

CRITERIOS BÁSICOS PARA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DE CARRETERAS

**SECRETARIA DE ESTADO
DE OBRAS PUBLICAS
Y COMUNICACIONES**





REPÚBLICA DOMINICANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES

PRESENTACIÓN

Estos *Criterios Básicos para Estudios Geotécnicos de Carreteras* establecen los requisitos mínimos para la realización de estudios geotécnicos de carreteras, autopistas y caminos vecinales.

Dichos criterios podrán ser aplicados tanto en el desarrollo de proyectos de nuevas vías de comunicación como en la realización de trabajos de reconstrucción y rehabilitación de vías existentes. Con ellos se establecen además, los procedimientos, métodos de prospección, sondeos y ensayos para obtener los parámetros del suelo requeridos para estudiar y analizar las vías, los materiales de fundaciones, de muros y estructuras de contención, los cortes y taludes, los pasos a desnivel, puentes y alcantarillados, así como también, las fuentes de materiales que se emplean en la construcción de las referidas vías de comunicación.

Estos requisitos deberán ser utilizados tanto en el desarrollo de proyectos a cargo de esta Secretaría de Estado como de cualquier otra dependencia oficial, así como también, en la preparación de proyectos desarrollados por firmas privadas, en virtud de contratos suscritos con instituciones oficiales.

Esta publicación, junto con el *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras* constituyen, sin lugar a dudas, un esfuerzo serio de esta institución de organizar debidamente y reglamentar a la altura de los tiempos modernos el desarrollo y ejecución de proyectos de obras viales en la República Dominicana.

DIRECCIÓN GENERAL DE REGLAMENTOS Y SISTEMAS

ÍNDICE

	PAG.
1. ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo.....	1
1.2 Campo de Aplicación.....	1
1.3 Generalidades.....	1
1.4 Documentos de Consultas.....	2
2. DEFINICIONES	
2.1 SEOPC.....	3
2.2 AASHTO.....	3
2.3 Construcción de Vías.....	3
2.4 Reconstrucción de Vías.....	3
2.5 Rehabilitación de Vías.....	3
2.6 Ingeniero.....	4
3. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES	
3.1 Objetivo.....	5
3.2 Estudio Geotécnico Preliminar y Trazado.....	5
3.3 Estudio Geológico de Superficie.....	5
3.4 Estudios Geotécnicos.....	6
3.5 Trabajo de Laboratorio.....	7
3.6 Informe.....	8
4. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS VECINALES, CARRETERAS Y AUTOPISTAS	
4.1 Estudio Geotécnico para Caminos Vecinales	9
4.2 Estudio Geotécnico para Carreteras y Autopistas.....	11
5. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS	
5.1 Objetivo.....	16
5.2 Generalidades.....	16
5.3 Trabajo de Gabinete.....	16
5.4 Trabajo de Campo.....	16
5.5 Trabajo de Laboratorio.....	19
5.6 Informe.....	20
6. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE TALUDES EN CORTE MAYORES DE CINCO (5) METROS DE ALTURA	
6.1 Objetivo.....	21
6.2 Generalidades.....	21
6.3 Trabajo de Gabinete.....	23
6.4 Trabajo de Campo.....	23
6.5 Trabajo de Laboratorio.....	25
6.6 Informe.....	26

7.	ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE TÚNELES	
7.1	Objetivo.....	27
7.2	Generalidades.....	27
7.3	Estudio Geológico.....	27
7.4	Estudio Geotécnico.....	29
7.5	Galerías Exploratorias.....	30
7.6	Medición de Temperatura.....	30
7.7	Informe.....	31
8.	ESTUDIO GEOTÉCNICO DE FUNDACIONES	
8.1	Objetivo.....	32
8.2	Generalidades.....	32
8.3	Muros y Otras Estructuras de Contención.....	32
8.4	Pasos a Desnivel, Puentes y Alcantarillas.....	36

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo

Este volumen establece los requisitos mínimos para estudios geotécnicos de caminos vecinales, carreteras y autopistas.

Se aplicará tanto en proyectos nuevos como en reconstrucciones y rehabilitaciones. Además, regirá los procedimientos, métodos de prospección, sondeos, ensayos y otros que se usen para obtener los parámetros del suelo necesarios para estudiar lo siguiente:

- a) Vías
- b) Los materiales de fundación de muros o estructuras de contención, pasos a desnivel, puentes y alcantarillas.
- c) Cortes y taludes.
- d) Fuentes de materiales (préstamos) que se empleen en la construcción de las vías.

1.2 Campo de Aplicación

La aplicación de lo contenido en este volumen es obligatoria en todo el territorio nacional. Se aplicará a trabajos que se ejecuten para las entidades oficiales y organismos autónomos del Estado.

1.3 Generalidades

1.3.1 Informe

Todos los estudios geotécnicos deberán presentarse a la SEOPC mediante un informe. Los requerimientos del informe dependerán del tipo de trabajo que se quiera ejecutar. En cada capítulo de este volumen, se especifica el contenido del informe, según el caso.

En el informe se usarán formularios o esquemas que contengan los aspectos siguientes:

Formulario A

Presentación de los resultados de la exploración de campo.

Presentación de los ensayos de laboratorio correspondientes a perforaciones a máquina.

Formulario B

Presentación de los ensayos de Compactación.

Formulario C

Presentación gráfica y numérica de los resultados de Ensayo de Relación de Soporte California (CBR).

Formulario D

Planta del trazado horizontal esquemático por kilómetro de vía, conteniendo:

- Unidades geomorfológicas atravesadas.
- Ubicación de los préstamos con sus dimensiones.
- Distribución de materiales: indicando clasificación, compactación, relación de Soporte California (CBR).

Formulario E

Perfil longitudinal (vertical), esquemático del subsuelo, por kilómetro de vía, conteniendo:

- Propiedades características de cada capa: color, clasificación y nivel freático.
- Valores numéricos de la granulometría por tamices, los límites de consistencia, la humedad natural y la clasificación, así como de la densidad de campo, la compactación y el índice de relación de Soporte California (CBR).

1.3.2 Notaciones

Las notaciones a usarse en la presentación de los informes serán las utilizadas en las normas especificadas en el acápite 1.4.1. Cuando fuese necesario utilizar notaciones distintas, se deberá indicar el significado de las mismas.

1.4 Documentos de Consultas

1.4.1 Ensayos y Muestreo

Todo lo relativo a ensayos de laboratorio y campo, así como los métodos de obtención de muestras, se regirán por las normas AASHTO, Instituto del Asfalto (U.S.A), o cualquier norma aceptada por la SEOPC.

1.4.2 Consultas

Todo lo relacionado con la materia de este volumen, lo que no esté contemplado o lo que presente dudas en su información, deberá consultarse con la SEOPC.

La SEOPC podrá requerir, cuando lo considere necesario, estudios geotécnicos más exhaustivos que los especificados en este volumen, así como modificaciones a los mismos.

Cualquier modificación propuesta por el ingeniero deberá contar con la aprobación de la SEOPC.

2 DEFINICIONES

2.1 SEOPC

Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones.

2.2 AASHTO

American Association of State Highway and Transportations Officials.

2.3 Construcción de Vías

Se refiere a los trabajos que se ejecuten para la realización de proyectos nuevos de vías.

2.4 Reconstrucción de Vías

Se refiere a los trabajos que se ejecuten para la modificación de vías existentes. Estos trabajos pueden incluir:

- a) Cambios en el trazado horizontal.
- b) Cambios en la rasante.
- c) Cambios en la sección transversal.
- d) Mejoramiento de la superficie de rodadura.
- e) Mejoramiento y/o sustitución de terraplenes.
- f) Mejoramiento y/o modificación de drenajes.
- g) Mejoramiento o construcción de obras de arte, y
- h) Cualquier trabajo que se ejecute sobre la vía.

2.5 Rehabilitación de Vías

Se refiere a los trabajos que se ejecuten para el mejoramiento de vías existentes. Estos trabajos pueden incluir:

- a) Mejoramiento de la superficie de rodadura.
- b) Mejoramiento y/o sustitución de terraplenes.

- c) Mejoramiento y/o modificación de drenajes.
- d) Mejoramiento o construcción de obras de arte.

2.6 Ingeniero

Para los fines de este volumen, se refiere al ingeniero o técnico especializado que realiza el estudio geotécnico.

3 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES

3.1 Objetivo

Este capítulo establece el contenido mínimo requerido para los estudios geotécnicos preliminares de carreteras y autopistas cuando se trate de construcción, reconstrucción, o rehabilitación.

3.2 Estudio Geotécnico Preliminar y Trazado

Los estudios geotécnicos preliminares deberán hacerse después de establecida la franja de investigación, pero antes de fijar el trazado definitivo de las vías.

Los estudios geotécnicos preliminares deberán incluir un estudio geológico de superficie y un estudio geotécnico de la franja elegida. Deberán abarcar las posibles variantes del trazado.

3.3 Estudio Geológico de Superficie

El estudio geológico de superficie deberá incluir:

- a) Descripción visual de los diferentes tipos de rocas que afloren.
- b) El grado de meteorización de dichas rocas.
- c) Determinación de las diaclasas.
- d) Fallas y otros defectos de las rocas, los cuales pueden incidir en el trazado de la vía
- e) Descripción visual de los diferentes tipos de suelos y una estimación de la posible utilización de los mismos en la construcción.

3.3.1 Formaciones Geológicas

Los estudios geológicos deberán presentar las formaciones geológicas que atraviesen los posibles trazados de la vía.

3.3.2 Estudio Fotogeológico

Cuando los casos así lo requieran, deberá hacerse un estudio fotogeológico del sitio. Este estudio debe cubrir un área lo suficientemente amplia para poder decidir acerca de las alternativas del trazado de la vía. En casos especiales, podría hacerse uso de fotografías a color o emulsiones especiales que permitan detectar las unidades geomorfológicas principales y definir las estructuras geológicas de mayor importancia.

3.3.3 Datos Generales

Se deberán suministrar datos generales sobre hidrología, hidrografía y vegetación de las zonas que atraviesen los posibles trazados.

3.3.4 Trabajos de Gabinete

Los estudios geológicos deberán iniciarse con mapas geológicos y topográficos. En esta etapa deben estudiarse la geología, topografía y red hidrográfica de la región.

3.4 Estudios Geotécnicos

3.4.1 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo deberán cubrir una zona suficientemente amplia a ambos lados de los posibles trazados. El ancho de la zona de estudio deberá permitir identificar las unidades geomorfológicas de la zona, tales como:

- a) Cauces
- b) Conos de deyección
- c) Desprendimientos
- d) Laderas agrietadas
- e) Laderas deslizantes
- f) Pantanos
- g) Zonas inundables
- h) Nivel freático alto
- i) Materiales de construcción para la vía y otros.

3.4.1.1 Los Estudios Geotécnicos deberán:

- a) Identificar las áreas donde se realizaron cortes o rellenos.
- b) Identificar lugares en donde se puedan esperar problemas y, por tanto, se requerirá la ejecución de estudios especiales.
- c) Incluir toda la información necesaria para la elaboración del plan de trabajo a seguir en el estudio geotécnico del proyecto.

3.4.1.2 Exploraciones del Subsuelo

Las exploraciones del subsuelo podrán ser con taladros a mano, calicatas o perforaciones a máquina. De las exploraciones se obtendrán muestras para efectuar los ensayos de identificación.

Las exploraciones del subsuelo mediante perforaciones a máquina, deben ejecutarse en los sitios donde se identifiquen condiciones críticas que puedan influir en el trazado.

3.4.1.3 Exploración en Obras de Arte

Por cada obra de arte prevista, se ejecutará, como mínimo, una perforación a máquina. La profundidad de la misma dependerá del tipo y magnitud de la obra de arte. El complemento de la información podrá efectuarse por prospección sísmica y resistividad.

3.4.2 En Reconstrucción o Rehabilitación

En los casos de reconstrucción o rehabilitación, los estudios geotécnicos preliminares deberán suministrar todos los datos necesarios para la toma de decisiones sobre la necesidad, extensión e intensidad de los estudios que se deberán hacer en lugares especiales para lo siguiente:

- a) Modificación de la sección transversal de la vía.
- b) Modificación de taludes.
- c) Modificación de cortes.
- d) Modificación o construcción de estructuras de contención y obras de arte en general.
- e) Modificación o construcción de los drenajes.

Deberá usarse toda la información disponible sobre la antigua vía, tal como la siguiente:

- a) Los tipos de materiales usados en la construcción.
- b) Los métodos de trabajo y mantenimiento aplicados.
- c) Los problemas causados por el agua.
- d) El comportamiento en sentido general de la vía.

3.5 Trabajo de Laboratorio

3.5.1 Ensayos

En los trabajos de laboratorio deberán ejecutarse los ensayos siguientes:

- a) Clasificación visual de todas las muestras.
- b) Pruebas de identificación de las muestras representativas:
 - Granulometría con tamices
 - Límites de Atterberg
 - Contenido de materias orgánicas
 - Contenido de humedad natural en el mayor número posible de muestras
 - Presencia de CaCO_3 (Carbonato de Calcio)
- c) Prueba de Compactación
- d) Determinación de la relación de Soporte de California (CBR)
- e) Descripción de las rocas por identificación visual.

3.6 Informe

Los resultados del Estudio Geotécnico Preliminar se presentarán en un informe, el cual deberá incluir lo siguiente:

- a) Estudio geológico de la región.
- b) Estudio geológico superficial de las variantes estudiadas
- c) Trazado horizontal esquemático de la línea recomendada, indicando las unidades geomorfológicas que se conozcan y la ubicación de los sitios explorados.
- d) Perfil de las calicatas o sondeos realizados con las propiedades características de los diferentes estratos encontrados. Deberán darse datos como: color, consistencia, clasificación y otros.
- e) Propiedades y características generales de los materiales encontrados, tales como volumen aproximado, contenido de agua y nivel freático.
- f) Recomendaciones para el estudio a nivel de proyecto de taludes, obras de arte, suelos compresibles, rellenos, excavaciones y otros.
- g) Recomendaciones para el plan de trabajo del estudio geotécnico a nivel de proyecto en: tipo, secuencia, intensidad y amplitud.

4. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS VECINALES, CARRETERAS Y AUTOPISTAS

4.1 Estudio Geotécnico para Caminos Vecinales

4.1.1 Objetivo

Esta sección establece los requisitos mínimos que un estudio geotécnico deberá satisfacer para proyectos de construcción o reconstrucción de caminos vecinales.

4.1.2 Generalidades

4.1.2.1 Estudio Geotécnico y Trazado

El estudio geotécnico para el proyecto deberá efectuarse sobre trazados preliminares antes del establecimiento del trazado definitivo del camino.

No se requerirá la ejecución de estudios geotécnicos preliminares.

4.1.2.2 Datos a Obtener

Del estudio geotécnico para el proyecto de construcción o de reconstrucción de un camino vecinal se deberá obtener lo siguiente:

- a) Identificación correcta de los suelos y rocas de la región que se estudia, definiendo las propiedades geotécnicas más importantes de los mismos y señalando las formaciones geológicas a las cuales pertenecen.
- b) Datos sumarios sobre hidrografía, hidrología y vegetación de la región estudiada.
- c) Los datos necesarios y suficientes para que se puedan tomar decisiones sobre la necesidad de cortes y rellenos, sub-bases, bases, estabilizaciones, drenes y obras de arte.

4.1.2.3 Estudio Geológico

El estudio geotécnico para el proyecto deberá incluir un reconocimiento geológico de superficie.

4.1.3 Trabajo de Gabinete

El estudio geotécnico deberá iniciarse estudiando la topografía y red hidrográfica de la región en mapas generales o en fotografías existentes.

Deberán usarse los planos geológicos, topográficos, agrológicos y agronómicos que puedan existir, los trabajos realizados en la región relacionados con el asunto y el análisis del comportamiento de dichos trabajos.

4.1.4 Trabajo de Campo

4.1.4.1 Ancho de la Franja de Estudio

El trabajo de campo a ejecutar, deberá cubrir un área lo suficientemente ancha a ambos lados del eje de la vía, de forma que permita la identificación de los materiales para la construcción y las unidades geomorfológicas del área, tales como cuencas fluviales, cauces, conos de deyección, desprendimientos, laderas agrietadas, laderas deslizantes, pantanos, zonas inundables, niveles freáticos altos y otros.

4.1.4.2 Estudio Geológico

El trabajo de campo correspondiente al estudio geológico debe consistir en:

- a) Un reconocimiento visual complementario con la apertura de calicatas o de sondeos a mano y toma de muestras extraídas de los mismos para efectuar los ensayos de identificación.
- b) Perforaciones a máquina en los sitios donde se identifiquen condiciones críticas que puedan influir en el trazado de la vía.

4.1.5 Trabajo de Laboratorio

4.1.5.1 Ensayos a Ejecutar

En el trabajo de laboratorio se ejecutarán los ensayos siguientes:

- a) Ensayo de identificación de muestra:
 - Límites de Atterberg
 - Granulometría por tamizado
- b) Ensayos de compactación

4.1.5.2 Ensayos Adicionales

El ingeniero deberá establecer la necesidad de ejecutar ensayos de determinación del valor de la relación de Soporte California (CBR) y otros.

4.1.6 Informe

Los resultados del Estudio Geotécnico para el proyecto de caminos vecinales se presentarán en un informe, el cual deberá contener lo siguiente:

- a) Planta esquemática del camino vecinal que indique las formaciones geológicas atravesadas y los sitios explorados.

- b) Perfil de las calicatas y sondeos a mano o a máquina efectuados, indicando las propiedades características de los estratos encontrados, tales como color, consistencia, clasificación.
- c) Localización de los préstamos, indicando la granulometría, condiciones de colocación y volumen disponible aproximado de los materiales.
- d) Espesores recomendados de sub-base y espesores recomendados de base sobre el suelo natural o estabilizado. Estos espesores se determinarán de acuerdo al método de la Relación de Soporte California (CBR), al método del Índice de Grupo o cualquier otro método aprobado por la SEOPC.

4.2 Estudio Geotécnico para Carreteras y Autopistas

4.2.1 Objetivo

Esta sección establece los requisitos mínimos que deberán satisfacerse en los estudios geotécnicos para proyectos de construcción de carreteras y autopistas.

4.2.2 Generalidades

4.2.2.1 Estudio Geotécnico y Trazado

El trazado de la vía se definirá antes de realizarse el estudio geotécnico para el proyecto.

4.2.2.2 Estudio Geotécnico Preliminar

El estudio geotécnico preliminar deberá ser aprobado por la SEOPC antes de iniciarse el estudio geotécnico para el proyecto.

4.2.2.3 Área de Estudio

El estudio geotécnico deberá suministrar datos suficientes del sub-suelo para:

- a) El diseño, a lo largo del trazado de la vía.
- b) La construcción, en las áreas de préstamos.

4.2.3 Trabajo de Campo

El trabajo de campo deberá estar compuesto por la exploración del subsuelo a lo largo del trazado de la vía y en las áreas de Préstamos.

Las exploraciones se ejecutarán mediante sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina.

4.2.3.1 A lo Largo del Trazado

4.2.3.1.1 Distancia entre Exploraciones

La distancia entre las exploraciones variará según las propiedades características de los suelos y las formaciones encontradas. Lo indicado a continuación debe tomarse como una guía general:

- a) Los sondeos manuales se realizarán:
 - 1. En zonas uniformes, un sondeo cada 250 mts.
 - 2. En zonas erráticas, un sondeo cada 50 mts.
- b) Por cada formación geológica encontrada, cuatro calicatas para determinar las propiedades mecánicas, pero no más de dos por kilómetro.

4.2.3.1.2 Variación del Nivel Freático

Deberá registrarse cuidadosamente las variaciones del agua subterránea en cada una de las exploraciones especificadas.

4.2.3.1.3 Muestras a Obtener

Deberá tomarse una muestra por cada estrato encontrado en cada una de las exploraciones especificadas, pero las muestras no estarán distanciadas más de un (1) metro.

Las muestras deberán tomarse de la siguiente forma:

- a) De calicatas y excavaciones, efectuando un corte en la pared.
- b) Sondeos a mano y de sondeos a máquina, a medida que avanza la perforación.

4.2.3.1.4 Profundidad de las Exploraciones

- a) En zonas de cortes
En las zonas de corte, los sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquinas deberán ejecutarse hasta una profundidad mínima de 1.50 metros por debajo de subrasantes del proyecto.
- b) En zonas de rellenos
En las zonas de rellenos, los sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquinas deberán ejecutarse a una profundidad mínima de dos (2) metros por debajo del nivel del terreno natural.
- c) En zonas con problemas
Si en cualquiera de las exploraciones especificadas es encontrado un suelo blando, suelto, turbas o lodo, o si se encuentran problemas geotécnicos específicos, la exploración

correspondiente deberá ejecutarse hasta la profundidad que requiera el estudio de cada caso particular.

d) Reducción de la profundidad

Si en cualquiera de las exploraciones especificadas son encontrados macizos rocosos, la profundidad de exploración correspondiente puede ser menor que la especificada, siempre que a la profundidad alcanzada se garantice la continuidad de dichos macizos rocosos.

4.2.3.1.5 Zonas de Cortes Mayores de Cinco (5) metros

En las zonas de corte con altura mayor de cinco (5) metros, el trabajo de campo se ejecutará de acuerdo a lo establecido en la sección 7.4.

4.2.3.1.6 Muros y otras Estructuras de Contención

En las zonas en donde se vayan a construir muros u otras estructuras de contención, el trabajo de campo deberá hacerse de acuerdo a lo establecido en el acápite 9.3.2.

4.2.3.1.7 Pasos a Desnivel, Puentes y Alcantarillas

En las zonas donde se vayan a ubicar obras de arte, el trabajo de campo deberá hacerse de acuerdo con lo establecido en el acápite 9.4.2.

4.2.3.2 En las Áreas de Préstamos

4.2.3.2.1 Número de Exploraciones

El número de exploraciones se fijará de acuerdo a la heterogeneidad y la disposición del préstamo. Como regla general en cuadrícula de treinta (30) mts.

4.2.3.2.2 Número de Muestras a Extraer

Deberán tomarse muestras de las exploraciones especificadas, incluyendo muestras para el ensayo del contenido de agua. Se tomarán por cada estrato encontrado en cada una de las exploraciones.

Las muestras se deberán tomar de la siguiente forma:

- a) De calicatas: efectuando un corte en la pared.
- b) De sondeos a mano y de sondeos a máquina: a medida que avanza la perforación.

Cada muestra deberá tomarse en la cantidad suficiente que permita ejecutar los ensayos de laboratorio correspondientes.

4.2.4 Trabajo de Laboratorio

4.2.4.1 Ensayos a Realizar

El trabajo de laboratorio correspondiente al estudio geotécnico para el proyecto de carreteras y autopistas deberá consistir en:

- a) Ensayos de aproximadamente el 35% de las muestras provenientes de los materiales de fundación y de los sitios de préstamos para su clasificación con el Índice de Grupo AASHTO-M145 o mediante el sistema unificado de clasificación de suelos.
- b) Ensayos químicos en los materiales de fundación y en los materiales de construcción, para determinar contenidos de carbonatos, sulfatos, sales diversas y materias orgánicas, si se supone que dichos contenidos pueden ser perjudiciales para la durabilidad de la carretera o de la autopista.
- c) Ensayos de Sanidad.
- d) Ensayos de las muestras de suelos provenientes de los sitios de préstamo para determinar:
 - 1) La relación de Soporte California (CBR), en proporción de cuatro (4) ensayos por cada suelo típico encontrado.
 - 2) Ensayos de Compactación, en proporción de cinco (5) ensayos por cada suelo típico encontrado.
- e) En las muestras de agregado para concreto, realizar los ensayos de granulometría, desgastes de los ángeles y resistencia a la acción del sulfato de sodio.

4.2.4.2 Ensayos Adicionales

El ingeniero deberá establecer la necesidad de ejecutar los siguientes ensayos:

- a) En los materiales de fundación:
 - 1) De compactación
 - 2) De capilaridad
- b) En muestras inalteradas de suelo, determinación de:
 - 1) Expansividad
 - 2) Consolidación
 - 3) Resistencia al corte
 - 4) Ángulo de fricción interna

4.2.4.3 Ensayos para Estabilizaciones

Cuando las condiciones del subsuelo lo requieran, se deberán ejecutar ensayos para determinar el tipo y el procedimiento de estabilización que se deberá efectuar.

4.2.5 Informe

Los resultados del estudio geotécnico para proyecto de carreteras y autopistas se deben presentar en un informe que debe contener:

- a) Planta o proyección horizontal esquemática por kilómetro de la carretera o de la autopista con indicación de todas las formaciones geológicas atravesadas.
- b) Planos de detalle en hojas modelo de los tramos afectados por unidades geomorfológicas, tales como áreas inundables, nivel freático alto, zonas de alta erosión, laderas agrietadas, pantanos y otros.
- c) Perfil longitudinal esquemático del subsuelo, por kilómetro, con indicación de las propiedades características de las distintas capas encontradas, tales como color, clasificación, nivel freático y otros.
- d) Condiciones de soporte de los suelos de fundación.
- e) Un informe y mapa geológico en hojas modelos con todos los detalles y datos obtenidos en el estudio geológico realizado.
- f) Croquis de la localización de los préstamos con referencia al eje de las carreteras y autopistas, con indicación de volúmenes disponibles y las propiedades características siguientes:
 1. Propiedades índices
 2. CBR
 3. Peso volumétrico máximo
 4. Humedad óptima
 5. Coeficiente volumétrico, de suelto a compacto y de compacto a natural.
- g) Facilidad o dificultad de la explotación de los préstamos, con indicación de aspectos técnicos y económicos.
- h) Distancia de transporte de los materiales provenientes de los préstamos a los sitios de elaboración, clasificación o utilización.
- i) Destino que debe darse a los materiales provenientes de cortes y excavaciones.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS.

5.1 Objetivo

Este capítulo establece el contenido mínimo que deberán satisfacer los estudios geotécnicos para los proyectos de reconstrucción y rehabilitación de carreteras y autopistas, y para la rehabilitación de caminos vecinales.

5.2 Generalidades

5.2.1 Estudio Geotécnico y Trazado

Antes de la ejecución del estudio geotécnico, deberán estar definidos los tramos de la vía que vayan a ser reconstruidos o rehabilitados.

5.2.2 Extensión del Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico deberá suministrar datos suficientes del subsuelo de los tramos que vayan a ser reconstruidos o rehabilitados y de las áreas de préstamos; así como datos de las fuentes de agregados.

5.3 Trabajo de Gabinete

El estudio geotécnico deberá iniciarse con la revisión y análisis de la información y datos contenidos en los estudios geotécnicos previos ejecutados para la elaboración del proyecto original de la vía, si existen. Así como los datos de mantenimiento de la zona a reconstruir o rehabilitar.

5.4 Trabajo de Campo

5.4.1 En Rehabilitación

El trabajo de campo correspondiente al estudio geotécnico para los proyectos de rehabilitación de caminos vecinales, carreteras y autopistas deberá satisfacer los requisitos siguientes:

- a) En lugares donde se presenten hundimiento de base y sub-base, sobre tramos de la vía en terraplén menores de tres (3) metros, deberán realizarse sondeos a mano y calicatas. La cantidad, ubicación y profundidad de dichos sondeos a mano y calicatas deberán permitir la fiel interpretación de las condiciones geotécnicas de los hundimientos. De esta interpretación deben partir las conclusiones y recomendaciones de los trabajos de rehabilitación correspondientes.

- b) En los tramos de vía con fallas de terraplenes y/o de taludes de corte mayores de tres (3) metros, los sondeos deberán ser a máquina. La cantidad, ubicación y profundidad de dichos sondeos, deberán permitir la interpretación precisa de las condiciones geotécnicas de la falla. Los trabajos de rehabilitación recomendados, deberán definirse a partir de esa interpretación.

5.4.2 En Reconstrucciones y Rehabilitaciones a lo Largo del Trazado

5.4.2.1 Tipo de Exploraciones a Ejecutar

A lo largo y ancho del derecho de vía deberán ejecutarse las exploraciones siguientes: sondeos a mano, calicatas y perforaciones a máquina.

5.4.2.2 Distancia entre Exploraciones

En este aspecto se seguirá lo establecido en 4.2.3.1.1.

5.4.2.3 Variación del Nivel Freático

Deberá registrarse cuidadosamente la variación del agua subterránea en cada una de las exploraciones especificadas.

5.4.2.4 Muestras a Obtener

Deberá tomarse una muestra de cada estrato en cada una de las exploraciones especificadas, pero como mínimo deberá tomarse una muestra de cada metro de profundidad. La muestra deberá ser tomada de la siguiente manera:

- a) De calicatas: efectuando un corte en la pared.
- b) De sondeos a mano y a máquina: a medida que avanza la perforación.

5.4.2.5 Exploración en Zonas de Corte

En las zonas de corte, los sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina deben ejecutarse a una profundidad mínima de 1.5 metros por debajo de la subrasante del proyecto.

5.4.2.6 Exploraciones en Zonas de Relleno

En las zonas de relleno, los sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina deben realizarse hasta una profundidad mínima de dos (2) metros por debajo del terreno natural.

5.4.2.7 Exploraciones en Zonas con Problemas

Si en cualquiera de las exploraciones especificadas se atraviesa suelo blando, suelto, turba o lodo, o si se encuentran problemas geotécnicos específicos, las exploraciones correspondientes se deberán ejecutar hasta la profundidad que requiera el estudio de cada caso particular.

5.4.2.8 Reducción en la Profundidad de Exploración

Si en cualquiera de las exploraciones especificadas se encuentran macizos rocosos, la profundidad de las exploraciones correspondientes puede ser menor, siempre que a la profundidad alcanzada se garantice la continuidad de dichos macizos rocosos.

5.4.2.9 Trabajo de Campo en Zonas de Corte Mayores de Cinco (5) metros

En las zonas de corte con alturas mayores de cinco metros, el trabajo de campo debe efectuarse de acuerdo a lo establecido en la sección 7.4.

5.4.2.10 Trabajo de Campo en Zonas donde se Construirán Muros

En las zonas donde se vayan a construir muros u otras estructuras de contención, el trabajo de campo se hará de acuerdo con lo establecido en el acápite 9.3.2.

5.4.2.11 Trabajos de Campo en Zonas donde se Ubicarán Obras de Arte

En las zonas donde se vayan a ubicar obras de arte, el trabajo de campo se hará de acuerdo con lo establecido en el acápite 9.4.2.

5.4.3 En las Zonas de Préstamos

5.4.3.1 En las zonas de préstamos se ejecutarán las exploraciones siguientes: Sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina

5.4.3.2 Número de Exploraciones a Ejecutar

El número de exploraciones se fijará de acuerdo a la heterogeneidad y disposición del préstamo, como guía general en cuadrícula de 30 mts.

5.4.3.3 Número de Muestras a Extraer

En este aspecto se seguirá lo establecida en 4.2.3.2.2.

5.4.3.4 Profundidad de las Exploraciones

En las áreas de préstamo, las exploraciones del subsuelo se deberán ejecutar hasta la profundidad propuesta de explotación.

5.5 Trabajo de Laboratorio

5.5.1 El Trabajo de Laboratorio deberá consistir en:

- a) Ensayos en un treinta y cinco por ciento (35%) de las muestras alteradas representativas provenientes de los materiales de fundación y de los de construcción, según se especifica en los apartados b), c), d), e), f), siguientes.
- b) Ensayos en las muestras provenientes de materiales de fundaciones, para determinar:
 1. Granulometría por tamizado
 2. Límites de Atterberg
 3. Clasificación
 4. Contenido de humedad natural
 5. Compactación
 6. Relación de Soporte California (CBR)
 7. Capilaridad
- c) Ensayos de las muestras inalteradas de suelo provenientes de materiales de fundación para determinar:
 1. Expansividad
 2. Compresibilidad
 3. Resistencia al corte bajo condiciones representativas de trabajo.
- d) Ensayos de las muestras de suelos provenientes de los sitios de préstamos, para determinar:
 1. Granulometría por tamizado
 2. Límites de Atterberg
 3. Clasificación
 4. Contenido de humedad natural
 5. Relación de Soporte California (CBR), en proporción de cuatro (4) ensayos por cada suelo típico encontrado.
 6. Compactación
- e) Ensayos en las muestras de agregados para concreto para determinar:
 1. Granulometría
 2. Desgastes de los Ángeles
 3. Resistencia a la acción del sulfato de sodio.
- f) Ensayos en los materiales de fundación para determinar el contenido de materia orgánica, si se supone que dicho contenido puede ser perjudicial para la durabilidad de la vía.
- g) Ensayo de sanidad y contenido de materia orgánica en los materiales de construcción, si se supone que dichos contenidos pueden ser perjudiciales en la durabilidad de la vía.

5.5.2 Ensayos para Estabilizaciones

Cuando las condiciones del subsuelo lo requieran, se ejecutarán ensayos para determinar el tipo y procedimiento de estabilización que se deberá ejecutar, de acuerdo a las normas de ensayos establecidos.

5.6 Informe

Los resultados del estudio geotécnico para los proyectos de reconstrucción y rehabilitación de una carretera o de una autopista se presentarán en un informe que deberá contener:

- a) Trazado horizontal de los tramos que vayan a reconstruirse, indicando todas las unidades geológicas atravesadas.
- b) Planos de detalle, en hojas modelo, de los tramos afectados por unidades geomorfológicas, tales como áreas inundables, capa freática alta, zonas altamente erosionables, laderas agrietadas, pantanos, etc.
- c) Perfil longitudinal esquemático del subsuelo, por kilómetro, con indicación de las propiedades características de las distintas capas encontradas: color, clasificación y nivel freático.
- d) Condiciones de soporte de los suelos de fundación.
- e) Informe y mapa geológico en hojas modelo con todos los detalles y datos obtenidos en el estudio geológico realizado.
- f) Croquis de la localización de los préstamos con referencia a la ubicación de los tramos que vayan a ser reconstruidos o rehabilitados con identificación de volúmenes disponibles y propiedades características de dichos préstamos.
- g) Facilidad o dificultad de la explotación de los préstamos con indicación de aspectos técnicos y económicos.
- h) Distancia de transporte de los materiales provenientes de los préstamos a los sitios de elaboración, clasificación o utilización.
- i) Destino que se debe dar a los materiales provenientes de cortes y excavaciones.

6. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE TALUDES EN CORTE MAYORES DE CINCO (5) METROS DE ALTURA.

6.1 Objetivo

Este capítulo establece el contenido mínimo que deberán satisfacer los estudios geotécnicos para los proyectos o para una modificación de taludes en cortes mayores de cinco (5) metros de altura.

6.2 Generalidades

6.2.1 Estudio Geotécnico y Trazado

Antes de la ejecución del estudio geotécnico, el trazado de la vía deberá estar definido, y el estudio geotécnico preliminar de dicha vía deberá estar aprobado por la SEOPC.

6.2.2 Extensión del Estudio

El estudio geotécnico debe comprender el estudio extenso y detallado de:

- a) Los materiales que vayan a cortarse
- b) Los materiales que vayan a quedar expuestos
- c) Los materiales que vayan a quedar debajo del futuro talud
- d) La posición del nivel freático y su gradiente

El estudio debe contener la información necesaria para el proyecto geotécnico del corte.

6.2.3 Disposición y Propiedades de los Estratos

El estudio geotécnico deberá describir la disposición y las propiedades características de los diferentes estratos de suelo y/o roca, señalando su relación con las condiciones locales del agua subterránea.

6.2.4 Drenaje

Cuando el nivel freático alcance una elevación superior a la de la rasante del proyecto, deberán establecerse los métodos de drenaje provisional y definitivo recomendados para las etapas de construcción y de servicio de la vía. Deberá indicarse el volumen probable de escurrimiento.

6.2.5 Información sobre Cortes en Roca

Cuando los cortes sean en roca, deberá incluirse la información siguiente:

- a) Disposición y naturaleza de los materiales.
- b) Grado de meteorización de la roca.
- c) Defectos que la afectan, tales como fallas y diaclasas.
- d) Posición, separación y actitud de estos últimos.
- e) Otros factores geológicos.
- f) Efecto que la remoción del prisma que vaya a excavarse tenga sobre la estructura geológica adyacente.
- g) Pendientes de los cortes.
- h) Estimación del volumen de los posibles desprendimientos rocosos expresándolos en porcentajes del volumen de excavación proyectado.

6.2.6 Resistencia al Corte de Suelos Finos

Deberán investigarse la naturaleza y propiedades de resistencia al corte de los suelos finos contenidos en las diaclasas.

6.2.7 Suelos Descompuestos

Cuando vayan a hacerse cortes en suelos descompuestos, deberán indicarse las pendientes de los taludes. Se justificarán dichas pendientes mediante los cálculos correspondientes de estabilidad.

6.2.8 Materiales Susceptibles a Cambios de Humedad

Cuando los materiales que van a quedar descubiertos sean susceptibles de ser afectados por cambios de humedad o cuando sean susceptibles de ser erosionados por las corrientes superficiales, se indicarán las medidas correctivas que deberán ser adoptadas, tales como banquetas colectoras, cunetas de coronación, entre otras.

6.2.9 Necesidad de Obras de Contención

Cuando las propiedades cercanas a la zona de corte puedan influir en la extensión del talud, deberán realizarse investigaciones adicionales para evaluar las condiciones para el Proyecto de Obras de Arte eventualmente necesarias, tales como estructuras de contención, tablestacas, pilotes u otros.

6.2.10 Uso del Material de Corte

El estudio geotécnico deberá contener información que permita determinar el uso en terraplenes del material proveniente de las excavaciones. Esa información no es necesaria cuando el material

proveniente de la excavación se destine a bote. Los sitios de bote deben ser objeto de un estudio para verificar si la acumulación de material no originaría problemas que puedan afectar la vía proyectada u otras obras.

6.2.11 Métodos y Equipos de Excavación

El estudio geotécnico deberá recomendar:

- a) Los métodos y equipos que se deben utilizar para la excavación de los diferentes tipos de materiales que forman el perfil geotécnico.
- b) Los sistemas de protección superficial.

6.3 Trabajo de Gabinete

El estudio geotécnico para los proyectos de taludes en corte mayores de cinco (5) metros, debe iniciarse analizando los datos geológicos de la región y toda la información contenida en estudios geotécnicos anteriores.

6.4 Trabajo de Campo

El trabajo de campo deberá incluir un reconocimiento geológico de superficie, un levantamiento geológico del área y exploraciones del subsuelo.

6.4.1 Reconocimiento Geológico de Superficie

El reconocimiento geológico de superficie deberá determinar si el corte, o parte de él, se encuentra dentro de una zona de viejos deslizamientos. Si se detectan éstos y están estabilizados, debe evaluarse la posibilidad del reinicio de su movimiento al ejecutarse los cortes previstos.

6.4.2 Levantamiento Geológico

El levantamiento geológico del sitio debe definir la naturaleza de los materiales a cortar.

6.4.3 Exploraciones del Subsuelo

Las exploraciones del subsuelo deberán hacerse mediante sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina; deben ser efectuados sobre el eje de la vía y a ambos lados de éste. La distancia entre exploraciones se determina según las propiedades de los suelos, el tipo e importancia del corte y los resultados que vayan siendo obtenidos.

6.4.4 Profundidad de las Exploraciones

Los sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina deben ser realizados hasta una profundidad que dependerá de la forma geométrica del corte y de la naturaleza de los materiales que vayan a ser cortados, pero deben ser ejecutados a una profundidad mínima de un (1) metro por debajo de la subrasante del proyecto.

Cuando se encuentre roca sana por encima de la rasante, la profundidad mínima especificada no es obligatoria.

6.4.5 Profundidad de las Exploraciones en Laderas

Cuando el corte se va a ejecutar en materiales que formen parte de una ladera natural con inclinación mayor de 3:1, las exploraciones deben ser ejecutadas hasta la profundidad a la cual se encuentre roca sana, o a una profundidad igual al ancho de la plataforma, la que resulte menor; ambas medidas desde la elevación de la rasante del proyecto.

6.4.6. Profundidad de las Exploraciones para Cortes “de Cajón”

Cuando el corte se va a hacer “de cajón”, las exploraciones del subsuelo deben ejecutarse hasta la profundidad de la roca sana, o hasta una profundidad igual a la mitad del ancho de la plataforma, la que resulte menor; ambas medidas desde la elevación de la rasante del proyecto.

6.4.7 Muestras a Extraer

En cada sondeo a mano, calicata y sondeo a máquina, deberá tomarse una muestra por cada estrato encontrado, pero como mínimo se tomará una muestra por cada metro de profundidad.

6.4.8 Registro del Nivel Freático

En cada sondeo a mano, calicata, excavación y sondeo a máquina debe registrarse cuidadosamente la variación del agua subterránea. Cuando se encuentre agua subterránea o cuando se atraviesen suelos impermeables saturados, deben instalarse piezómetros de lectura rápida que permitan la observación del nivel de dicha capa freática por un largo período.

6.4.9 Exploraciones en Suelos Blandos o Suelos

Cuando al ejecutar sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina sean encontrados suelos blandos o sueltos, deberán tomarse muestras inalteradas que permitan determinar la resistencia al corte sin drenar.

6.4.10 Exploraciones en Suelos Preconsolidados

Cuando al ejecutar sondeos a mano, calicatas, excavaciones y sondeos a máquina se encuentren suelos arcillosos muy preconsolidados, y especialmente cuando dichos suelos se encuentren saturados o sean susceptibles de saturarse al efectuar el corte, se deberán tomar muestras

inalteradas que permitan la determinación de las características de resistencia al corte para la situación residual (gran deformación).

6.5 Trabajo de Laboratorio

6.5.1 Requerimientos

El trabajo de laboratorio correspondiente al estudio geotécnico para un proyecto de taludes en cortes con altura mayor de cinco (5) metros, deberá consistir en:

- a) Descripción de todas las muestras recuperadas de los sondeos a mano, calicatas, y sondeos a máquina.
- b) Ensayo del treinta y cinco (35) por ciento de las muestras alteradas representativas, como mínimo y la totalidad de las muestras inalteradas según se especifican en los apartados c), d), e), f), g), h) de este subtítulo.
- c) Ensayos en las muestras de suelos y rocas descompuestas que se vayan a excavar y a utilizar para la construcción de rellenos, para determinar:
 - 1) Granulometría por tamizado
 - 2) Límites de Atterberg
 - 3) Clasificación
 - 4) Contenido de humedad natural
 - 5) Peso unitario
 - 6) Relación de Soporte California (CBR)Quando lo rellenos que vayan a construirse con suelos y rocas descompuestas provenientes de los cortes tengan alturas superiores a diez (10) metros, deberán realizarse ensayos de resistencia al corte no drenado.
- d) Ensayos en las muestras de rocas que se vayan a utilizar la construcción de rellenos, para determinar:
 - 1) Absorción
 - 2) Peso específico
 - 3) Peso unitario seco
 - 4) Desgaste de los Ángeles
 - 5) Resistencia a los ciclos del sulfato de sodio.Quando los rellenos que vayan a construirse con rocas sean mayores de cuarenta (40) metros, deben realizarse ensayos de resistencia a la compresión simple.
- e) Ensayos en las muestras de suelos y rocas descompuestas que vayan a quedar expuestas y que sean susceptibles de ser afectadas por cambios de humedad, para determinar:
 - 1) Límites de consistencia incluido el de retracción
 - 2) Granulometría con hidrómetro
 - 3) Consolidación controlada sobre muestras inalteradas

- f) Ensayo en las muestras de suelos y rocas descompuestas que quedarán debajo del corte proyectado para determinar:
 - 1) Granulometría por tamizado
 - 2) Límites de Atterberg
 - 3) Contenido de humedad natural
 - 4) Resistencia al corte sin drenar sobre muestras inalteradas.
- g) Ensayos de resistencia al corte para la situación residual (gran deformación) en las arcillas o limos que estén dentro de grietas o diaclasas de las rocas que estén debajo del corte proyectado.
- h) Ensayos de compresión simple en las muestras de rocas que estén debajo del corte cuando éste tenga una altura superior a cuarenta (40) metros.

6.5.2 Ensayos de Estabilizaciones

Cuando las condiciones del subsuelo lo requieran, se ejecutarán ensayos para determinar el tipo y procedimiento de estabilización que se deben efectuar.

6.6. Informe

Los resultados del estudio geotécnico para los proyectos o modificaciones de taludes en corte mayores de cinco (5) metros deben presentarse en un informe que contenga lo siguiente:

- a) Trazado horizontal y secciones geotécnicas del área de corte con indicación pormenorizada de todas las unidades geomorfológicas existentes en la zona y de los detalles geotécnicos de interés para la obra, tales como fallas, diaclasas, intrusiones, entre otras. En el caso de que el corte afecte suelos y rocas descompuestas, se debe señalar también la disposición y extensión de los diferentes tipos de materiales.
- b) Planta de los sitios de bote
- c) Secciones transversales que indiquen la disposición que debe darse a los materiales en los sitios de bote, y recomendaciones para esta actividad.
- d) Secciones transversales al eje con indicación de los cortes recomendados y de los detalles correspondientes tales como terrazas, sistema de protección y drenaje, entre otros.
- e) Memoria detallada de toda la información recabada y recomendaciones precisas en cuanto al posible uso de suelos y rocas como materiales de construcción, incluyendo los resultados de los ensayos de laboratorio y los cálculos de estabilidad que justifiquen las recomendaciones.

7.- ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DE TÚNELES

7.1 Objetivo

Este capítulo establece el contenido mínimo que deben satisfacer los estudios geotécnicos para los proyectos de túneles.

7.2 Generalidades

7.2.1 Estudio Geotécnico y Trazado

Antes de la ejecución del estudio geotécnico debe hacerse definido el trazado, y el estudio geotécnico preliminar de la vía, y estar aprobado por la SEOPC.

7.2.2 Extensión del Estudio Geotécnico

Este estudio geotécnico incluirá un estudio geológico completo de la región considerada.

7.3 Estudio Geológico

7.3.1 Reconocimiento Geológico

Este estudio incluirá un reconocimiento geológico de superficie a lo largo de la alineación del túnel. El área donde se efectúe debe ser lo suficientemente grande como para permitir determinar en la superficie:

- a) La posición y estratificación de las rocas.
- b) Las formaciones geológicas atravesadas
- c) La posición de los arroyos, ríos y manantiales

7.3.2 Datos Geológicos de las Rocas

El estudio deberá determinar:

- a) El origen y las condiciones actuales de las rocas
- b) Los datos geológicos, y
- c) La influencia de dichos datos geológicos en la construcción

7.3.3 Posición y Propiedades de los Estratos

El estudio geológico deberá delinear la posición y propiedad de los diferentes estratos de suelo y/o roca, describiendo su relación con las condiciones locales del agua subterránea.

7.3.4 Datos Geohidrológicos

Deberán determinarse los datos geohidrológicos para que queden establecidas las condiciones del agua subterránea; debe investigarse la posibilidad de la presencia de gases nocivos durante la construcción del túnel.

7.3.5 Propiedades de las Rocas

El estudio debe determinar las propiedades, índices y mecánica de las rocas; debe estimar la magnitud de las presiones de rocas que puedan afectar la estructura del túnel.

7.3.6 Estudio en los Frentes del Túnel

El estudio geotécnico incluirá un estudio geológico de superficie detallado de las zonas en donde vayan a ubicarse los frentes del túnel. Dicho estudio geológico debe incluir información sobre:

- a) La disposición, naturaleza y grado de meteorización de los materiales
- b) Los defectos que afecten la roca, tales como fallas y diaclasas.
- c) La posición, separación, rumbo, buzamiento y demás factores geológicos de las rocas.
- d) El efecto que la extracción del material excavado tenga sobre la estabilidad de los frentes.

7.3.7 Trabajos de Campo

El trabajo de campo correspondiente a este estudio geológico deberá incluir:

- a) Reconocimiento geológico de superficie
- b) Levantamiento geológico del sitio

7.3.7.1 Reconocimiento Geológico de Superficie

Este reconocimiento deberá determinar:

- a) Las propiedades características del techo del túnel
- b) La calidad y cualidad de las rocas
- c) El drenaje superficial

7.3.7.2 Levantamiento Geológico del Sitio

El levantamiento geológico del sitio deberá:

- a) Definir la naturaleza de los materiales que vayan a atravesarse.
- b) Determinar la formación, calidad y cualidades de las rocas.
- c) Determinar la presencia de agua y gases.

7.3.8 Exploraciones Geológicas

El ingeniero deberá determinar la necesidad de que se ejecuten exploraciones geológicas para relacionar los datos superficiales con los encontrados a profundidad. Las propiedades geológicas, el espesor de la cubierta y la longitud del túnel deben determinar el número, tipo y profundidad de dichas exploraciones geológicas. Las exploraciones geológicas deben ser más frecuentes en los sitios donde se ubiquen los frentes del túnel y en aquellos lugares a lo largo del alineamiento en los que encuentran depresiones.

7.3.9 Exploraciones Geofísicas

El ingeniero deberá determinar la necesidad de que se usen métodos de exploración geofísica.

7.4 Estudio Geotécnico

7.4.1 Trabajo de Gabinete

El estudio geotécnico deberá iniciarse con el análisis de los datos geológicos de la región y el análisis de toda la información contenida en estudios geotécnicos anteriores.

7.4.2 Propiedades de Suelos con Diaclasas Rellenas

El estudio geotécnico investigará la naturaleza y las propiedades de resistencia al corte de los suelos que contengan diaclasas rellenas de arcillas.

7.4.3 Materiales Descubiertos Susceptibles a Cambios de Humedad

Cuando los materiales que vayan a quedar descubiertos sean susceptibles de ser afectados por cambios de humedad o de ser erosionados por las corrientes superficiales, deberán incluirse los métodos correctivos a adoptarse.

7.4.4 Trabajo de Campo

7.4.4.1 Etapas

El trabajo de campo correspondiente a este estudio geotécnico deberá hacerse en las siguientes etapas:

- a) Anteproyecto: Investigación de carácter general
- b) Proyecto: Investigaciones detalladas
- c) Construcción: Exploraciones y ensayos en el sitio.

7.4.4.2 Sondeos a Máquina

Cuando se determine la existencia de fallas, se deberán ejecutar sondeos a máquina que permitan determinar las propiedades características de las fallas y los materiales que las llenan, así como las circundantes.

7.4.5 Trabajo de Laboratorio

El trabajo de laboratorio correspondiente a este estudio geotécnico deberá consistir en lo siguiente:

- a) Descripción de todas las muestras recuperadas en los sondeos.
- b) Ensayos en las muestras de rocas para determinar:
 - 1) Absorción
 - 2) Peso específico
 - 3) Peso unitario seco
 - 4) Compresión simple

El ingeniero deberá determinar la necesidad de ejecutar ensayos de compresión triaxial y de inmersión y secado, así como otros ensayos especiales de mecánica de rocas.

7.5 Galerías Exploratorias

El ingeniero deberá determinar la necesidad de que se excaven galerías exploratorias o túneles pilotos.

7.6 Medición de Temperatura

El ingeniero deberá determinar la necesidad de que se ejecuten ensayos de medición de temperatura.

7.7 Informe

Los resultados del Estudio Geotécnico para el Proyecto de Túneles deben presentarse en un informe que deberá contener:

- a) Plano geológico regional
- b) Plano geológico de detalle superficial que indique todos los accidentes superficiales, tales como fallas geológicas, materiales, afloramientos rocosos, ubicación de arroyos y demás datos que puedan ser útiles para interpretar el informe.
- c) Plano y perfil geotécnico del túnel
- d) Plano detallado de los frentes del túnel en donde se indiquen los datos siguientes:
 - 1) Posición de la roca
 - 2) Foliación
 - 3) Estratificación de materiales que vayan a ser excavados
 - 4) La información que el ingeniero considere conveniente
- e) Memoria detallada en la cual se indiquen las condiciones en las cuales se espera encontrar las rocas, tales como: foliación, estratificación, planos de esquistosidad, rumbos, buzamientos, problemas de agua, presencia de gases, etc.

Deben indicarse conclusiones de carácter general en las cuales se prevean los problemas que puedan ocurrir durante la construcción del túnel.

- f) Descripción de los diferentes grados de meteorización de la roca, su influencia en la construcción del túnel y problemas principales del agua no detectada en las exploraciones en las zonas de rocas metamórficas, especialmente talcosas y grafitosas.

8. ESTUDIO GEOTÉCNICO DE FUNDACIONES

8.1 Objetivo

Este capítulo establece el contenido mínimo que deberán satisfacer los estudios geotécnicos de fundaciones para diseño de muros y otras estructuras de contención, pasos a desnivel, puentes y alcantarillas en carreteras y autopistas.

8.2 Generalidades

Antes de hacer el estudio geotécnico de fundaciones para el diseño de muros y de otras estructuras de contención en carreteras y autopistas, deberán definirse la ubicación y la sección transversal de cada estructura. En caso de pasos a desnivel, puentes y alcantarillas deberá definirse, además, la distancia entre arroyos y la carga estimada sobre los mismos.

8.3 Muros y Otras Estructuras de Contención

8.3.1 Aspectos a Cubrir

El estudio geotécnico de fundaciones para el diseño de muros y otras estructuras de contención en carreteras y autopistas deberá comprender tres aspectos principales:

- a) Las condiciones de fundación:
El estudio de las condiciones de fundación deberá suministrar el perfil del subsuelo de fundación y definir los diferentes estratos en características, espesor y profundidad. La identificación de los suelos se establecerá por sus valores índices, sus características de compresibilidad, su resistencia al esfuerzo constante y su permeabilidad.
- b) Las condiciones de estabilidad integral:
Las condiciones de estabilidad del conjunto se deberán estudiar con un análisis de estabilidad integral que tome en cuenta las circunstancias topográficas, geológicas y estructurales del proyecto de contención.
- c) Las características de suelos y rocas que vayan a usarse para rellenos:
El estudio deberá definir las características de los materiales disponibles que vayan a usarse para rellenos que formen parte de la contención.

8.3.2 Trabajo de Campo

El trabajo de campo consistirá en la exploración del subsuelo de fundación y del subsuelo de los préstamos mediante la ejecución de:

- a) Sondeos a mano, calicatas y sondeos a máquina
- b) Toma de muestras, alteradas e inalteradas.

8.3.2.1 Sondeos

El ingeniero determinara el número, ubicación, profundidad y separación entre si de los sondeos exploratorios, tomando en cuenta la forma y la extensión en planta del muro o de la obra de contención. En las áreas de préstamos, el número de sondeos se fijará de acuerdo a la heterogeneidad y la disposición del préstamo.

La profundidad de los sondeos deberá permitir:

- a) El conocimiento del subsuelo hasta el nivel firme o duro, o hasta la profundidad a la cual los incrementos de esfuerzos verticales transmitidos a dicha profundidad, no superen en mas de un diez (10) por ciento los del peso propio del suelo a esa misma profundidad.
- b) La definición y el estudio de las condiciones de estabilidad del conjunto relleno-estructura-suelo de fundación.

8.3.2.2 Sondeos que Alcancen Roca

Cuando se encuentra roca dura en cualquier sondeo, debe penetrarse en dicha roca hasta la profundidad que permita establecer que se trata del manto rocoso del sitio y no de cantos rodados o formaciones cementadas accidentales.

8.3.2.3 Número de Muestras a Obtener

En cada sondeo a mano o a máquina debe tomarse muestra por cada estrato encontrado, pero como mínimo, una muestra por cada metro de profundidad. Estas muestras se deben tomar con tomamuestra partido, hincado en las condiciones de prueba normal de penetración.

8.3.2.4 Muestras en Suelos Arcillosos

En subsuelos arcillosos, se tomarán las muestras siguientes:

- a) En arcillas blandas, las muestras se tomarán con tomamuestras de pared delgada con pistón estacionario.
- b) En arcillas de rígidas a duras, las muestras se tomarán con tomamuestras de rotación con tubo doble tipo Denison.

El diámetro mínimo de las muestras deberá ser de 3" (16 milímetros).

8.3.2.5 Sondeos en las Áreas de Préstamos

El número de sondeos se fijará de acuerdo a la heterogeneidad y disposición del préstamo.

8.3.2.5.1 Muestras a Obtener

En este aspecto se seguirá lo establecido en 4.2.3.2.2.

8.3.2.5.2 Profundidad de Exploración

En las áreas de préstamos la exploración del subsuelo debe ejecutarse hasta la profundidad propuesta de explotación.

8.3.3 Trabajos de Laboratorio

Este trabajo consistirá en la clasificación de laboratorio de las muestras obtenidas en sondeos a máquina y a mano.

8.3.3.1 Ensayos a Ejecutar

En las muestras obtenidas en sondeos a máquinas y a mano, se ejecutarán los ensayos siguientes:

- a) Inspección visual
- b) Descripción
- c) Determinación del contenido de humedad natural
- d) Clasificación

Las muestras para la clasificación de laboratorio se seleccionarán por medio de la inspección visual.

8.3.3.2 Número de Muestras para Clasificación

El número de muestras a usar en la clasificación de laboratorio dependerá de la estratificación. En estratos de espesor no mayor de dos metros, debe clasificarse por lo menos una muestra por estrato; en estratos de espesor mayor de dos metros, deben clasificarse por lo menos una tercera parte de las muestras de cada estrato.

8.3.3.3 Clasificación de Suelos Cohesivos Blandos y Húmedos

La clasificación de laboratorio de este tipo de suelo consistirá en la ejecución de los ensayos siguientes:

- a) Granulometría por tamizado, incluyendo tamices de la fracción gruesa.
- b) Límites de consistencia
- c) Contenido de humedad natural

El ingeniero debe establecer la necesidad de determinar la resistencia al corte por medio de una veleta de laboratorio.

8.3.3.4 Clasificación de Suelos Cohesivos Duros

La clasificación de laboratorio de este tipo de suelo, consistirá en la ejecución de los ensayos siguientes:

- a) Análisis granulométrico por hidrómetro
- b) Límites de consistencia
- c) Contenido de humedad natural

Cuando las muestras presenten terrones o cilindros enteros, debe determinarse el peso unitario y la resistencia a la compresión simple de dichas muestras con un penetrómetro de bolsillo.

8.3.3.5 Clasificación de Muestras Inalteradas

Para determinar la compresibilidad o expansibilidad del suelo y su resistencia estructural en muestras inalteradas, el ingeniero establecerá la necesidad de ejecutar los siguientes ensayos:

- a) Consolidación
- b) Expansión
- c) Compresión simple
- d) Compresión triaxial con esfuerzos efectivos; y
- e) Corte directo drenado.

8.3.3.6 Clasificación de Suelos Granulares

La clasificación de laboratorio de los suelos granulares consistirá en la ejecución de los ensayos de granulometría por tamizado y de límites de consistencia.

8.3.3.7 Clasificación de Materiales de Préstamo

La clasificación de laboratorio de los materiales de préstamo para rellenos, consistirá en la clasificación de laboratorio especificada en los subtítulos 8.3.3.1 y 8.3.3.6 y en los ensayos siguientes:

- a) Compactación
- b) Permeabilidad con carga constante o decreciente, según el tipo de material.
- c) Consolidación o expansión
- d) Compresión triaxial

- e) Compresión simple
- f) Corte directo

Dichos ensayos se deben ejecutar con muestras compactadas en el contenido de agua óptimo del ensayo de compactación recomendado.

8.3.4 Informe

Los resultados de estudio geotécnico de fundaciones para el diseño de muros y otras estructuras de contención, se presentarán en un informe que debe contener lo siguiente:

- a) Planta y secciones geotécnicas del sitio estudiado, con indicación de los sitios de sondeos.
- b) Planta y secciones de la contención propuesta.
- c) De cada punto sondeado: perfil estratigráfico, descripción de los suelos, situación de las muestras alteradas o inalteradas, y demás datos de laboratorio referentes a los puntos explorados.
- d) De cada muestra inalterada: profundidad del extremo superior y del extremo inferior, longitud recuperada, descripción y estratigrafía, resultados de los ensayos de clasificación, resultados de los ensayos especiales e indicación de la parte de la muestra en donde se hizo cada ensayo.
- e) De cada muestra del préstamo: ensayos de clasificación, ensayos especiales e indicación del sitio de exploración de donde se obtuvo la muestra.
- f) Memoria descriptiva del tipo de contención, de la zona de sondeo y de los ensayos empleados.
- g) Un análisis de las condiciones geotécnicas de la zona y de las características de los suelos indicados por los ensayos. Además, consideraciones para el diseño de la contención.
- h) Recomendaciones específicas para el diseño, incluyendo: profundidad de asiento y cargas admisibles para las fundaciones; intensidad de empujes y disposición estable recomendada; drenajes requeridos; disposición, tipo y condiciones de colocación de rellenos; posibilidad y cuantía estimada de asentamientos o de hinchamiento; precauciones que se deben tomar en el diseño en previsión de movimientos para protección de rellenos y demás aspectos que deban considerarse en el diseño.

8.4 Pasos a Desnivel, Puentes y Alcantarillas

8.4.1 Aspectos Fundamentales del Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico de fundaciones de pasos de desnivel, puentes y alcantarillas, deberá suministrar datos suficientes del subsuelo para el proyecto racional de las infraestructuras.

Se deberá prestar atención especial a los siguientes aspectos fundamentales:

- a) La capacidad de carga de la fundación con respecto a la capacidad última del suelo.
- b) Los asentamientos diferenciales y totales.
- c) Los efectos nocivos que la construcción de la estructura pueda ocasionar sobre propiedades vecinas.

8.4.2 Trabajo de Campo

El trabajo de campo correspondiente a este tipo de estudio deberá incluir uno o varios de los siguientes aspectos:

- a) Investigación de estructuras cercanas al sitio en estudio;
- b) Factores propios del medio como hidrología del agua subterránea, geología y sismicidad.
- c) Investigaciones geofísicas.
- d) Sondeos, verticales o inclinados
- e) Ensayos de penetración
- f) Calicatas y excavaciones
- g) Ensayos de campo:
 - 1) Ensayos de veletas en suelos cohesivos
 - 2) Ensayos de permeabilidad en sitio
 - 3) Pruebas de carga sobre pilotes
 - 4) Pruebas de carga sobre el suelo
 - 5) Ensayos especiales de mecánica de rocas

8.4.2.1 Información sobre el Área de Estudio

Del área de estudio se deberá obtener toda la información existente referente a:

- a) Investigación de fundaciones: registro de perforaciones, ensayos, mediciones de campo, asentamientos, condiciones de agua subterránea y problemas de construcción.
- b) Investigación de estructuras: diseño, experiencias de construcción y comportamiento.
- c) Influencia de la estructura en estudio sobre estructuras existentes

8.4.2.2 Sistema de Perforación

El ingeniero determinará el sistema de perforación y el diámetro, número, ubicación, profundidad y separación entre sí de las perforaciones.

La profundidad de estos sondeos permitirá lo especificado en las letras a) y b) de 8.3.2.1.

8.4.2.3 Exploraciones que Alcancen Rocas

Para estas exploraciones se tomará en cuenta lo especificado en 8.3.2.2

8.4.2.4 Pruebas de Carga

El ingeniero determinará la necesidad de ejecutar pruebas de carga sobre pilotes construidos en sitio con esa expresa finalidad, así como la de ejecutar ensayos de carga directa sobre el terreno.

8.4.2.5 Ensayos de Rocas

El ingeniero determinará la necesidad de ejecutar ensayos para evaluar la resistencia al corte, las propiedades de esfuerzos-deformación y la resistencia residual de las rocas en el sitio. Estos ensayos se deben limitar al diseño de fundaciones de estructuras en las que el conocimiento de las rocas bajo carga pueda representar una economía significativa en el costo de dichas fundaciones.

8.4.3 Trabajo de Laboratorio

Este trabajo debe consistir en la clasificación de laboratorio de las muestras obtenidas en sondeos a máquina y en sondeos a mano.

8.4.3.1 Ensayos a Ejecutar

En las muestras obtenidas en sondeos a máquina y en sondeos a mano se deberán ejecutar los ensayos siguientes:

- a) Inspección visual
- b) Clasificación
- c) Determinación del contenido de agua natural
- d) Compactación
- e) Resistencia al esfuerzo cortante
- f) Compresibilidad

8.4.3.2 Número de Muestras para la Clasificación

En el número de muestras que se seleccionará para la clasificación de laboratorio, se seguirá lo dispuesto en 8.3.3.2.

8.4.3.3 Clasificación de Suelos Cohesivos Blandos y Húmedos

En la clasificación de laboratorio de este tipo de suelos, se seguirá lo indicado en 8.3.3.3.

8.4.3.4 Clasificación de Suelos Cohesivos Duros

Para la clasificación de laboratorio de este tipo de suelos, se seguirá lo indicado en 8.3.3.4.

8.4.3.5 Clasificación de Muestras Inalteradas

Para determinar la compresibilidad o expansibilidad del suelo y su resistencia estructural en estas muestras, se seguirá lo indicado en 8.3.3.5.

8.4.3.6 Clasificación de Suelos Granulares

Para esta clasificación se requerirá lo indicado en 8.3.3.6.

8.4.3.7 Clasificación de Materiales de Préstamo

La clasificación de materiales de préstamo para relleno, debe consistir en la clasificación de laboratorio especificada en los apartados 8.4.3.1 y 8.3.3.6, y además en los ensayos señalados en las letras de 8.3.3.7.

8.4.4 Informe

Los resultados del estudio geotécnico de fundaciones para el diseño de pasos a desnivel, puentes y alcantarillas, se presentarán en un informe que debe contener lo siguiente:

- a) Resultado de la inspección visual, incluyendo descripción de la topografía del terreno.
- b) Relación de los trabajos de campo efectuados; descripción de los equipos y métodos empleados en las distintas fases de la exploración; descripción de los ensayos de laboratorio y del muestreo.
- c) Resumen de los resultados obtenidos en todas las etapas de la exploración, sondeos, descripción de la geología y la litología del subsuelo; además, características del suelo explorado, tales como naturaleza, espesor, características físicas, humedad, compacidad, etc., de los estratos atravesados.
- d) Esquema representativo de cada sondeo, indicando para cada uno las propiedades características de las diferentes capas encontradas y otros datos que el ingeniero considere conveniente.

- e) Plano en planta, a escala adecuada, que muestre la situación de la estructura proyectada, la situación de las estructuras e instalaciones vecinas y el sitio de cada exploración efectuada.
- f) Recomendaciones de fundación, precisas y concretas, indicando el sistema de fundación que se debe usar, los razonamientos que condujeron al establecimiento del criterio de fundación, la profundidad del plano de fundación y capacidad soporte en el plano de fundación.
- g) En caso de pilotes, indicación:
 - 1- Del tipo de pilote que se debe usar
 - 2- Del diámetro, longitud estimada y separación de cada pilote para las diferentes cargas.
 - 3- De todos los parámetros medios del suelo necesarios para calcular la capacidad de soporte del suelo.
 - 4- De la penetración mínima y de la posición de la punta del pilote.
- h) Recomendaciones de construcción.