo, limite líquido, plástico, peso unitario, perfil estratigráfico, recomendaciones del laboratorio y otros necesarios.
* Recomendaciones para el diseño de fundaciones de equipos, pórticos y auto-transformadores.
* Recomendaciones para la conformación y mejoramiento de taludes.

Recomendaciones para la ejecución de rellenos estructurales.

# CONTENIDO DEL INFORME PARALOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

El contenido general propuesto para el informe geotécnico de las subestaciones se presenta a continuación:

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO
2. EXPLORACIONES DE CAMPO
3. CONDICIONES GENERALES DEL TERRENO Y DEL SUBSUELO
   1. Localización (planos generales y topográficos)
   2. Geomorfología
   3. Geología general
   4. Perfiles estratigráficos y características principales de los suelos
   5. Profundidad del nivel freático
   6. Problemas geotécnicos
4. ENSAYOS DE LABORATORIO (incluye formatos)
5. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO Y DE LABORATORIO
   1. Ensayos de campo
   2. Ensayos de laboratorio
   3. Parámetros del suelo
6. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ESTUDIO GEOTÉCNICO
   1. Estabilidad de taludes (excavaciones y rellenos)
   2. Cimentaciones
      1. Equipos de patio (transformadores de corriente y tensión, seccionadores, interruptores, pararrayos, aisladores, etc.)
      2. Pórticos
   3. Muros de contención
7. CRITERIOS Y CARGAS DE DISEÑO
   1. Memoria de cálculo.
   2. Tipo de cimentación y otras soluciones si las hubiera.
   3. Profundidad de cimentación (Df).
   4. Determinación de la carga de rotura al corte y factor de seguridad (FS).
   5. Estimación de los asentamientos que sufriría la estructura con la carga aplicada (diferenciales y/o totales).
   6. Presión admisible del terreno.
   7. Indicación de las precauciones especiales que deberá tomar el diseñador o el constructor de la obra, como consecuencia de las características particulares del terreno investigado (efecto del nivel freática, contenido de sales agresivas al concreto, etc.)
   8. Parámetros para el diseño de muros de contención y/o calzadura.
   9. Otros parámetros que se requieran para el diseño o construcción de las estructuras y cuyo valor dependa directamente del suelo.
8. ESTUDIO DE VÍAS
9. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS A TENER EN CUENTA
   1. Excavaciones y rellenos
   2. Cimentaciones
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES