



***Comisión Federal de Electricidad***

**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTRUCTURAS  
DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS**

**ESPECIFICACIÓN  
CFE C0000-43**

**ABRIL 2019  
REVISA Y SUSTITUYE A LA  
EDICIÓN DE ABRIL DE 2012**

**MÉXICO**

**P R E F A C I O**

Esta **especificación** ha sido elaborada de acuerdo con el Manual de Integración y Funcionamiento del Subcomité de Normalización Técnica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y sus Empresas Productivas Subsidiarias (EPS'S) (SCNTCFE). La propuesta de revisión fue preparada por la **Dirección de Transmisión**.

Revisaron y aprobaron la presente **especificación** las áreas siguientes:

**COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN**

**GERENCIA DE ABASTECIMIENTOS**

**GERENCIA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**

**GERENCIA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**GERENCIA DE LAPEM**

La presente **especificación** entra en vigor a partir de la fecha abajo indicada y será actualizada y revisada tomando como base las observaciones que se deriven de la aplicación de la misma. Dichas observaciones deben enviarse a la **Gerencia del LAPEM**, cuyo Departamento de Normalización y Metrología coordinará la revisión.

Esta **especificación** revisa y sustituye a la edición de abril de 2012, y a todos los documentos normalizados de CFE relacionados con estudios geotécnicos para estructuras de líneas de transmisión aéreas que se hayan publicado.

**ESTE DOCUMENTO FUE AUTORIZADO POR EL "SUBCOMITÉ DE NORMALIZACIÓN TÉCNICA DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y SUS EMPRESAS PRODUCTIVAS SUBSIDIARIAS (SCNTCFE)", EN LA SESIÓN ORDINARIA 3/2019, CELEBRADA EL 10 DE ABRIL DE 2019.**

Esta Especificación entra en vigor a partir de: 190612

010720	Rev	051028	120430	190412							
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--	--

**C O N T E N I D O**

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CAMPO DE APLICACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>NORMAS QUE APLICAN</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>DEFINICIONES</b>	<b>2</b>
<b>4.1</b>	<b>Cohesión Aparente</b>	<b>2</b>
<b>4.2</b>	<b>Estructura de Suspensión</b>	<b>2</b>
<b>4.3</b>	<b>Estructuras de Tensión 2</b>	<b>2</b>
<b>4.4</b>	<b>Suelo Tipo I</b>	<b>2</b>
<b>4.5</b>	<b>Suelo Tipo II</b>	<b>2</b>
<b>4.6</b>	<b>Suelo Tipo IIA</b>	<b>2</b>
<b>4.7</b>	<b>Suelo Tipo III</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES GENERALES</b>	<b>3</b>
<b>5.1</b>	<b>Información Preliminar</b>	<b>3</b>
<b>5.2</b>	<b>Trabajos Mínimos de Campo y Laboratorio</b>	<b>3</b>
<b>5.3</b>	<b>Trabajos Adicionales</b>	<b>9</b>
<b>5.4</b>	<b>Informe Geotécnico</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>CONDICIONES DE DESARROLLO SUSTENTABLE</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>12</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>12</b>
	<b>APÉNDICE A (Informativo)</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 1</b>	<b>Penetrómetros para diferentes tipos de suelos</b>	<b>4</b>
<b>TABLA 2</b>	<b>Profundidad de exploración</b>	<b>5</b>
<b>TABLA 3</b>	<b>Criterio para definir potencial de expansión adaptado de (Reese y O'Neill, 1988)</b>	<b>8</b>

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

**1 OBJETIVO**

Establece los lineamientos técnicos y de calidad mínimos que se deben cumplir en la ejecución de estudios geotécnicos para estructuras de líneas de transmisión que adquiere la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

**2 CAMPO DE APLICACIÓN**

Aplica en el diseño y construcción de cimentaciones para estructuras de líneas de transmisión.

**3 NORMAS QUE SE APLICAN**

<b>NOM-008-SCFI-2002</b>	Sistema General de Unidades de Medida.
<b>NOM-059-SEMARNAT-2010</b>	Protección Ambiental- Especies. Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres, Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, Exclusión o Cambio - Lista de Especies en Riesgo.
<b>NMX-C-430-ONNCCE-2002</b>	Industria de la Construcción-Geotécnia-Cimentaciones-Sondeos de Pozo a Cielo Abierto.
<b>NMX-C- 431-0NNCCE-2002</b>	Industria de la construcción-Geotécnia-Cimentaciones-Toma de Muestra Alterada e Inalterada-Métodos de Prueba..
<b>ISO/TS 14688-1-2017</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Identification and Classification of Soil. Part 1; Identification and Description.
<b>ISO/TS 14688-2-2004</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Identification and Classification of Soil part 2; Principles and Classification.
<b>ISO/TS 14689-1-2003</b>	Geotechnical investigation and Testing. Identification and Classification of Rock. Part 1: Identification and Description.
<b>ISO/TS 17892-5-2017</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Laboratory Testing of Soil. Part 5: Incremental Loading Oedometer Test.
<b>ISO/TS 17892-4-2016</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Laboratory Testing of Soil. Part 4: Determination of Particle size Distribution.
<b>ISO/TS 17892-7-2017</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Laboratory Testing of Soil. Part 7: Unconfined Compression Test on Fine-Grained Soils.
<b>ISO/TS 17892-8-2018</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Laboratory Testing of Soil. Part 8: Unconsolidated Undrained Triaxial Test.
<b>ISO/TS 17892-9-2018</b>	Geotechnical Investigation and Testing. Laboratory Testing of Soil.Part 9: Consolidated Triaxial Compression Test on Water-SaturatedSoils.
<b>CFE 10000-63-2015</b>	Estudio Geológico para la Ubicación de una Línea de Transmisión.

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

**CFE C000042-2014**

Sistema de Anclaje en Roca y/o Suelo para Estructuras de Líneas de Transmisión y Subestaciones.

**NOTA:** En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados deben tomarse en cuenta la edición en vigor en la fecha de la convocatoria del concurso, salvo que la CFE indique otra cosa.

#### **4 DEFINICIONES**

##### **4.1 Cohesión Aparente**

Parámetro de resistencia definido como la ordenada al origen de la envolvente de falla de Mohr-Coulomb obtenida de pruebas triaxiales.

##### **4.2 Estructura de Suspensión**

Es la que se diseña para soportar las cargas debidas al peso de cables, herrajes, aisladores, accesorios y la acción del viento.

##### **4.3 Estructuras de Tensión**

###### **4.3.1 Estructura de Deflexión**

En una línea de transmisión es la que se diseña para resistir, además de las cargas arriba mencionadas, los esfuerzos producidos durante la construcción y el montaje, eventual rotura de cables y cambios de dirección en la trayectoria de la línea.

###### **4.3.2 Estructura de Remate**

Es la que está sujeta a cargas permanentes horizontales debidas a la tensión mecánica desbalanceada de los cables, adicional a las accidentales arriba mencionadas.

###### **4.3.3 Estructura de Transposición**

Es la que está sujeta a cargas permanentes verticales y horizontales, cuya función es cambiar de posición los cables conductores de la línea de transmisión.

###### **4.3.4 Estructura de Transición**

Es aquella que está sujeta a cargas permanentes verticales y horizontales que permite cambiar la línea de transmisión de aérea a subterránea.

##### **4.4 Suelo Tipo I**

Suelo que por sus características de dureza puede ser excavado con pala de mano o herramienta similar.

##### **4.5 Suelo Tipo II**

Suelo que por sus características de dureza requiere para su excavación la utilización de pico y pala.

##### **4.6 Suelo Tipo IIA**

Suelo que contenga boleos o que por sus características de dureza requiera para su excavación la utilización de barretas y/o rompedoras.

010720	Rev	051028	120430	190412							
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--	--

**4.7 Suelo Tipo III**

Material que para su excavación requiera la utilización de explosivos.

**5 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES GENERALES**

**5.1 Información Preliminar**

Es responsabilidad del contratista presentar a CFE información sobre aspectos geotécnicos, geológicos, hidrológicos, climatológicos, sísmicos y topográficos del sitio en estudio.

**5.2 Trabajos Mínimos de Campo y Laboratorio**

**5.2.1 Trabajos de campo**

**5.2.1.1 Estudios de especies en riesgo e identificación de vestigios arqueológicos.**

Realizar un estudio de la flora y fauna existente, enfocadoprincipalmente a la identificación de especies en riesgo de acuerdo con listado de la norma NOM-059-SEMARNAT.

En caso de ubicarse los sitios de muestreo geotécnico dentro de un área natural protegida, notificar a las autoridades ambientales (Dirección de Áreas Naturales Protegidas o la Delegación de la SEMARNAT) a fin de que estas indiquen lo procedente en relación a los permisos o autorizaciones correspondientes, previo a que inicien estas actividades.

Si en el momento de la excavación, se encuentran vestigios arqueológicos, se deben detener los trabajos e informar al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) para que indique lo procedente.

**5.2.1.2 Identificación de suelos**

Para definir los tipos de materiales por excavar (Tipo I, II, IIA y III) se deben hacer sondeos con posteadora mecánica manual o equipo portátil motorizado equipado con barrenas helicoidales, en función de la dureza del suelo, a 1 km como máximo en las zonas planas y a cada 0,5 km como máximo en zonas de lomeríos y/o montañas. Si ya se tienen definidos los sitios de las estructuras, los sondeos antes referidos se ejecutan en estos sitios.

**5.2.1.3 Torres autoportadas y con retenidas**

- a) Cuando se indique en las **Características Particulares** y/o términos de Referencia del Proyecto deben excavar pozos a cielo abierto en todos y cada uno de los puntos de inflexión de la línea y en los sitios de las estructuras de tensión, transposición y transición conforme a las normas ISO/TS 14688-1, ISO/TS 14688-2, ISO/TS 14689-1, NMX-C-430-0NNCCE y NMX-C-431-0NNCCE.
  - En tangentes se deben excavar pozos a cada 5 km o antes si existe un cambio en el tipo de suelo o en la topografía.
  - Los pozos se deben excavar con pico y pala o medios mecánicos a una profundidad mínima de 3 m o la limitada por el nivel freático o suelo tipo IIA. En cada uno de los pozos se hace una inspección visual y se obtienen muestras representativas de cada estrato identificado. En los pozos representativos del tramo en cuestión se deben obtener además, muestras cúbicas inalteradas retirando previamente la capa de suelo alterado producto de la excavación, para su caracterización y pruebas de laboratorio (índices y mecánicas).

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

- Las dimensiones de los pozos deben ser las mínimas necesarias para que una persona pueda introducirse en ellos para la inspección de sus paredes y obtención de muestras alteradas y/o inalteradas.
- b) En las zonas montañosas identificar los sitios a lo largo de la trayectoria donde aflore roca mediante el estudio geológico de acuerdo con la especificación CFE 10000-63.
- c) En zonas bajas, inundables y en cruces de ríos, donde se identifiquen suelos compresibles, deben realizarse las exploraciones y el muestreo necesario para establecer la estratigrafía, las propiedades índices y mecánicas del subsuelo con las que se defina el modelo estratigráfico del sitio para realizar el análisis y diseño geotécnico de la cimentación.
- d) Realizar sondeos continuos con alguno de los equipos indicados en la tabla 1, obteniendo muestras inalteradas en un barreno paralelo de los estratos representativos utilizando tubos muestreadores de pared delgada (Shelby) para suelos blandos y muestreadores tipo "Denison" "Pitcher", barril doble o triple giratorio o similar para materiales de mayor resistencia, en cada punto de inflexión y en tangentes, a una distancia máxima de 5 km. No se permiten sondeos donde en un mismo barreno se obtengan muestras alteradas e inalteradas, para lo anterior se deben realizar barrenos independientes.

La exploración debe efectuarse con uno o más equipos indicados en la tabla 1.

**TABLA 1 - Penetrómetros para diferentes tipos de suelos**

Tipo de penetrómetro	Aplicación al suelo	
	Acceptable	Inacceptable
Cono holandés de 3.6 cm de diámetro y 60° de ángulo de ataque (CPT)	Arena Limo Arcilla	Grava
Cono holandés eléctrico de 3.6 cm de diámetro y 60° de ángulo de ataque (CPT)	Arena Limo Arcilla	Grava
Penetrómetro estandar de 5.1 cm de diámetro exterior y 3.6 cm de diámetro interior (SPT)	Grava (con tamaño máximo de hasta 9.5 mm) Arena Limo Arcilla	Grava mayor que 9.5 mm, boleos y fragmentos de roca

Tipo de penetrómetro	Aplicación al suelo	
	Aceptable	Inaceptable
Cono simple hincado a percusión (cono dinámico)	Grava Arena	Arcillas blandas
Piezocono de 3.6 cm (U1 o U2) y 60° de ápice	Arena Arcilla dura, media y blanda	Gravas y boleos
Dilatómetro de Marchetti	Arena Limo o arcilla	Gravas y boleos

**TABLA 2 – Profundidad de exploración**

Cimentación propuesta	Profundidad de exploración mínima
Superficial (zapatas y losas)	$D_f + 2B$ para suelos granulares
	$D_f + 3B$ para suelos finos
Profundas (Pilas y pilotes)	$D_{fp} + 4B$

**Donde:**

$D_f$  = Profundidad de desplante

$D_{fp}$  = Profundidad de la punta de la pila o pilote

$B$  = Ancho o diámetro de la cimentación

- e) La profundidad mínima de los sondeos para pilas debe ser la indicada en la tabla 2, pero no menor que 12 m, en caso de requerirse una mayor profundidad por baja capacidad de carga del suelo, el Contratista debe realizarlos.
- f) Cuando se utilicen pilotes deben realizarse sondeos de acuerdo a la tabla 1, pero no menores a 20 m de profundidad en cada punto de inflexión y en tangentes a una distancia máxima de 0.250 km.
- g) En las zonas donde aflore roca o se encuentre a menos de 2 m de profundidad, se deben obtener muestras inalteradas utilizando el equipo adecuado y se deben realizar pruebas de extracción de anclas conforme a la especificación CFE C0000-42 y referencia [10] de esta especificación, en cada tipo de roca definido en la zonificación geotécnica o en el 30 % del total de las estructuras de la línea de transmisión que se desplantarán sobre roca; se aplica la que resulte el mayor número de pruebas.

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

La longitud efectiva mínima de las anclas de fricción en las cimentaciones no debe ser menor de 3 m y de 2.54 cm de diámetro de la varilla corrugada con fy mínimo de 412 kPa.

- h) Cuando se realicen pruebas de laboratorio con muestras inalteradas, el contratista debe realizar pruebas de campo a no menos de 12 m de profundidad en los puntos de inflexión y a 5 km de separación entre sondeos en tangentes de la línea de transmisión, para determinar las propiedades mecánicas de los suelos tanto de resistencia como de deformabilidad, utilizando veleta, dilatómetro, presiometro, piezocono eléctrico y prueba de placa horizontal y vertical.
- i) Cuando la distancia entre puntos de inflexión sea menor de 150 m, se debe realizar sondeos continuos intercalados (si se realiza exploración en el primer punto de inflexión, el siguiente se puede omitir y en el tercer punto de inflexión realizar los sondeos).
- j) Para determinar el grado de corrosividad del suelo en contacto con las cimentaciones, realizar el estudio de corrosividad, en 6 sitios a lo largo de la trayectoria, conforme al procedimiento incluido en el APENDICE B de la especificación CFE C0000-15.

**5.2.1.4 Postes troncocónicos**

- a) Para el caso de postes deben realizarse sondeos continuos con alguno de los equipos indicados en la tabla 1, obteniendo muestras inalteradas de los estratos representativos utilizando tubos muestreadores de pared delgada (Shelby) para suelos blandos y muestreadores tipo "Denison" "Pitcher", barril doble giratorio o similar para materiales de mayor resistencia, en cada punto de inflexión y en tangentes, a una distancia máxima de 1 km.

La profundidad mínima de los sondeos para pilas debe ser la indicada en la tabla 2, pero no menor que 15 m, en caso de requerirse una mayor profundidad por baja capacidad de carga del suelo, el Contratista debe realizarlos.

Cuando se utilicen pilotes deben realizarse sondeos de acuerdo a la tabla 1, pero no menores a 30m de profundidad.

- b) En zonas bajas, inundables y en cruces de ríos, donde se identifiquen suelos compresibles, deben realizarse las exploraciones y el muestreo necesario para establecer la estratigrafía, las propiedades índices y mecánicas del subsuelo con las que se defina el modelo estratigráfico del sitio para realizar el análisis y diseño geotécnico de la cimentación
- c) En las zonas donde aflore roca o se encuentre a menos de 2 m de profundidad, se deben obtener muestras inalteradas utilizando el equipo adecuado y se deben realizar pruebas de extracción de anclas conforme a la especificación CFE C0000-42 y referencia [10] de esta especificación, en cada tipo de roca definido en la zonificación geotécnica o en el 50 % del total de las estructuras de la línea de transmisión que se desplantarán sobre roca; se aplica la que resulte el mayor número de pruebas.

La longitud efectiva mínima de las anclas de fricción en las cimentaciones no debe ser menor de 3 m y de 2.54 cm de diámetro de la varilla corrugada con fy mínimo de 412 kPa.

- d) Cuando no se realicen pruebas de laboratorio con muestras inalteradas, el contratista debe realizar pruebas de campo a no menos de 15 m de profundidad en los puntos de inflexión y a 1km de separación entre sondeos en tangentes de la línea de transmisión, para determinar las propiedades mecánicas de los suelos tanto de resistencia como de deformabilidad, utilizando veleta, dilatómetro, presiometro, piezocono eléctrico y prueba de placa horizontal y vertical.

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

- e) Cuando la distancia entre puntos de inflexión sea menor de 50 m, se debe realizar sondeos continuos intercalados (si se realiza exploración en el primer punto de inflexión, el siguiente se puede omitir y en el tercer punto de inflexión realizar los sondeos).
- f) Para determinar el grado de corrosividad del suelo en contacto con las cimentaciones, realizar el estudio de corrosividad, en 6 sitios a lo largo de la trayectoria, conforme al procedimiento incluido en el APENDICE B de la especificación CFE C0000-15.

**5.2.2 Trabajos de Laboratorio**

- a) Todas las muestras obtenidas deben identificarse y clasificarse en laboratorio de acuerdo a la referencia [9] y se les determina su contenido de agua conforme a la referencia [1], así como su peso volumétrico natural de acuerdo a la referencia [9] del capítulo 10 de la presente especificación.
- b) Además, para el caso en que aplique, a las muestras representativas del subsuelo se les deben determinar las siguientes propiedades:
  - límite líquido y límite plástico conforme a la referencia [5] del capítulo 10 de la presente especificación,
  - peso específico relativo de sólidos conforme a normas ISO/TS 14688 e ISO/TS 14688-2 o de acuerdo a la referencia [2] del capítulo 10 de esta especificación,
  - porcentaje de finos, análisis granulométrico conforme a las referencias [3] y [4] de acuerdo al capítulo 10 de la presente especificación,
  - en suelos granulares su compacidad relativa,
  - relación de vacíos.
- c) En especímenes obtenidos de muestras inalteradas se les deben realizar pruebas de compresión simple, triaxiales tipo UU (en suelos con cohesión suficiente que permita labrar las probetas), triaxiales CU (en suelos arenosos reconstituidos con la relación de vacíos de campo y en suelos con cohesión suficiente que permita labrar las probetas) y de consolidación de acuerdo con las normas ISO/TS 17892-5, ISO/TS 17892-4, ISO/TS 17892-7, ISO/TS 17892-8 e ISO/TS 17892-9, en un número tal que permita caracterizar las propiedades de resistencia y deformabilidad del subsuelo a las profundidades de interés, utilizando los esfuerzos de campo para la programación de los esfuerzos de confinamiento en las pruebas triaxiales. Como mínimo se debe tener un juego de pruebas mecánicas (compresión simple, triaxiales y consolidación cuando aplique) para cada tramo en que sea subdividida la línea, o por cada cimentación tipo.
  - no se aceptan pruebas triaxiales UU y de consolidación con muestras remoldeadas, reconstruidas y/o alteradas.
- d) Los suelos con potencial de licuación se deben identificar y evaluar conforme a la referencia [6] y [13] del capítulo 10 de la presente especificación.
- e) Cuando el peso volumétrico seco natural de una muestra de suelo sea menor a 12,0kN/m<sup>3</sup>, se considerará como suelo colapsable por lo que se deberán evaluar conforme a la referencia [7] del capítulo 10 de la presente especificación y se deberán dar las recomendaciones para el mejoramiento del estrato y para el diseño de la cimentación.
- f) Para definir la presencia de suelos cohesivos expansivos, se hará de acuerdo al criterio de Reese y O'Neill cuando la clasificación de potencial de expansión sea marginal o elevada, considerando

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

únicamente los límites de consistencia en dicho criterio. En el caso de presentarse suelos con potencial de expansión marginal o elevada, se deberán realizar las pruebas para determinar la presión de expansión y la expansión libre conforme a la referencia [14]. Asimismo, se deberán de dar las recomendaciones para el mejoramiento del terreno y para el diseño de la cimentación.

**TABLA 3 - Criterio para definir potencial de expansión adaptado de (Reese y O'Neill, 1988)**

Límite líquido (%)	Índice de plasticidad	Expansión potencial (%)	Clasificación de expansión potencial
>60	>35	>1,5	Alta
50 a 60	25 a 35	0,5 a 1,5	Marginal
<50	<25	<0,5	Baja

- g) A los núcleos de roca se les debe determinar como mínimo: clasificación litológica, porcentaje de recuperación, índice de calidad de la roca, esfuerzo cortante y capacidad de carga conforme a la referencia [9].

### 5.2.3 Trabajos de gabinete

- a) Con base en los trabajos de campo y laboratorio, se deben elaborar los perfiles estratigráficos del subsuelo en escala 1:100. En ellos se dibujan los resultados de los sondeos efectuados de acuerdo al Apéndice A de la presente especificación.
- b) Realizar el modelo estratigráfico por zona geotécnica definida
- c) Se debe incluir en el estudio de mecánica de suelos la relación del esfuerzo horizontal y el esfuerzo vertical ( $K_0$ ) por estrato. El valor  $K_0$  debe ser determinado con base en lo siguiente:
- Por medio de la ecuación  $K_0=1-\text{sen}\phi$ , para cimentaciones únicamente en suelos friccionantes
    - En sitio mediante pruebas directas de campo, con presurímetro o con dilatómetro.
    - únicamente para pilotes hincados sin perforación previa en suelos friccionantes se debe recurrir a la ecuación  $K = \frac{1+\text{sen}^2\phi}{1-\text{sen}^2\phi}$ .
- d) Se analizan las alternativas de cimentación más convenientes en función de las estructuras a utilizar en el proyecto, definiendo la profundidad de desplante y los siguientes aspectos:
- Cohesión aparente, ángulo de fricción interna por estrato y peso volumétrico del suelo "in situ".
  - Capacidad de carga de la cimentación superficial de acuerdo a la referencia [8] del capítulo 10 de la presente especificación.
  - Capacidad de carga de tensión de anclas, de forma individual y grupal conforme a la especificación CFE C0000-42.
  - Capacidad de carga vertical y lateral de pilas y pilotes.
  - Estimación de los módulos de rigidez horizontal y vertical, en el caso de pilas y pilotes, a través de métodos numéricos o expresiones analíticas que consideren el sistema pilote-suelo o pila-suelo.

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

- Cálculo de asentamientos totales y diferenciales, en caso de suelos cohesivos finos.
  - Estabilidad de cortes y laderas naturales, profundidad de desplante considerando socavación, cuando las estructuras se ubiquen en cauces de ríos y arroyos o dentro de llanuras de inundación.
  - La capacidad de carga por compresión en cimentaciones superficiales debe ser considerando el estrato de suelo puramente friccionante o puramente cohesivo.
  - La capacidad de carga de tensión en forma grupal debe considerar la capacidad del cono de arrancamiento o la capacidad de cortante del cono de falla pero no ambos en conjunto, para las cimentaciones sometidas a tensión.
- e) Deben presentarse los procedimientos constructivos indicando los más convenientes.
- f) Para el caso de zonas inundables se debe determinar el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME).
- g) Para el caso de estructuras localizadas próximas a escurrimientos permanentes o intermitentes, arroyos, ríos, y/o algún otro cuerpo de agua con transporte de sedimentos. Es responsabilidad del contratista el determinar el grado de arrastre de los sedimentos, socavación, proponer y construir protecciones a dichas estructuras y entregar a CFE los documentos necesarios para su supervisión.

### **5.3 Trabajos Adicionales**

El contratista tiene la responsabilidad de evaluar si se requieren trabajos y/o estudios adicionales, a los aquí indicados y realizarlos.

El contratista debe permitir el acceso a los sitios donde se estén realizando los sondeos y a los laboratorios, así como dar las facilidades necesarias al personal que CFE autorice para la inspección de los trabajos geotécnicos.

### **5.4 Informe Geotécnico**

Una vez realizados los trabajos de campo, las pruebas de laboratorio y los análisis necesarios, el contratista debe preparar un informe por duplicado en forma impresa del estudio realizado y entregarlo a la CFE para su revisión, así como en disco compacto (CD-ROM) en formato ".docx".

El informe debe contener lo siguiente:

- a) Índice.
- b) Lista de tablas, figuras y fotografías digitalizadas.
- c) Introducción, objetivo y alcance del estudio, fechas de inicio y terminación de trabajos de campo y otros antecedentes de interés.
- d) Datos del sitio y del proyecto donde se describa:
  - Ubicación de la línea, longitud, tensión de operación y tipo de estructuras del proyecto.
  - Geología general, de acuerdo con la guía CFE 10000-63, así como la sismicidad de la zona.
  - Características topográficas.
  - Riesgos por cruces de ríos y arroyos, laderas inestables, entre otros.

010720	Rev	051028	120430	190412							
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--	--

- e) Trabajos realizados de campo y laboratorio.
- f) Geología superficial a lo largo de la trayectoria de la línea, incluyendo rasgos significativos, susceptibilidad de los depósitos de suelo a la licuación, presencia de suelos colapsables, suelos expansivos, problemas de inestabilidad de taludes y de socavación.
- g) Estratigrafía a lo largo de la trayectoria de la línea, con zonificación geotécnica para definición de cimentaciones tipo.
- h) Presentar el modelo estratigráfico por zona geotécnica definida.
- i) Análisis de cimentaciones (tipo, capacidad de carga, profundidad de desplante, estabilidad de laderas, volteo, arrancamiento, deslizamiento y asentamientos).
- j) Recomendaciones de diseño:
- Tipo de cimentaciones a utilizar a lo largo de la línea en función de la zonificación geotécnica realizada (definiendo claramente zonas donde las cimentaciones se desplantarán sobre roca o suelo). Señalar si existen o no problemas de estabilidad de taludes y como resolverlos,
  - Profundidades de desplante en función de la zonificación geotécnica y de los riesgos de socavación de arroyos y ríos, capacidades de carga para el caso de cimentaciones profundas (pilas y pilotes) e indicar la capacidad de carga lateral,
  - Cálculo de asentamientos totales y diferenciales (en caso de suelos compresibles).
  - Profundidad del nivel de aguas freáticas y sitios donde sea posible que existan tirantes de agua durante la construcción. Debe indicarse también la longitud libre de los dados de cimentación para proteger las estructuras por inundaciones.
  - Profundidades de socavación calculadas para el caso de estructuras que tengan que ubicarse en cauces de ríos o arroyos, y recomendaciones de protección para las estructuras que se ubiquen en estas condiciones.
  - Pesos volumétricos naturales de cada estrato; así como pesos volumétricos secos, húmedos y sumergidos mínimos de los materiales de relleno de las cepas de la cimentación construida.
  - Definiciones de zonas donde se requieran tratamientos especiales para evitar fallas por inestabilidad de las laderas naturales ante falla por cortante o por erosión.
- k) Determinación de los módulos de reacción horizontal y vertical del suelo de cada estrato identificado.
- l) Determinación del coeficiente de reposo ( $K_0$ ), Módulos de elasticidad (E) y relación de poisson ( $\nu$ ) del suelo identificado.
- m) Para el caso de estratos de arena, deben calcular la compacidad relativa.
- n) Los registros de campo e interpretación de las pruebas realizadas con veleta, dilatómetro, presiometro, piezocono eléctrico y prueba de placa horizontal y vertical.
- o) Procedimientos constructivos para:
- Excavaciones.

010720	Rev	051028	120430	190412							
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--	--

- Estabilidad de taludes de la excavación.
  - Protección de la excavación.
  - Para el abatimiento del nivel de aguas freáticas.
  - Para la construcción de la cimentación.
  - Procedimientos constructivos de las cimentaciones.
- p)** Tipos de material a excavar que se encuentra a lo largo de la trayectoria de la línea de transmisión (definiendo porcentajes de materiales tipo I, II, IIA y III).
- q)** Material que se utilizará para rellenos de cepas y los procedimientos con que se deben colocar y compactar (en primera instancia se debe usar el material producto de las excavaciones mejorándolo si es necesario). Sólo en casos extremos de materiales de muy mala calidad (orgánicos o que no cumplan con las características recomendadas para el diseño, como por ejemplo en suelos de bajo peso volumétrico, plásticos), se manejarán materiales de bancos.
- r)** Control de calidad de los rellenos pesos volumétricos a alcanzar (secos y húmedos) calas volumétricas y pruebas de compactación.
- s)** Drenaje superficial y obras estabilizadoras en laderas que lo requieran.
- t)** Cimentaciones especiales y protecciones en zonas de cruces de ríos.
- u)** Control de calidad de construcción de anclajes (cuando se requieran).
- v)** Plano de trayectoria de la línea de transmisión.
- w)** Plano de ubicación de sondeos.
- x)** Plano geológico superficial del trazo de la línea de transmisión y zonificación geotécnica.
- y)** Tablas y gráficas de resultados de pruebas de campo y laboratorio.
- z)** Perfiles stratigráficos.
- aa)** Anexo con los registros de laboratorio.
- bb)** Referencias y bibliografía de consulta para este estudio.
- cc)** Tipo de cemento a utilizar en función del PH del suelo.
- dd)** Apartado que contenga los registros de campo.

CFE se reserva el derecho de solicitar información técnica adicional a la solicitada en los puntos del informe geotécnico.

010720	Rev	051028	120430	190412							
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--	--

**6 CONDICIONES DE OPERACIÓN**

**NO APLICA**

**7 CONDICIONES DE DESARROLLO SUSTENTABLE**

Es política de CFE, la protección al ambiente, por lo que en todas las actividades que desarrolla, evita o reduce, en la medida de lo posible, los impactos que de ella resulten, encaminadas a evitar y minimizar los aspectos negativos al ambiente, que puedan causar sus instalaciones, por lo que todas las actividades que generen residuos peligrosos, no peligrosos y aguas residuales, debe cumplir con la normativa ambiental vigente. Si derivado de las actividades que se desarrollen por la aplicación de esta especificación, se genera alguna contingencia o incumplimiento ambiental, el contratista lo subsanará.

**8 CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**NO APLICA**

**9 CONTROL DE CALIDAD**

El contratista debe proporcionar a CFE el programa de actividades geotécnicas a realizar con el objeto de dar seguimiento a los trabajos y es responsable de la calidad final del estudio geotécnico y debe proporcionar todas las facilidades necesarias para que el personal de la CFE supervise periódicamente las actividades o pruebas que juzgue convenientes.

**10 BIBLIOGRAFÍA**

<b>[1]</b>	<b>ASTM D2216-2010</b>	Standard Test Method for Laboratory Determination of Water Moisture Content of Soil and Rock by Mass.
<b>[2]</b>	<b>ASTM D854 - 2014</b>	Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
<b>[3]</b>	<b>ASTM D421 - 85(2007)</b>	Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.
<b>[4]</b>	<b>ASTM D 422-63(2007)</b>	Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
<b>[5]</b>	<b>ASTM D 4318-2017</b>	Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
<b>[6]</b>	<b>ASTM D 6066-2011</b>	Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential.
<b>[7]</b>	<b>ASTM D 5333-92(1996)</b>	Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils.
<b>[8]</b>	<b>IEEE – 691-2001</b>	Guide for Transmission Structure Foundation Design and Testing.
<b>[9]</b>	<b>MOC</b>	Manual de Diseño de Obras Civiles.

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

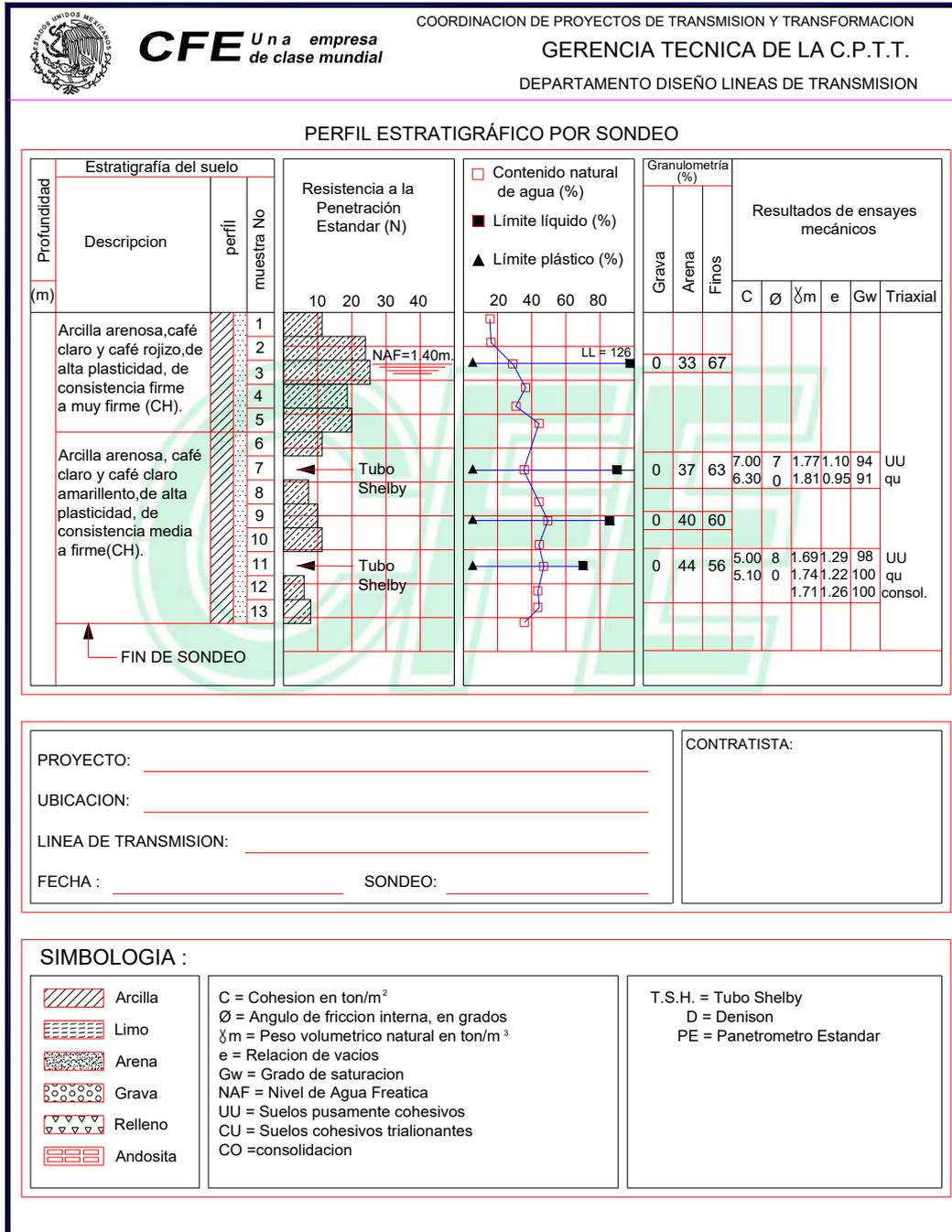
<b>[10]</b>	<b>ASTM D 4435-13e1</b>	Standard Test Method for Rock Bolt Anchor Pull Test.
<b>[11]</b>	<b>ASTM D 1586-2018</b>	Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.
<b>[12]</b>	<b>ASTM D 1587-2015</b>	Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes.
<b>[13]</b>	<b>YOUDE, T.L. AND IDRIS, I.M. (2001)</b>	Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1988 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering; 297:313.
<b>[14]</b>	<b>ASTM D 4546-2014e1</b>	Standard Test Method for One-Dimensional Swell or collapse of Soils
<b>[15]</b>	<b>ASTM D 2850-15</b>	Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils
<b>[16]</b>	<b>ASTM D 4767-11</b>	Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils



010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--

APÉNDICE A (Informativo)

ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS





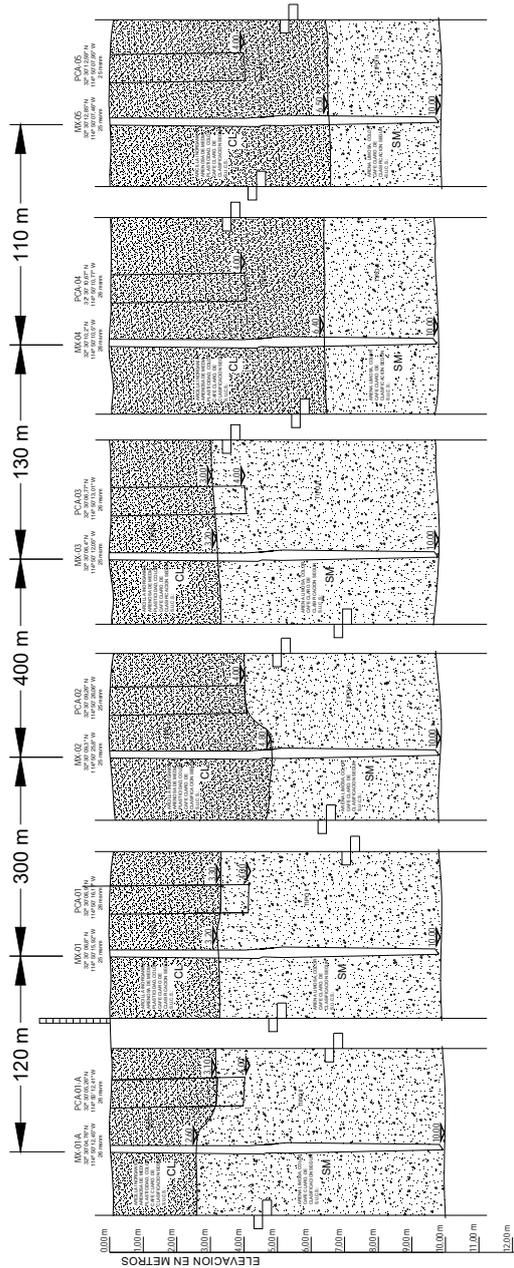
**CFE** *Una empresa de clase mundial*

COORDINACION DE PROYECTOS DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION

GERENCIA TECNICA DE LA C.P.T.T.

DEPARTAMENTO DISEÑO LINEAS DE TRANSMISION

PERFIL ESTRATIGRÁFICO POR LÍNEA DE TRANSMISIÓN



CONTRATISTA:

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACION: \_\_\_\_\_  
 LINEA DE TRANSMISION: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_ SONDEOS: \_\_\_\_\_

T.S.H. = Tubo Shelby  
 D = Denison  
 PE = Panetrometro Estandar

C = Cohesion en ton/m<sup>2</sup>  
 Ø = Angulo de friccion interna, en grados  
 γm = Peso volumetrico natural en ton/m<sup>3</sup>  
 e = Relacion de vacios  
 Gw = Grado de saturacion  
 NAF = Nivel de Agua Freatica  
 UU = Suelos pusamente cohesivos  
 CU = Suelos cohesivos friccionantes  
 CO =consolidacion

**SIMBOLOGIA :**

	Arcilla		SM ARENA LIMOSA, COLOR CAFE CLARO
	Limo		CL ARCILLA INORGANICA ARENOSA DE MEDIA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO
	Arena		
	Grava		
	Relleno		
	Andosita		

010720	Rev	051028	120430	190412						
--------	-----	--------	--------	--------	--	--	--	--	--	--