

6.2. GEOTECNIA

6.2.1. INTRODUCCIÓN

El término "geotecnia" hace alusión al conjunto de reconocimientos y ensayos o pruebas realizadas al terreno y a la interpretación de los datos obtenidos en los mismos, que permiten caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio y sus propiedades, en función de los objetivos y características del proyecto.

El estudio geológico-geotécnico debe contener todos los datos relevantes para la correcta ejecución del proyecto y se elabora en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de proyecto, incluyendo las recomendaciones propias en función de la naturaleza de las actuaciones (explanadas, estructuras, taludes, etc.).

Todo ello hace que sea necesario establecer las directrices para determinar la necesidad y aplicación de los estudios geotécnicos en la redacción de los proyectos de Caminos Naturales.

En el presente capítulo se recoge el apartado de geología y geotecnia de cada una de las actuaciones contempladas en este manual, con las consideraciones necesarias para facilitar la redacción del documento referido a dicho aspecto.

6.2.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

6.2.2.1. Estudio geológico y geotécnico

Todos los proyectos constructivos deben contener un Estudio geológico y geotécnico que incluya los siguientes puntos:

1. Introducción. En este apartado se indican las hojas y cuadrantes del Mapa Topográfico Nacional que en cada caso se estudian, así como la metodología seguida y el autor o autores del trabajo.
2. Características generales. Este epígrafe recoge una serie de aspectos que permiten efectuar un encuadre de la zona dentro del territorio en el que se localiza: climatología, topografía, geomorfología y estratigrafía general, así como tectónica y sismicidad.
3. Estudio de zonas. Basándose en la caracterización geomorfológica efectuada en el punto anterior, se divide el área de trabajo en zonas relativamente homogéneas, para las que se efectúa un estudio de detalle que incluye, entre otros aspectos, cortes geológicos, columnas estratigráficas, y la determinación de grupos litológicos, para los que se define su litología, estructura y características geotécnicas fundamentales. Estos aspectos se deben reflejar, a su vez, en la cartografía correspondiente que se incluirá en el estudio.
4. Conclusiones generales. En el apartado correspondiente a las conclusiones, se ponen de manifiesto, desde un punto de vista eminentemente práctico y aplicado a la ejecución del proyecto, los principales aspectos y problemas relativos a la topografía, hidrología, litología, geomorfología y geotecnia.
5. Información sobre yacimientos. Se dará una visión sucinta de las principales canteras y yacimientos rocosos y granulares activos en la zona del proyecto, acompañada de un mapa o esquema resumen.

6. Planos. Se adjuntarán los siguientes planos con la correspondiente escala mínima de presentación:

- Geológico 1/200.000.
- Geomorfológico 1/200.000.
- Suelos 1/200.000.
- Geotécnico 1/200.000.
- Litológico-estructural 1/50.000.

Cada uno de los planos irá acompañado de su correspondiente leyenda en la que se reflejarán, de manera resumida, las características principales señaladas en los restantes apartados para cada zona.

7. Reportaje fotográfico. El estudio deberá incluir un reportaje fotográfico y la localización de las fotografías.

6.2.2.2. Prospecciones de campo

Se detallan los análisis más utilizados en la caracterización geotécnica, teniendo en cuenta su fiabilidad, la rapidez en la ejecución y la conveniencia de su aplicación en función del tipo de terreno.

Cada uno de los ensayos recibirá una identificación formada por una letra, que indica plataforma, desmonte, terraplén o estructura, y un número de orden dentro de cada tipo.

De cada uno de los ensayos se tomarán coordenadas o referencias por distancias a puntos bien definidos de la cartografía. Todos los ensayos se representarán, reflejando su identificación, en los planos geológicos.

Calicatas

Una calicata es una excavación del terreno para la observación directa del mismo. Éstas se realizan de forma habitual mediante medios mecánicos (giratoria, mixta o mini) de potencia suficiente para excavar suelos y roca meteorizada, hasta una profundidad de, al menos, tres metros o hasta encontrar el sustrato rocoso.

En el momento de la excavación debe estar presente un técnico cualificado, quien anotará las principales características de la misma: dificultades de excavación, aparición de agua en el fondo o en las paredes de la misma (con indicación cualitativa del caudal), estabilidad del corte, etc.

Dicho técnico realizará la descripción de los suelos y estimará la consistencia de los materiales cohesivos, encargándose también de la toma de, al menos, dos muestras para la realización de ensayos.

Las calicatas se volverán a rellenar inmediatamente, salvo que se solicite lo contrario para poder observar durante cierto tiempo la afluencia de agua, estabilidad de las paredes, etc.

Este método de investigación deteriora el sustrato base de cimentación, por lo que se recomienda evitar situarlas bajo puntos donde se proyecte apoyar zapatas o cerca de cimentaciones existentes, para prevenir problemas de estabilidad, descalces, etc.

Penetraciones dinámicas

Son los ensayos de Penetración Continua del tipo Borros, sustituidos últimamente por los ensayos D.P.S.H. Este tipo de ensayos consiste en hincar un utensilio metálico de dimensiones normalizadas (puntaza) en el suelo por golpeo o empuje. Debido a su continuidad permiten determinar la variabilidad y rigidez del suelo, su compacidad en profundidad y la localización de rellenos en cotas altas.

Por tanto, a partir de los resultados del ensayo, se puede obtener la resistencia dinámica Q_d del terreno mediante la fórmula holandesa de hincas, la cual estima la resistencia estática unitaria R_p (Buisson y otros). Finalmente, la carga admisible del terreno puede calcularse a partir de esta resistencia estática unitaria mediante diversas correlaciones (Sanglerat, Meyerhorf y otros).

La forma y el área de la puntaza, la sección del varillaje, el peso de la maza y la altura de la caída deben estar normalizados.

La información se suministrará mediante gráficos del ensayo, en los que se anotarán en abscisas el número de golpes para una penetración de 20 cm, y en ordenadas, hacia abajo, las profundidades de la puntaza del penetrómetro. Sobre este gráfico se realizará una representación más simplificada, determinando tramos en los que la resistencia a la penetración pueda considerarse constante, anotando en cada tramo la presión de hundimiento. El ensayo se dará por finalizado cuando se alcance el rechazo, es decir, cuando se superen los 100 golpes para un tramo de 20 cm de hincas.

Los ensayos de penetración dinámica se efectuarán conforme a la norma recomendada por el Subcomité Europeo de Normalización de Ensayos de Penetración.

Los terrenos más adecuados para este tipo de ensayos son arenas y limos arenosos, siendo de ninguna utilidad en terrenos rocosos, con presencia de bolos y gravas compactas, con niveles cementados o preconsolidados y en rellenos antrópicos de bloques y fragmentos gruesos.

Resistencia en terrenos blandos

En terrenos blandos, como arcillas no consolidadas, puede aplicarse el CPT (*Cone Penetration Test*) o cono holandés, que analiza la resistencia en punta y en el fuste del terreno según el avance, o el ensayo del molinete (*Vane Test*), utilizado para registrar la resistencia al corte "*in situ*" del terreno aplicando una torsión en punta.

Sondeos mecánicos

Estos sondeos son normalmente del tipo de extracción continua de testigo. Según avanza la perforación, se extraen muestras alteradas o inalteradas. También se efectúa el ensayo normalizado de penetración estándar (S.P.T.) en cada cambio de sustrato o cada 3 m en suelos con cohesión y cada 1,5 m en arenas.

Los testigos se ordenan, según la profundidad, en cajas para incorporar al informe y posible consulta. Una vez finalizado el sondeo, existe la posibilidad de dejar una tubería embebida para poder así evaluar el nivel freático.

En la realización de los S.P.T., se pondrá especial cuidado en que los valores obtenidos sean representativos, para lo que deberán tomarse las siguientes precauciones:

- Independientemente del tipo de suelo, debe evitarse que se produzca sedimentación del material en suspensión, para lo cual debe reducirse al mínimo el tiempo transcurrido entre la realización de la maniobra y la realización del ensayo.
- En el caso de arenas, debe evitarse el sifonamiento del fondo, manteniendo el nivel de agua en el sondeo y extrayendo la batería de forma lenta, con objeto de no producir una succión.
- En la columna del testigo se indicará la cota inicial y final del ensayo y el número de golpes por cada 15 cm de penetración.

El informe resultado de los trabajos recogerá la columna litológica de cada sondeo, así como fotografías originales de las cajas porta testigos. Asimismo, para cada uno de los sondeos se realizan las siguientes observaciones:

- Nivel de agua en el sondeo.
- Porcentajes de testigos, R.Q.D., grado de alteración de la roca, buzamiento de estratificación y juntas, rugosidad, alteración, espaciado y naturaleza de rellenos.
- Ensayos ejecutados en el interior de los sondeos y resultados de los mismos.
- Cotas de tomas de testigos parafinados o muestras y números asignados a los mismos.
- Tipo y dimensiones de los toma muestras empleados. Sistemas de penetración de los toma muestras.
- Tipo y dimensiones de los sistemas de rotación.
- Longitudes de penetración de los toma muestras, de las muestras extraídas y de las muestras conservadas.
- Peso de la maza y altura de caída en muestras tomadas a percusión. Número de golpes requeridos.

Los suelos más adecuados para la realización de este tipo de ensayo son los suelos granulares; en los suelos cohesivos los resultados obtenidos solo se pueden tomar como orientativos, ya que en este tipo de suelos, las presiones intersticiales y los rozamientos generados en el momento del golpeo afectan sustancialmente a los valores obtenidos.

6.2.2.3. Ensayos de laboratorio

Como se ha visto anteriormente, dependiendo de la naturaleza del terreno, será posible la ejecución de unos u otros ensayos, que buscan determinar las siguientes propiedades:

- Estado natural e identificación: para la identificación del terreno se usan ensayos que determinan su granulometría, plasticidad (Límites de Atterberg), expansibilidad, etc. Los ensayos que identifican el estado del terreno son los relacionados con su densidad aparente y humedad natural.
- Ensayos mecánicos: dentro de los ensayos de resistencia, se encuentra el ensayo de compresión simple, el de corte directo y los ensayos triaxiales en sus diferentes variantes.

- Ensayos de deformabilidad: Para conocer la deformabilidad del terreno, y para terrenos cohesivos, se emplea el edómetro; con este ensayo se pueden detectar los parámetros que determinan los asentamientos y el grado de consolidación del terreno.
- Ensayos químicos: También existen ensayos específicos para detectar las propiedades químicas y posible agresividad del suelo y agua a los cementos de los hormigones; en ellos se busca el contenido en sulfatos, pH, carbonatos y materia orgánica.

Ensayos geofísicos

Para estructuras de especial relevancia o significación, como pueden ser los túneles o los puentes, puede ser necesario o útil emplear estudios o ensayos geofísicos, no intrusivos, que posibilitan una mejora de la información del subsuelo para la estabilidad de la obra civil, permitiendo resolver problemas estructurales con mínimo impacto y, en bastantes ocasiones, con menor coste.

Los métodos más comúnmente utilizados son:

- Los métodos eléctricos más comunes, basados en la información que proporcionan los cambios de resistividad, son las calicatas electrónicas, los sondeos eléctricos verticales y las tomografías, que permiten delimitar cambios de materiales (utilizados en vertederos, valoración de escombreras y caracterización de la resistividad de materiales), caracterizar estructuras geológicas, detectar cavidades, etc., siendo estas últimas utilidades las más apropiadas para la auscultación de túneles.
- Los estudios sísmicos, que permiten valorar las propiedades elásticas de las rocas o valorar una estructura. El más utilizado es la sísmica de refracción y reflexión, que permite establecer los perfiles del suelo, resultando una técnica útil cuando no se pueden aplicar otras técnicas menos sofisticadas en el estudio de la estabilidad de suelos bajo estructuras existentes, como es el caso de puentes.

6.2.3. ENSAYOS SEGÚN EL TIPO DE ACTUACIÓN

6.2.3.1. Explanada y firmes

Se determinarán las características geotécnicas de la explanada de cara a su utilización como cimiento del firme; para ello, se realizarán sobre las muestras de suelo extraídas (mediante el método determinado por el proyectista) los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg.
- Ensayo de compactación estándar (Próctor Normal y Modificado).
- Ensayo de capacidad portante (Índice C.B.R.).
- Contenido en materia orgánica.
- Coeficiente de desgaste de Los Ángeles.

El número de ensayos será, al menos, uno por cada 10 km de camino y/o uno por tramos homogéneos, es decir, por cada tramo definido en la caracterización geomorfológica efectuada en el Estudio geológico, con un mínimo de tres ensayos por proyecto.

6.2.3.2. Estabilización de taludes

Se realizará una revisión visual de toda la traza, determinándose aquellos puntos que serán objeto de un estudio especial de estabilidad de taludes en aquellos tramos en los que se dé alguno de los siguientes supuestos:

- Altura de talud o de terraplén ≥ 10 m.
- Terraplenes sobre suelos inadecuados.
- Terraplenes a media ladera con inclinación $> 45^\circ$.
- Desmontes o terraplenes sobre laderas inestable.

Para cada uno de ellos, se establecerá un cuadro resumen indicando las medidas especiales a adoptar, incluyendo un plano de localización. El estudio sobre los taludes aparecerá como un apéndice del Estudio geológico y geotécnico del proyecto.

6.2.3.3. Estructuras y de nueva construcción

Para este tipo de actuaciones se realizará un informe específico que determinará las características de los apoyos y las cimentaciones de las mismas, en los siguientes casos:

- Pasarelas.
- Muros, de cualquier material, de más de 2 metros de altura.
- Pasos inferiores.

El informe incluirá un estudio de los riesgos geológicos: sísmicos, por hundimiento, por expansividad, por agresividad del suelo y del agua, así como por ripabilidad.

Se diseñará una campaña de investigación geotécnica que incluirá al menos un ensayo (calicata, penetración dinámica o sondeo) en cada uno de los estribos de la estructura, por paso inferior o por cada tramo de muro de más de 2 metros, con la toma de dos muestras por ensayo.

Con las muestras obtenidas se realizarán ensayos de laboratorio para poder definir las características geotécnicas y químicas de los materiales que forman las distintas capas del subsuelo de la zona de estudio, así como las propiedades químicas del agua en caso de existir un nivel freático.

Los ensayos de laboratorio necesarios son:

Ensayos de Identificación

- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg.

- Densidad aparente.
- Humedad natural.

Ensayos Mecánicos

- Ensayo de compresión simple.
- Ensayo de corte directo CU.
- Ensayo de capacidad portante (Índice C.B.R.).

Ensayos Químicos

- Contenido en sulfatos.
- Acidez de Baumann-Gully.
- Análisis químico de agua según la EHE-08.

En base a los resultados obtenidos, se calculará la resistencia del terreno para cada uno de los casos y se emitirán las recomendaciones para la cimentación de las estructuras. Dichos resultados serán los que se utilicen en los correspondientes cálculos del proyecto.

6.2.3.4. Rehabilitación de estructuras

Inicialmente se realizará una prospección visual de toda la estructura. En el caso de detectarse anomalías que comprometan la estabilidad de ésta, se redactará un informe complementario y exhaustivo, firmado por un técnico competente, y se realizará una campaña de ensayos, con las mismas características que en el caso de estructuras de nueva construcción, al objeto de recabar los datos necesarios para comprobar la estabilidad de estribos y pilas.

6.2.3.5. Adaptación de túneles al tránsito peatonal

En todos los casos, se redactará un informe sobre el estado geológico y geotécnico del túnel, con especial atención a las bocas de entrada y salida del túnel, incluyéndose en el mismo los siguientes puntos:

- Características estructurales: tipo de sección, revestimiento, alineación y drenaje.
- Aspectos geológicos: litología, hidrogeología, espesor de la montera, orientación de juntas y clasificación geomecánica.
- Descripción de los daños observados.
- Evolución previsible de los mismos.
- Propuesta de actuación.

En dicho informe, redactado por un técnico competente, se señalará que el túnel está en un estado aceptable de seguridad para su uso. En caso de que haya dudas al respecto, se deben de realizar los ensayos oportunos en cada caso, que permitan aclarar y concretar las reparaciones a realizar y que, a su vez, deben recogerse y valorarse en el proyecto.

6.2.4. CONCLUSIONES

Toda explanada a utilizar en un proyecto o estructura, de nuevo diseño o a rehabilitar, debe de tener su correspondiente estudio geológico-geotécnico, que permita al proyectista definir conjuntamente los parámetros necesarios para el cálculo justificativo de cada una de las unidades del proyecto.