



NOTA DE SERVICIO 3/2012
RECOMENDACIONES SOBRE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA EN LOS PROYECTOS
DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

La geología y la geotecnia constituyen uno de los condicionantes más importantes a la hora de decidir el trazado de las vías de comunicación. Estos aspectos deben tenerse en cuenta desde el Estudio Informativo, y resultarán especialmente relevantes en el Proyecto, cuando se deba escoger entre las posibles soluciones a los problemas concretos que la definición de la alternativa aprobada pueda plantear.

La importancia de las materias que se tratan en esta Nota de Servicio queda patente en la legislación vigente. Así pues, el Real Decreto 1812/1994, de 2 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Carreteras establece en su artículo 27.2.b la necesidad de incluir, en los Anexos a la Memoria, todos los datos geológicos y geotécnicos que se hubieran utilizado en la elaboración del Proyecto de Construcción. Asimismo, se incorporará a dichos Anexos:

"El estudio de yacimientos y procedencia de materiales."

Por otra parte, el Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, indica en su artículo 123.3, lo siguiente:

"Salvo que ello resulte incompatible con la naturaleza de la obra, el proyecto deberá incluir un estudio geotécnico de los terrenos sobre los que ésta se va a ejecutar, así como los informes y estudios previos necesarios para la mejor determinación del objeto del contrato."

El reconocimiento del terreno mediante la realización de prospecciones y ensayos de campo y laboratorio se encuentra recogida cualitativamente en numerosas normas españolas (normas UNE), y, en su defecto, europeas e internacionales. No obstante, la cuantificación de las prospecciones y ensayos que conforman una campaña geológico-geotécnica adecuada, para un Proyecto determinado, no es fácil



de determinar, dependiendo no sólo de las características de la zona en la que se ubica la actuación sino de la experiencia del técnico responsable de dicha campaña. Como consecuencia de este vacío normativo, se ha creído conveniente realizar una primera guía con recomendaciones generales para la definición de la campaña geológico-geotécnica en los Proyectos de carreteras, mediante la utilización de unos criterios objetivos y comunes a toda la Dirección General de Carreteras.

Una vez realizados los trabajos, resulta asimismo necesario:

- Redactar un informe geotécnico, firmado por técnico o técnicos competentes en la materia, que incluya, además de la recopilación de los reconocimientos realizados y la presentación de los resultados de los ensayos de campo y laboratorio llevados a cabo, la interpretación de dichos resultados, la validez de los materiales propuestos y las recomendaciones necesarias para el diseño y construcción de las explanadas, las cimentaciones de las estructuras y los túneles.
- Justificar por escrito en el Proyecto y recoger, al menos, en la Memoria tanto los valores de los parámetros geotécnicos definitivamente adoptados, como la imposibilidad de realizar determinadas prospecciones prescritas en la campaña de reconocimientos prevista.

Las "Recomendaciones sobre la campaña geotécnica en los proyectos de la Dirección General de Carreteras" se adjuntan como Anexo a la presente Nota de Servicio.

Madrid, a 27 de noviembre de 2012
LA SUBDIRECTORA GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Fdo.: Fuencisla Sancho Gómez



ANEXO A LA NOTA DE SERVICIO 3/2012
RECOMENDACIONES SOBRE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA EN LOS PROYECTOS
DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

ÍNDICE

1. Objeto y alcance del documento
2. Investigación geológico-geotécnica en Estudios y Proyectos
 - 2.1. Estudio Informativo
 - 2.2. Proyecto
 - 2.2.1. Proyecto: Trabajos previos
 - 2.2.2. Proyecto: Avance del Proyecto de Trazado
 - 2.2.3. Proyecto: Maqueta del Proyecto de Trazado
 - 2.2.4. Proyecto: Maqueta del Proyecto de Construcción
 - 2.2.5. Proyecto de Construcción
3. Elementos constructivos del trazado
4. Desmontes
 - 4.1. Generalidades
 - 4.2. Caracterización geológico-geotécnica
 - 4.2.1. Prospecciones en suelo
 - 4.2.2. Prospecciones en roca
 - 4.3. Caracterización de los materiales
 - 4.4. Condiciones de excavabilidad
 - 4.5. Condiciones hidrogeológicas y de drenaje
 - 4.6. Condiciones de estabilidad
 - 4.7. Caracterización de la explanada
5. Rellenos
 - 5.1. Generalidades
 - 5.2. Caracterización geológico-geotécnica del terreno de apoyo
 - 5.2.1. Prospecciones en suelo: caso general de ausencia de suelos blandos
 - 5.2.2. Prospecciones en suelos blandos
 - 5.2.3. Prospecciones en roca



- 5.3. Caracterización de los materiales
- 5.4. Condiciones hidrogeológicas y de drenaje
- 5.5. Condiciones de estabilidad
- 5.6. Caracterización de la explanada
- 6. Préstamos, yacimientos granulares, canteras y vertederos
 - 6.1. Generalidades
 - 6.2. Préstamos
 - 6.3. Canteras y yacimientos granulares
 - 6.3.1. Rellenos
 - 6.3.2. Capas granulares
 - 6.3.3. Materiales tratados con cemento
 - 6.3.4. Áridos para mezclas bituminosas
 - 6.3.5. Áridos para capas de hormigón
 - 6.4. Vertederos
- 7. Cimentación de estructuras
 - 7.1. Generalidades
 - 7.2. Caracterización geológico-geotécnica del terreno de cimentación
 - 7.2.1. Prospecciones
 - 7.2.2. Ensayos
- 8. Túneles
 - 8.1. Generalidades
 - 8.2. Caracterización geológica, geotécnica e hidrogeológica
 - 8.2.1. Boquillas
 - 8.2.2. Túnel

APÉNDICE I: GLOSARIO DE SÍMBOLOS

APÉNDICE II: VALOR DE LOS PARÁMETROS

APÉNDICE III: TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS

APÉNDICE IV: OBSERVACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN LAS PROSPECCIONES



1.- OBJETO Y ALCANCE DEL DOCUMENTO

Las recomendaciones para el establecimiento de la campaña geotécnica pretenden establecer unos criterios generales para la realización de las prospecciones y los ensayos necesarios para el reconocimiento del subsuelo durante la redacción de los Proyectos de carreteras.

Los criterios se establecen para un Proyecto tipo, absolutamente genérico, que cubra un porcentaje significativo de las actuaciones llevadas a cabo por la Dirección General de Carreteras. En concreto, las líneas generales se desarrollan para nuevos tramos de carretera y variantes de población.

La definición de la investigación geotécnica con base en estos criterios no se dirige, expresamente, a los casos de terrenos u obras con especial dificultad desde los puntos de vista geológico y geotécnico. No obstante, se entiende que la correcta realización e interpretación de la campaña definida en este documento debe, al menos, permitir la detección de los principales problemas geotécnicos, aunque posteriormente se requiera un estudio de detalle específico. Como relación, no exhaustiva, de casos que suelen presentar una especial dificultad geológico-geotécnica se encuentran:

- Paleodeslizamientos y otras zonas geomorfológicamente inestables.
- Zonas cársticas o con peligro de hundimiento (colapso o subsidencia).
- Zonas con predominio de sales solubles, materiales expansivos, colapsables u otro tipo de materiales marginales.
- Existencia de acuíferos o zonas con nivel freático superficial.

Las magnitudes que se expresan en este documento mediante valores numéricos presentan, en general, el carácter de mínimas o máximas, estando siempre del lado de la seguridad. El Director del Contrato podrá proponer otros valores distintos con el fin de definir una campaña más ajustada a un Proyecto concreto. Cuando éste sea el caso, deberá justificarse explícitamente en el Proyecto.

2.- INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA EN ESTUDIOS Y PROYECTOS

La campaña de reconocimientos deberá realizarse en fases sucesivas, de intensidad creciente, debiendo corregirse conforme se avance en la redacción del Proyecto y se conozcan con mayor precisión las características (volumen, longitud, altura, ubicación, etc.) de cada uno de los rellenos, desmontes, préstamos, canteras, yacimientos granulares



y vertederos, estructuras y túneles que conformen el Proyecto, tanto en el tronco del trazado como fuera de él.

2.1.- ESTUDIO INFORMATIVO

Las necesidades geológico-geotécnicas que es preciso cubrir en un Estudio Informativo vienen reflejadas en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la redacción de los estudios informativos. Esta información se centra en los siguientes aspectos:

- El estudio geológico y de viabilidad geotécnica de todas las alternativas estudiadas, y, fundamentalmente, de la solución definitivamente propuesta para ser aprobada, que servirá de base para el establecimiento de la campaña geológico-geotécnica del correspondiente Proyecto. Se prestará especial atención a la localización e identificación de posibles problemas o condicionantes geológicos (suelos o rocas expansivas, inestabilidad de laderas, zonas carstificadas, etc.) que puedan ser afectados por la ejecución de las obras. Se tendrá en cuenta la información contenida en las publicaciones "Estudios Previos de Terrenos" del Ministerio de Fomento.
- La realización de una campaña geotécnica tendrá como principal objetivo estudiar los posibles problemas geológicos y evaluar de forma preliminar los parámetros geotécnicos de las formaciones atravesadas por la traza.
- El análisis de la situación de los préstamos y vertederos de la zona, así como de las canteras y yacimientos granulares, desde el punto de vista geológico-geotécnico (principalmente en lo referente a la caracterización de los materiales, en calidad y cantidad) y desde el punto de vista medioambiental (existencia de estudio de impacto ambiental, necesidad de inicio de la tramitación ambiental, etc.).

2.2.- PROYECTO

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la redacción de Proyectos establece las distintas fases en las que se divide el proceso de redacción de un Proyecto de la Dirección General de Carreteras, contemplando el tiempo de ejecución de los trabajos y el contenido de los documentos que el Consultor debe entregar en cada una de las etapas.

El estudio geológico-geotécnico sigue este desarrollo por fases, y se va completando a medida que avanza su elaboración. Tiene como antecedente principal la información procedente del Estudio Informativo, cuando éste existe. Así pues, las exigencias en relación



con la geología y la geotecnia, para cada fase, y su correspondiente contenido, se pueden resumir como se indica a continuación.

2.2.1.- PROYECTO: TRABAJOS PREVIOS

En esta fase se presenta el estudio geológico preliminar a partir de la investigación geológica de superficie y se analizan zonas concretas a evitar en el trazado definitivo (condicionantes geológico-geotécnicos del trazado) o zonas que requieren una campaña geotécnica especial.

Se realiza, asimismo, una evaluación preliminar del balance de tierras según los tanteos iniciales del trazado. Se determina la necesidad de préstamos y/o vertederos. Se indican cuáles son las unidades geológicas apropiadas para la obtención de materiales, en caso de ser necesarias.

Por último, se realiza una propuesta de la campaña geotécnica, con los reconocimientos y ensayos de campo y laboratorio que se deben llevar a cabo para caracterizar los terrenos afectados por los elementos constructivos del trazado. Todas las prospecciones propuestas se representan en planos de planta y perfil longitudinal.

2.2.2.- PROYECTO: AVANCE DEL PROYECTO DE TRAZADO

En esta fase debe estar finalizado el Anejo "Geología y procedencia de materiales".

Se presenta el avance del informe geotécnico del corredor, estudiándose los desmontes, rellenos, yacimientos, canteras y préstamos mediante la caracterización de sus materiales, caracterización de las explanadas, definición de taludes estables, condiciones de estabilidad, etc.

Se determinan los materiales necesarios para la obra, indicándose los volúmenes necesarios de cada tipo requerido. Se analiza la posibilidad de aprovechar los materiales de la traza o la necesidad de recurrir a yacimientos, canteras y préstamos. En caso de existir sobrantes de tierras o terrenos inadecuados para su empleo, se deben localizar emplazamientos de vertederos con volumen suficiente para almacenar las tierras sobrantes.

Para completar la fase, se incluye el avance del estudio geológico de los túneles y una evaluación preliminar de la cimentación de las estructuras, realizándose una propuesta de campaña geotécnica con las prospecciones necesarias para el estudio tanto de los túneles como de la cimentación de todas las estructuras.



2.2.3.- PROYECTO: MAQUETA DEL PROYECTO DE TRAZADO

En esta fase debe estar finalizado el Anejo "Geotecnia del corredor", completando la documentación incluida en la fase anterior con la justificación explícita de las decisiones y los valores geotécnicos adoptados.

Con base en la documentación existente (planos de trazado, secciones tipo, taquimétricos de las zonas en que se ubicarán las estructuras, perfiles del estudio geotécnico, fotografías, visitas que procedan al terreno, etc.), se deberá preparar la documentación que resulte necesaria para situar las estructuras, realizándose las prospecciones geotécnicas que, complementando y detallando las del estudio geotécnico del corredor, definan la ubicación de las cimentaciones con la mayor exactitud posible.

De la misma manera que en el caso de las estructuras, se procederá con los túneles. Se deberá confirmar el trazado de los túneles, prestando especial atención a la ubicación de las boquillas, y presentar el avance de su correspondiente informe geotécnico.

2.2.4.- PROYECTO: MAQUETA DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

En esta fase debe estar finalizado el Anejo "Estudio geotécnico de la cimentación de estructuras y túneles".

Para cada una de las obras de fábrica que se proyecten y en función del resultado de la campaña propuesta en las fases anteriores, se presenta la identificación geológico-geotécnica de los materiales y se incluyen los resultados obtenidos para justificar la tipología y las dimensiones de las cimentaciones y de los modelos que se establezcan para evaluar la interacción suelo-estructura.

Para cada uno de los túneles que se proyecten y en función del resultado de la campaña propuesta en las fases anteriores, se incluye la identificación geológico-geotécnica de los materiales y la caracterización geomecánica, hidrogeológica y de alterabilidad del macizo, y de la traza del túnel en particular. Todo ello debe representarse en planos de planta, a escala 1:1 000 ó 1:500, con la situación de las prospecciones realizadas y el perfil geotécnico del túnel a la misma escala, con los datos de los estudios geológicos e hidrogeológicos, completado con los resultados de las prospecciones realizadas. Los perfiles geotécnicos de las zonas de boquillas se realizan, independientemente del resto del túnel, con la mayor precisión posible.



2.2.5.- PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

Finalmente, se dispone del Proyecto de Construcción como desarrollo completo de la solución óptima, con el detalle necesario para hacer factible su construcción y posterior explotación.

Los Anejos que, en relación con la geología y la geotecnia, finalmente forman parte de un Proyecto son los siguientes:

- "Geología y procedencia de materiales": se recoge y analiza la información bibliográfica y la fotogeología de la zona que, conjuntamente con los trabajos de campo desarrollados, permiten hacer una diferenciación de las distintas unidades litoestratigráficas, identificar las principales formaciones geológicas y, con todo ello, confeccionar la cartografía geológica de detalle del Proyecto. Incluye la descripción geológica de la zona y la litología de los materiales observados, lo que sirve de base para la discretización de las distintas unidades geológico-geotécnicas.
- "Estudio geotécnico del corredor": recoge la información sobre los trabajos de campo y laboratorio realizados, así como su interpretación. Se justifican explícitamente todos los valores geotécnicos adoptados y las decisiones de diseño tomadas. Contiene una descripción geotécnica del trazado, así como los planos de planta y perfiles geotécnicos, el estudio de los materiales de los desmontes, rellenos, yacimientos, canteras y préstamos, la caracterización de las explanadas e incluye, en los apéndices necesarios, toda la documentación que haya permitido desarrollar el estudio geotécnico del corredor.
- "Estudio geotécnico de la cimentación de estructuras y túneles": recoge la información de los trabajos de campo y laboratorio realizados, así como su interpretación, en los puntos singulares donde se sitúan las cimentaciones de las estructuras y los túneles. Se justifican explícitamente todos los valores geotécnicos adoptados y las decisiones de diseño tomadas. El estudio geotécnico de la cimentación de estructuras debe permitir definir la tipología estructural de cada uno de los apoyos. El estudio geotécnico de los túneles debe concretar su trazado desde el punto de vista geotécnico, definir el método de perforación y las cargas a considerar en el cálculo de los revestimientos, si éstos son necesarios, y concretar la posibilidad de aparición de surgencias de agua y su incidencia en el túnel. Se estudia, asimismo, la posible influencia de la ejecución de estos elementos singulares, cimentación de estructuras y túneles, en los cursos de agua y acuíferos



existentes. Toda esta información se presenta en los correspondientes planos de planta y perfiles geotécnicos.

3.- ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL TRAZADO

Para la realización de la campaña geotécnica en fase de Proyecto, la totalidad del trazado (que incluye tanto el tronco principal como los enlaces, reposiciones de carreteras, vías de servicio, etc.) se considerarán los siguientes elementos:

- Desmontes
- Rellenos
- Estructuras
- Túneles

Asimismo, se identificará, la ubicación de:

- Préstamos
- Yacimientos granulares y canteras
- Vertederos
- Plantas de suministro de áridos, mezclas bituminosas y hormigones

Las zonas de préstamos, yacimientos, canteras y vertederos se ubicarán prestando especial atención al entorno medioambiental.

Para todos estos elementos deberán realizarse las prospecciones y los ensayos de campo y laboratorio que permitan caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman cada uno de los elementos del Proyecto. Se entiende por unidad geológico-geotécnica cada una de las capas o zonas de terreno con propiedades litológicas, de estado, resistencia y deformabilidad comunes.

La información obtenida de los reconocimientos y la utilizada durante la realización del Proyecto se incluirá en planos de planta y perfil longitudinal, y se presentará en cuadros-resumen con indicación del punto kilométrico (P.K.) o progresiva (D.O.) del Proyecto, distancia al eje de la traza, situación respecto al eje de la traza (derecha o izquierda) y profundidad.



4.- DESMONTES

4.1.- GENERALIDADES

Todos los desmontes del Proyecto, tanto los ubicados dentro como fuera del tronco principal (enlaces, reposiciones de carreteras, vías de servicio, caminos, etc.) se estudiarán a fin de conocer las características y la geometría de las distintas unidades geológico-geotécnicas a lo largo del mismo, establecer las condiciones de excavabilidad de sus materiales, determinar las condiciones hidrogeológicas, evaluar la estabilidad de los taludes, conocer las condiciones del fondo de la excavación para el diseño de la explanada y establecer la posible utilización de los materiales obtenidos de la excavación.

4.2.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Las prospecciones y los ensayos deberán servir para caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman cada uno de los desmontes del Proyecto. En caso de identificarse formaciones geológicas no horizontales, en las que los contactos de unidades litológicas tuvieran un buzamiento significativo o se detectaran fallas, tendrán que reducirse las separaciones entre prospecciones para asegurar la caracterización de todas las unidades geológico-geotécnicas del desmonte.

Las prospecciones deberán llevarse a cabo siguiendo, preferentemente, el eje del desmonte, salvo que se deduzca otra alineación más apropiada del resultado de la investigación geológica, como podría ser el caso de formaciones geológicas desfavorables a la estabilidad de los taludes.

Se distinguirán los desmontes constituidos por los siguientes terrenos, identificados mediante el estudio geológico de la traza:

- Suelos: arcillas, limos, arenas y gravas, y rocas muy débiles ($RCS^1 < 1 \text{ MPa}$), fuertemente diaclasadas ($RQD^2 < 10\%$) o que estén bastante o muy meteorizadas (grado de meteorización igual o mayor que IV según la clasificación ISRM³).
- Rocas: las no incluidas en el párrafo anterior.

4.2.1.- Prospecciones en suelo

Las prospecciones, independientemente de la altura máxima de cada desmonte, H_i^D , serán principalmente sondeos mecánicos a rotación que alcancen una profundidad mínima, z_s^D ,

¹ Resistencia a Compresión Simple

² Índice de Calidad de la Roca

³ Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas



bajo la subrasante. Se realizarán espaciados con una determinada separación, L_s^D . A los efectos de este documento, el valor de estos parámetros por defecto se recoge en el Apéndice II. En desmontes geológicamente homogéneos, el número de reconocimientos se establecerá en función de la longitud de cada desmonte, L_i^D , a partir de la expresión [1], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo.

$$S_i^D = \frac{L_i^D}{L_s^D} \quad [1]$$

donde S_i^D es el número mínimo de sondeos en cada desmonte. En desmontes geológicamente heterogéneos, este número mínimo de sondeos se fijará para cada una de las zonas que sí puedan considerarse litológicamente homogéneas dentro de cada desmonte.

Con el fin de obtener material suficiente para la caracterización de las muestras de suelo, el diámetro de la perforación en los sondeos deberá ser igual o superior a 101 mm.

Los sondeos realizados se complementarán con calicatas que servirán para caracterizar los materiales situados en la parte superior de los desmontes. Se realizarán espaciadas con una determinada separación, L_c^D , y alcanzarán una profundidad mínima, z_c^D . A los efectos de este documento, el valor de estos parámetros por defecto se recoge en el Apéndice II. En desmontes geológicamente homogéneos, el número de calicatas se establecerá en función de la longitud de cada desmonte, L_i^D , a partir de la expresión [2], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo.

$$C_i^D = \frac{L_i^D}{L_c^D} \quad [2]$$

donde C_i^D es el número mínimo de calicatas en cada desmonte.

Para las zonas de desmonte de pequeña altura, las prospecciones podrán ser calicatas, en aquellos terrenos excavables con medios mecánicos, siempre que alcancen una profundidad mínima, z_c^D , de un metro (1 m) bajo la subrasante.

Cuando el Director del Contrato lo considere justificado, en las zonas de desmonte de pequeña altura, se realizarán ensayos de penetración dinámica acompañando a las calicatas con el objeto de evaluar la resistencia del subsuelo en el fondo del desmonte. La profundidad de estos ensayos será la necesaria para alcanzar el rechazo.



4.2.2.- Prospecciones en roca

La investigación se realizará mediante sondeos a rotación que alcancen una profundidad mínima, z_s^D , bajo la subrasante. Los sondeos se realizarán espaciados con una determinada separación, L_s^D . A los efectos de este documento, el valor de estos parámetros por defecto se recoge en el Apéndice II. En desmontes geológicamente homogéneos, el número de reconocimientos se establecerá en función de la longitud de cada desmonte, L_i^D , a partir de la expresión [1], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo. En desmontes geológicamente heterogéneos, este número mínimo de sondeos se fijará para cada una de las zonas que sí puedan considerarse litológicamente homogéneas dentro de cada desmonte.

Con el fin de obtener material suficiente para la caracterización de las muestras de roca, el diámetro de la perforación en los sondeos deberá ser igual o superior a 86 mm.

En los desmontes en roca, los reconocimientos podrán complementarse con calicatas que servirán para caracterizar los materiales situados en su parte más superficial y alterada. En desmontes geológicamente homogéneos, el número de calicatas se establecerá en función de la longitud de cada desmonte, L_i^D , a partir de la expresión [2], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo.

Cuando se hayan efectuado diferentes reconocimientos y pueda constatarse fehacientemente la presencia de sustrato suficientemente competente, el Director del Contrato podrá autorizar una mayor separación en la ejecución de los sondeos.

4.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

La caracterización de los materiales obtenidos de los desmontes no podrá omitir ninguno de los conceptos o ensayos referidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). En ningún caso una muestra podrá clasificarse conforme a los criterios de aptitud especificados en el PG-3 (artículos 330, 331 y 333), si previamente no se han efectuado sobre ella todos y cada uno de los ensayos referidos en dicho Pliego, según el tipo de relleno de que se trate (Tabla 1).

Cuando se hayan efectuado diferentes ensayos y pueda constatarse fehacientemente la ausencia de alguna propiedad necesaria para una determinada clasificación de suelo o roca, el Director del Contrato podrá autorizar la no realización de algunos de los ensayos que figuran en el PG-3, debiendo dejar constancia escrita en el Proyecto e incluyendo la justificación de las causas de dicha omisión. Algunos ejemplos podrían ser los ensayos de



hinchamiento libre en arenas finas, limpias y homogéneas o los ensayos de contenido de yesos en zonas en las que, por su historia geológica, pueda confirmarse su ausencia total.

Tabla 1.- Ensayos de clasificación de materiales según el PG-3

ARTÍCULOS	APARTADOS	ENSAYOS
330 Terraplenes	330.3.3 330.3.4 330.4.4	Análisis granulométrico Límites de Atterberg Colapso en suelos, con muestra remoldeada según Próctor normal (PN) Hinchamiento libre en edómetro, con muestra remoldeada según Próctor normal (PN) Contenido de yeso y otras sales solubles Contenido de materia orgánica
331 Pedraplenes	331.4	Análisis granulométrico Forma de las partículas Calidad de la roca: - Resistencia - Alterabilidad - Ensayo de desmoronamiento - Estabilidad frente a los ciclos humedad-sequedad
333 Rellenos todo-uno	333.4	Análisis granulométrico Calidad del material: - Ensayo de desmoronamiento en agua - Análisis químico - Contenido de yeso y otras sales solubles - Contenido de materia orgánica Estudios especiales para rocas marginales

En cada uno de los desmontes identificados en el tramo, el número mínimo de caracterizaciones completas a efectuar de acuerdo con el PG-3, n_{ij}^D , se determinará considerando el volumen de cada una de las unidades geológico-geotécnicas que lo constituyen, V_{ij}^D , con la frecuencia establecida en la Tabla 2.

Tabla 2.- Número mínimo de caracterizaciones, por unidad geológico-geotécnica, en cada desmonte

Volumen del desmonte V_{ij}^D (m ³)	Nº de caracterizaciones completas n_{ij}^D (ud)
≤ 50 000	2
100 000	3
250 000	5
500 000	8
1 000 000	12
2 000 000	17
> 2 000 000	17 + 3 ud/1 Mm ³ de exceso o fracción



Una vez caracterizados todos los materiales obtenidos de los desmontes, se hará una propuesta de su posible utilización en los elementos de la propia obra, teniendo en cuenta las observaciones del artículo 330.4 del PG-3.

Si los materiales procedentes de desmontes se destinan a fines distintos de la ejecución de rellenos, como la formación de suelos estabilizados (apartado 4.7), capas granulares (apartado 6.3.2), tratadas con cemento (apartado 6.3.3), mezclas bituminosas (apartado 6.3.4) o capas de hormigón (apartado 6.3.5), se llevarán a cabo los ensayos prescritos en sus correspondientes apartados, con la frecuencia en ellos indicada.

Los excedentes de excavación que no se vayan a utilizar en la compensación de tierras del propio Proyecto, pero puedan ser aprovechados en otras actuaciones, se identificarán de acuerdo con los criterios de frecuencia definidos en la Tabla 2, salvo que su destino sea vertedero o escombrera.

4.4.- CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD

La excavabilidad de los desmontes y la elección de su procedimiento de ejecución deberán definirse a través de la información obtenida en el estudio geológico y en la campaña ya definida en este apartado 4. Dicha campaña se ampliará mediante sísmica de refracción, que deberá extenderse a la totalidad de la longitud de los desmontes en roca o terrenos consolidados. En los casos en que no se cumplan las condiciones para la realización de este tipo de prospección geofísica, se podrá realizar tomografía eléctrica a fin de obtener la estructura y resistividad de los materiales en el subsuelo. En función de la velocidad de propagación de las ondas P deberá deducirse si el material es excavable, ripable o requiere voladura (Apéndice III).

4.5.- CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS Y DE DRENAJE

La caracterización hidrogeológica general se realizará, habitualmente, a partir de la información disponible sobre los puntos de agua inventariados en la zona y de la información obtenida durante la campaña de prospecciones.

A partir de los datos hidrogeológicos obtenidos y en el caso de que la subrasante se encuentre debajo del nivel freático o se afecten niveles acuíferos, se efectuará un estudio hidrogeológico del desmonte a fin de determinar la situación de la superficie freática, dirección del flujo subterráneo y caudal de flujo para poder diseñar el sistema de drenaje.

En los casos en que existieran extracciones o aprovechamientos de agua subterránea en las inmediaciones del desmonte, el Director del Contrato añadirá a la campaña una



evaluación de la incidencia que tendría el rebajamiento de la superficie freática durante la excavación y drenaje del desmante.

En los sondeos y calicatas que se realicen, se seguirán las recomendaciones del apéndice IV relativas a las observaciones hidrogeológicas en las prospecciones, especialmente en lo referente al seguimiento del nivel freático, ensayos de permeabilidad in situ y ensayos de bombeo.

4.6.- CONDICIONES DE ESTABILIDAD

A partir de los reconocimientos y ensayos llevados a cabo (Apéndice III), se obtendrán los valores de los parámetros que servirán de base para la realización de los correspondientes cálculos de estabilidad de los desmontes, para los que será imprescindible tener en cuenta las observaciones relativas a los niveles piezométricos (Apéndice IV), que influirán decisivamente en los cálculos. Por otra parte, se contará con la información procedente del inventario de taludes, las estaciones geomecánicas, la interpretación fotogeológica, etc.

Una vez realizadas e interpretadas las prospecciones, los ensayos, los cálculos, los inventarios y demás cuestiones referidas, se deberá concluir la definición de las litologías y la geometría de cada uno de los desmontes, incluyendo expresamente la definición de los ángulos estables de sus taludes, que podrán ser diferentes en un mismo perfil transversal, según litologías, e incluso para cada una de las márgenes.

4.7.- CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLANADA

Las características de los materiales del fondo de la excavación de los desmontes permitirán llevar cabo el dimensionamiento de la explanada, de acuerdo con la Norma 6.1-IC "Secciones de firme".

Tabla 3.- Materiales para la formación de la explanada

SÍMBOLO	MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3
IN	Suelo inadecuado o marginal	330
0	Suelo tolerable	
1	Suelo adecuado	
2 y 3	Suelo seleccionado	
S-EST1	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	512
S-EST2		
S-EST3		
R	Roca	-



La formación de la explanada depende del tipo de terreno natural encontrado en el fondo de los desmontes, suelos o rocas, caracterizado según el apartado 4.3, siendo los materiales de los que puede estar constituida los que figuran en la Tabla 3.

En el caso de los suelos inadecuados o marginales, su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir suelos S-EST1 o S-EST2.

Los materiales que se vayan a estabilizar in situ con cal o con cemento serán suelos que no contengan en ningún caso materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado, en el caso de que se emplee cemento). Los materiales que se vayan a estabilizar con cemento no presentarán reactividad potencial con los álcalis de éste.

De cada tipo de suelo que se vaya a estabilizar in situ, se tomarán, como mínimo, las muestras indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4.- Número mínimo de muestras a ensayar para suelos estabilizados in situ

Volumen del suelo $V_i^{S-EST} (m^3)$	Nº de muestras a ensayar $n_i^{S-EST} (ud)$
$\leq 25\ 000$	2
$> 25\ 000$	2 + 1 ud/10 000 m ³ de exceso o fracción

Sobre cada muestra, se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría de suelos por tamizado (UNE 103101)
- Límite líquido e índice de plasticidad (UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente)
- Contenido de materia orgánica oxidable de un suelo (UNE 103204)
- Contenido de sulfatos solubles de un suelo (UNE 103201)

En el caso de que el suelo sea clasificado como tolerable según el PG-3, se realizarán, adicionalmente, los ensayos de colapso (UNE 103406) e hinchamiento (UNE 103601).

5.- RELLENOS

5.1.- GENERALIDADES

Todos los rellenos del Proyecto, tanto los ubicados dentro como fuera del tronco principal (enlaces, reposiciones de carreteras, vías de servicio, caminos, etc.), se estudiarán a fin de



establecer la idoneidad del apoyo, su compacidad, la utilización del material adecuado para su ejecución y la estabilidad global del relleno y la cimentación.

5.2.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE APOYO

Las prospecciones y los ensayos deberán servir para caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman el apoyo de cada uno de los rellenos del Proyecto. En caso de identificarse formaciones geológicas no horizontales, en las que los contactos de unidades litológicas tuvieran un buzamiento significativo o se detectaran fallas, tendrán que reducirse las separaciones entre las prospecciones para asegurar la caracterización de todos los tramos geológico-geotécnicos del apoyo del relleno.

Las prospecciones deberán llevarse a cabo siguiendo, preferentemente, el eje del relleno, salvo que se deduzca otra alineación más problemática de la investigación geológica.

Se distinguirán los rellenos apoyados sobre los siguientes terrenos, identificados a partir del estudio geológico de la traza:

- Suelos, considerándose como tales los así descritos en el apartado 4.2 de este documento a excepción de los definidos, a continuación, como suelos blandos.
- Suelos blandos. A los efectos de este documento, se consideran suelos blandos:
 - Los depósitos de marjales, marismas, deltas fluviales, etc., de alta deformabilidad (deformaciones superiores al 4% del espesor afectado).
 - Los suelos granulares con valores de $SPT^4 < 4$ (muy suelto) ó $4 < SPT < 10$ (suelto).
 - Los suelos cohesivos con valores de $SPT < 2$ (consistencia muy blanda) ó $2 < SPT < 4$ (consistencia blanda) o con valores de la resistencia al corte sin drenaje inferiores a veinticinco kilopascales ($S_u < 25$ kPa).
 - Los suelos susceptibles de colapso por inundación.
- Rocas, considerándose como tales las así definidas en el apartado 4.2 de este documento.

5.2.1.- Prospecciones en suelo: caso general de ausencia de suelos blandos

La investigación podrá efectuarse bien mediante prospecciones compuestas por calicatas y ensayos de penetración dinámica, bien mediante sondeos, en función de la altura máxima de cada relleno, H_i^R .

⁴ Ensayo de penetración estándar



En las zonas de relleno de altura menor o igual a cuatro metros (4 m), las prospecciones podrán ser calicatas, en aquellos terrenos excavables con medios mecánicos, siempre que alcancen una profundidad mínima, z_c^R , bajo el terreno natural, y se realizarán espaciadas con una determinada separación, L_c^R . A los efectos de este documento, el valor de estos parámetros por defecto se recoge en el Apéndice II. En terrenos geológicamente homogéneos, el número de calicatas se establecerá en función de la longitud de cada relleno, L_i^R , a partir de la expresión [3], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo.

$$C_i^R = \frac{L_i^R}{L_c^R} \quad [3]$$

donde C_i^R es el número mínimo de calicatas en cada relleno.

En las proximidades de cada calicata deberá realizarse adicionalmente, al menos, un (1) ensayo de penetración dinámica, coincidiendo, por tanto, el número mínimo de estos ensayos en cada relleno, P_i^R , con el de calicatas, C_i^R , de acuerdo con la expresión [4]. La profundidad de estos ensayos será la necesaria para alcanzar el rechazo.

$$P_i^R = C_i^R \quad [4]$$

En las zonas de relleno de altura superior a cuatro metros (4 m), y en aquellas de altura menor o igual a cuatro metros (4 m) en las que la maquinaria de excavación no permita alcanzar las profundidades z_c^R bajo el terreno natural, se llevarán a cabo sondeos mecánicos a rotación. En terrenos geológicamente homogéneos, el número de reconocimientos se establecerá en función de la longitud de cada relleno, L_i^R , a partir de la expresión [5], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo, y se realizarán espaciados con una determinada separación, L_s^R . A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II.

$$S_i^R = \frac{L_i^R}{L_s^R} \quad [5]$$

donde S_i^R es el número mínimo de sondeos en cada relleno.

Los sondeos se llevarán a cabo de forma que alcancen la profundidad mínima, z_s^R , bajo el terreno natural determinada por la expresión [6], salvo que aparezca roca o un sustrato competente en el que no se produzcan asientos significativos.



$$z_s^R = H_i^R + 5 \quad [6]$$

Para alturas de relleno superiores a cuarenta metros (40 m), se realizará un estudio específico del terreno de apoyo.

Con el fin de obtener material suficiente para la caracterización de las muestras de suelo, el diámetro de la perforación en los sondeos deberá ser igual o superior a 101 mm.

5.2.2.- Prospecciones en suelos blandos

En el caso particular de rellenos cimentados sobre suelos blandos, la investigación deberá efectuarse mediante sondeos y ensayos de penetración estática con medida de presiones intersticiales (piezocono o CPTU), independientemente de la altura del relleno, H_i^R .

Las prospecciones se realizarán espaciadas con una determinada separación, L_E^{SB} . A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II. El número mínimo de prospecciones se establece en función de la longitud total del relleno, L_i^R , redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo, según la expresión [7] y la expresión [8]. Los reconocimientos se llevarán a cabo de manera que se realice un ensayo de penetración estática por cada dos sondeos.

$$S_i^{SB} = \frac{2L_i^R}{3L_E^{SB}} \quad [7]$$

$$E_i^{SB} = \frac{L_i^R}{3L_E^{SB}} \quad [8]$$

donde S_i^{SB} y E_i^{SB} son el número mínimo de sondeos y ensayos de penetración estática CPTU, respectivamente, bajo el terreno de apoyo de cada relleno, en el caso particular de suelos blandos.

La profundidad de los sondeos será la necesaria para asegurar que se alcanza el sustrato competente o una zona en la que no se produzcan asientos significativos, penetrando en el terreno un mínimo de tres metros (3 m).

5.2.3.- Prospecciones en roca

La investigación se realizará mediante sondeos a rotación que alcancen una profundidad mínima, z_s^R , bajo el terreno natural, que vendrá dada por la expresión [9]. Los sondeos se realizarán espaciados con una determinada separación, L_s^R . A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II. En terrenos



geológicamente homogéneos, el número de reconocimientos se establecerá en función de la longitud de cada desmonte, L_i^R , a partir de la expresión [5], redondeando el resultado al valor del entero superior más próximo.

$$z_s^R = 0,5H_i^R \quad [9]$$

La ampliación de los reconocimientos mediante prospección geofísica deberá extenderse a la totalidad de la longitud de los rellenos apoyados en roca o formaciones consolidadas en los casos donde en los que se prevea la presencia de unidades suprayacentes duras y otras infrayacentes más blandas (Apéndice III).

5.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

La formación de los rellenos del Proyecto (terraplenes, pedraplenes o rellenos todo-uno), dependerá de las características y volúmenes de los materiales aprovechables de los desmontes (apartado 4.3 de este documento) y, en caso de que estos no sean suficientes, de los materiales obtenidos de los préstamos, canteras y yacimientos granulares estudiados en el Proyecto (apartado 6.2 y apartado 6.3 de este documento).

En la construcción de terraplenes debe distinguirse, en general, entre las necesidades de materiales para la formación del cimientado y el núcleo, por una parte, y para la coronación del terraplén, por otra. El diseño de la coronación del terraplén, que se constituirá con materiales básicamente distintos, se coordinará con el Anejo "Firmes y pavimentos".

Los coeficientes de paso o esponjamiento de los materiales se obtendrán como cociente entre la densidad seca in situ del material y la densidad de referencia recomendada para su puesta en obra, siendo ésta, usualmente, el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Próctor Modificado (PM) para la construcción de los terraplenes (núcleo y cimientado).

El coeficiente de paso, para el caso de terraplenes, se expresa mediante la relación [10]:

$$C_p^R = \text{densidad natural seca} / 95\% \text{ densidad máxima del ensayo PM} \quad [10]$$

Para el caso de pedraplenes, se puede asumir un coeficiente de paso, C_p^P , cuyo valor por defecto, a los efectos de este documento, se recoge en el Apéndice II.

5.4.- CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS Y DE DRENAJE

Se seguirán las recomendaciones del Apéndice IV "Observaciones hidrogeológicas en las prospecciones".



Resulta especialmente importante determinar las condiciones hidrogeológicas y de drenaje en el caso de que el subsuelo esté constituido por suelos, y, en particular, por suelos blandos (permeabilidad de los materiales, situación de los niveles piezométricos, gradiente hidráulico, etc.), ya que los procesos de consolidación dependerán, en gran medida, de estas condiciones.

La permeabilidad vertical de los suelos cohesivos podrá determinarse mediante ensayos edométricos, a partir de las muestras obtenidas para determinar la resistencia al corte tal y como se determina en el Apéndice III.

5.5.- CONDICIONES DE ESTABILIDAD

A partir de los reconocimientos y ensayos llevados a cabo (Apéndice III), se obtendrán los valores de los parámetros que servirán de base para la realización de los correspondientes cálculos de estabilidad de los rellenos, para los que será imprescindible tener en cuenta las observaciones relativas a los niveles piezométricos (Apéndice IV), que influirán decisivamente en los cálculos. Por otra parte, se contará con la información procedente del inventario de taludes, las estaciones geomecánicas, la interpretación fotogeológica, etc. Se tendrá en cuenta que la estabilidad global del relleno comprende la consideración conjunta del terreno de apoyo y el propio relleno.

Para el caso concreto de rellenos realizados con materiales de tipo cohesivo, será necesario realizar ensayos de corte directo sobre muestras remoldeadas y compactadas, a fin de conocer los parámetros geotécnicos del material.

5.6.- CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLANADA

La formación de la explanada dependerá del tipo de terreno de la obra subyacente (terraplenes, pedraplenes o rellenos todo-uno). Las características de estos materiales permitirán llevar cabo el dimensionamiento de la explanada, de acuerdo con la Norma 6.1-IC "Secciones de firme".

Se seguirán las recomendaciones establecidas en el apartado 4.7 de este documento, con la particularidad de que, para el caso de los rellenos, el número mínimo de muestras a ensayar, en el caso de los suelos estabilizados in situ, será coincidente con el número mínimo de caracterizaciones que se lleven a cabo para determinar la resistencia al corte del terreno.



6.- PRÉSTAMOS, YACIMIENTOS GRANULARES, CANTERAS Y VERTEDEROS

6.1.- GENERALIDADES

La necesidad de recurrir a préstamos y/o vertederos surge del análisis del balance de tierras del Proyecto, comparando el volumen total de excavación (desmonte y saneo) con el volumen total de rellenos (terraplén y saneo). Si la diferencia entre ambos volúmenes (excavación menos relleno) es positiva, habrá excedentes de terreno que habrá que llevar a vertedero; pero, si la diferencia entre los dos volúmenes es negativa, habrá un déficit de material que habrá que suplir con las aportaciones de los préstamos cercanos a la traza.

Por otra parte, puede ser necesario recurrir a canteras para ejecutar pedraplenes o rellenos todo-uno, cuando estos materiales no se puedan obtener de la excavación de la traza, así como encontrar yacimientos granulares adecuados para la ejecución de la explanada.

Préstamos, canteras y yacimientos granulares serán igualmente necesarios cuando de la excavación de la traza no resulten materiales suficientes o idóneos para la materialización de las capas de firme (capas granulares, suelocemento, gravacemento y áridos para mezclas bituminosas).

6.2.- PRÉSTAMOS

Los préstamos para rellenos pueden entrar en consideración en un Proyecto por dos motivos distintos. Por una parte, pueden ser necesarios para compensar el balance total de tierras de la obra, en caso de que sea deficitario el material para la ejecución de rellenos o para la formación de explanadas. Por otra parte, deben plantearse posibles préstamos que permitan comparar, desde los puntos de vista ambiental y económico, su empleo con el de los materiales de la excavación de la traza.

Tabla 5.- Número mínimo de caracterizaciones en préstamos

Volumen del préstamo V_{ij}^P (m ³)	Nº de caracterizaciones completas n_{ij}^P (ud)
≤ 50 000	2
100 000	3
250 000	5
500 000	8
1 000 000	12
2 000 000	17
> 2 000 000	17 + 3 ud/1 Mm ³ de exceso o fracción



En cada uno de los préstamos identificados en el Proyecto, el número mínimo de caracterizaciones completas a efectuar de acuerdo con el PG-3, n_{ij}^P , se determinará considerando su volumen, V_{ij}^P , con la frecuencia establecida en la Tabla 5. La caracterización completa de una muestra será la definida en el apartado 4.3 de este documento.

Para llevar a cabo las caracterizaciones en los préstamos, se escogerán ubicaciones suficientemente representativas en planta, obteniéndose las muestras mediante sondeos siempre que la profundidad del reconocimiento sea igual o superior a tres metros (3 m). Para profundidades inferiores, se podrá recurrir a la ejecución de calicatas.

Se determinará, para cada préstamo, la capacidad de las reservas disponibles, las características del material, la estabilidad de los taludes de la excavación, la distancia a la obra proyectada y el punto kilométrico por el que se accede a la traza, lo que resultará necesario para considerar correctamente la distancia de transporte hasta su posible punto de empleo.

Se debe garantizar que, con los préstamos analizados, se cubren todas las categorías de materiales de posible utilización en una obra de acuerdo con el PG-3. Por otra parte, cuando se tenga un conocimiento aproximado del volumen de tierras procedentes de préstamos necesario para ejecutar el Proyecto, se deberá asegurar que se obtiene en cantidad suficiente, y con una holgura del 50% sobre el volumen total estimado para cada tipo de material.

6.3.- CANTERAS Y YACIMIENTOS GRANULARES

Las canteras y yacimientos granulares deberán caracterizarse mediante los ensayos realizados por la propiedad y los de contraste que llevará a cabo el Consultor, si los anteriores son escasos u ofrecen dudas que es preciso contrastar.

Los áridos procedentes de canteras y yacimientos granulares para uso en capas de firme contarán con el Marcado CE.

Si con el árido para la fabricación de las distintas capas de firme se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de los correspondientes artículos del PG-3 o se estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad homologado, los criterios descritos a continuación para realizar el control del árido no serían de aplicación.



6.3.1.- Rellenos

Los materiales procedentes de canteras y destinados a rellenos tipo pedraplén o todo-uno, se caracterizarán siguiendo las prescripciones establecidas en el apartado 6.2 de este documento.

6.3.2.- Capas granulares

Los materiales para la zahorra artificial procederán de piedra de cantera o de la trituración, total o parcial, de grava natural. La zahorra natural procederá de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.

El número mínimo de muestras de materiales con destino a capas granulares a ensayar será el definido en la Tabla 6.

Tabla 6.- Número mínimo de muestras a ensayar para capas granulares

Volumen de la cantera o gravera V_i^G (m ³)	Nº de muestras a ensayar n_i^G (ud)
≤ 50 000	4
> 50 000	4 + 1 ud/10 000 m ³ de exceso o fracción

Sobre cada muestra, se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría de áridos por tamizado (UNE EN 933-1)
- Límite líquido (UNE 103103) e índice de plasticidad (UNE 103104)
- Coeficiente de Los Ángeles (UNE EN 1097-2)
- Equivalente de arena (UNE EN 933-8) y, en su caso, azul de metileno (UNE EN 933-9)
- Índice de lajas (UNE EN 933-3), sólo para zahorras artificiales
- Determinación del porcentaje de caras de fractura (UNE EN 933-5), sólo para zahorras artificiales
- Humedad natural (UNE EN 1097-5)

6.3.3.- Materiales tratados con cemento

El material granular que se vaya a utilizar en el suelocemento podrá ser una zahorra, natural u obtenida por trituración, o un suelo granular. De cada procedencia del material granular para la fabricación de suelocemento y para cualquier volumen de producción



previsto, se tomarán dos (2) muestras (UNE EN 932-1) y para cada una de ellas se determinará:

- Granulometría de áridos por tamizado (UNE EN 933-1)
- Límite líquido (UNE 103103) e índice de plasticidad (UNE 103104)
- Contenido de materia orgánica oxidable de un suelo (UNE 103204)
- Contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (UNE EN 1744-1)

Para la gravacemiento se utilizará un árido natural procedente de la trituración de piedra de cantera o de gravera. De cada procedencia del árido de la gravacemiento y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán dos (2) muestras (UNE EN 932-1) y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría de áridos por tamizado (UNE EN 933-1)
- Límite líquido (UNE 103103) e índice de plasticidad (UNE 103104) del árido fino
- Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso (UNE EN 1097-2)
- Equivalente de arena del árido fino (UNE EN 933-8) y, en su caso, azul de metileno (UNE EN 933-9)
- Índice de lajas (UNE EN 933-3)
- Proporción de caras de fractura del árido grueso (UNE EN 933-5)
- Contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (UNE EN 1744-1)
- Proporción de terrones de arcilla del árido grueso y del árido fino (UNE 7133)

El material granular para suelocemiento o el árido para gravacemiento no será susceptible de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

Cuando se considere apropiado, debería realizarse algún estudio previo de dosificación del cemento, dada la importancia que este material tiene en la medición y el presupuesto de la obra.



6.3.4.- Áridos para mezclas bituminosas

Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas en caliente podrán ser naturales o artificiales, al igual que los áridos a emplear en las mezclas bituminosas discontinuas y en las drenantes.

De cada procedencia del árido, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán dos (2) muestras (UNE EN 932-1) y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría de áridos por tamizado (UNE EN 933-1)
- Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso (UNE EN 1097-2)
- Coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso para capas de rodadura (UNE EN 1097-8)
- Densidad relativa y absorción del árido grueso y del árido fino (UNE EN 1097-6)
- Equivalente de arena (UNE EN 933-8) y, en su caso, azul de metileno (UNE EN 933-9)
- Índice de lajas del árido grueso (UNE EN 933-3)
- Proporción de caras de fractura del árido grueso (UNE EN 933-5)
- Proporción de impurezas del árido grueso (UNE 146130)

6.3.5.- Áridos para capas de hormigón

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias siderúrgicas enfriadas por aire y, en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

De cada procedencia del árido, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán dos (2) muestras (UNE EN 932-1) y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría de áridos por tamizado (UNE EN 933-1)
- Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso (UNE EN 1097-2)
- Índice de lajas del árido grueso (UNE EN 933-3)
- Equivalente de arena del árido fino (UNE EN 933-8)
- Proporción de partículas silíceas de árido fino (NLT-371)
- Contenido de partículas arcillosas de árido fino (UNE 7133)



6.4.- VERTEDEROS

A la hora de llevar a cabo la cuantificación de los volúmenes de materiales tipo suelo procedentes de los excedentes de excavación o saneos que se vayan a retirar a vertedero, se considerará el coeficiente de esponjamiento, C_{ps}^V . A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II.

En los casos de excedentes de excavaciones en roca con destino a vertedero, se considerará un coeficiente de esponjamiento, C_{pr}^V . A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II.

Cuando los materiales con destino a vertedero sean evaporíticos, solubles o contaminantes, se deberán estudiar las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del subsuelo a fin de comprobar que las aguas de drenaje e infiltración no afectan a la calidad química de los acuíferos superficiales.

Por otra parte, se efectuarán recomendaciones sobre los taludes de vertido, se analizarán las condiciones del terreno de apoyo del vertedero en aquellas zonas en las que existan suelos blandos o poco consolidados, y, si el vertedero se sitúa en una ladera o zona de pendiente acusada, se deberá estudiar y comprobar su estabilidad.

7.- CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS

7.1.- GENERALIDADES

Para la planificación de la investigación geotécnica de la cimentación de las estructuras se tendrá en cuenta su carácter de elemento constructivo singular, apoyado en una serie de puntos concretos. La campaña deberá partir del conocimiento del terreno aportado por el estudio geológico y los reconocimientos y ensayos realizados para el resto de la traza.

Las prospecciones y los ensayos deberán servir para caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman el terreno de apoyo de cada una de las estructuras del Proyecto. En caso de identificarse formaciones geológicas no horizontales, en las que los contactos tuvieran un buzamiento significativo o se detectaran fallas, tendrán que reducirse las separaciones entre prospecciones para asegurar la caracterización de todos los tramos geológico-geotécnicos del terreno de cimentación.

Las prospecciones deberán llevarse a cabo siguiendo, preferentemente, el eje de la estructura, salvo que se deduzca otra alineación más apropiada del resultado de la investigación geológica.



Se estudiará por separado cada una de las estructuras proyectadas, analizando los resultados de su estudio geotécnico y concluyendo con la definición de su cimentación, la cota del plano de cimentación y la carga admisible del terreno.

Definidos los puntos de apoyo, se deberá prever la red de accesos, de manera que se pueda llegar a cada uno de ellos para realizar las oportunas prospecciones. Si se advirtiera que alguno de estos caminos de acceso puede presentar dificultades desde el punto de vista geológico-geotécnico, se procederá a su estudio como si se tratara de otro elemento constructivo más del Proyecto, siguiendo las recomendaciones establecidas en este documento.

Se establecerán recomendaciones justificadas para la ejecución de todos los taludes de excavación de los cimientos y la campaña de prospecciones complementarias que sea necesario efectuar durante las obras, siendo estos últimos de especial importancia en el caso de que, durante la redacción del Proyecto, no se haya podido acceder a alguno de los puntos de reconocimiento. Esta circunstancia debe quedar claramente justificada en el Proyecto y recogida, al menos, en la Memoria y como partida del Presupuesto.

En el caso de las estructuras, resultará imprescindible incluir la campaña geotécnica propia de los procesos constructivos, que deberán formar parte del diseño de la misma. Así, por ejemplo, puede ser necesario pilotar el parque de lanzamiento en el caso de tableros empujados, o algún apoyo intermedio en el caso de cimbras porticadas.

7.2.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN

Las prospecciones y los ensayos deberán servir para caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman el terreno de apoyo de las estructuras, y que se pueden clasificar en puentes, viaductos, pasos superiores, pasos inferiores, obras de drenaje transversal y muros.

7.2.1.- Prospecciones

Puentes, viaductos y pasos superiores

Se realizará un (1) sondeo por apoyo (pila o estribo), salvo que se presente alguno de los casos expuestos en el apartado 7.1, que haga necesario aumentar la campaña de prospecciones en el terreno de apoyo. Complementariamente a los sondeos, podrá efectuarse otro tipo de investigaciones acordes con la naturaleza del terreno, como: ensayos de penetración dinámica o estática CPTU en casos de cimentación superficial o profunda en terrenos poco consolidados o blandos; calicatas para cimentación superficial



en suelos y rocas; y prospecciones geofísicas para determinar espesores de recubrimiento, presencia de fallas, excavabilidad del terreno y geometría de las estructuras geológicas en el subsuelo.

A medida que avance la redacción del Proyecto, cuando se conozca la ubicación exacta de cada estructura, deberá comprobarse que se ha realizado un sondeo en coincidencia con la situación aproximada de cada apoyo (pilas y estribos). En caso de no ser así, se completará la campaña con los sondeos necesarios para cada uno de los nuevos apoyos identificados.

Cuando se hayan efectuado diferentes sondeos y pueda constatarse la existencia de condiciones geológicas homogéneas favorables, como el caso de una formación sedimentaria continua horizontal, el Director del Contrato podrá autorizar la no realización de sondeos en algún apoyo y su sustitución por ensayos de penetración, debiendo dejar constancia escrita en el Proyecto e incluyendo la justificación de las causas de dicha omisión o sustitución.

Si se construyen dos tableros paralelos en vías de calzadas separadas y, de los resultados obtenidos de la campaña establecida para el resto del trazado, puede deducirse que no existen cambios litológicos significativos en el terreno, podrá plantearse la ejecución de un único sondeo para cada dos pilas enfrentadas.

La longitud acumulada mínima de sondeos, S_i^E , a distribuir entre el total de apoyos (pilas y estribos) para cada puente, viaducto o paso superior, puede considerarse función de su longitud total, L_i^E , y debe ser acorde con la expresión [11].

$$S_i^E = L_s^E + L_s^E \frac{L_i^E}{35} \quad [11]$$

siendo L_s^E la longitud mínima de un sondeo en un apoyo de las estructuras. A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II. No obstante, el valor L_s^E será el preciso para asegurar que se alcanza la cota de cimentación deducida de los cálculos estructurales de la cimentación (zapatas o pilotes) incluidos en el Anejo "Estructuras" del Proyecto.

La profundidad de los sondeos para cimentación de estructuras puede ser variable en función de las características de resistencia y deformación del terreno bajo cada apoyo. En cimentaciones superficiales, la profundidad mínima de los sondeos suele ser de una vez y media (1,5) la anchura de la zapata, mientras que en cimentaciones profundas, la



profundidad mínima de los sondeos suele ser superior a cinco (5) veces el diámetro de los pilotes, en el caso de que éstos trabajen por fuste.

Para estructuras apoyadas sobre suelos blandos, la profundidad de los sondeos suele variar entre cuarenta y cincuenta metros (40 a 50 m) debido a la escasa consistencia del subsuelo, por lo que se necesitan pilotes de gran longitud para alcanzar suficiente resistencia por fuste. Por otra parte, para estructuras apoyadas sobre terrenos rocosos, suele ser suficiente con la perforación de sondeos de entre diez y quince metros (10 a 15 m) de profundidad.

Cuando de los reconocimientos referidos en este apartado pueda deducirse la existencia de suelos blandos, deberán alternarse sondeos y ensayos de penetración estática CPTU a la hora de repartir el valor S_i^E obtenido de la expresión [11] entre todos los apoyos. En estos casos, con carácter general, la cimentación deberá ser profunda y el Proyecto deberá evaluar de forma expresa el problema de interacción terreno (suelo blando) - estructura, a partir de los parámetros obtenidos del análisis de los reconocimientos y ensayos.

En los estribos situados a media ladera, se investigará la estabilidad natural del terreno en cada zona de apoyo. No deben proyectarse apoyos en aquellas zonas que tengan una estabilidad natural dudosa. En el caso particular de no poder evitar situar una estructura sobre una ladera inestable o con fuerte pendiente (ángulo superior a 30° con respecto a la superficie horizontal), susceptibles de sufrir deslizamientos o vuelcos, se realizarán perfiles geofísicos en toda la longitud de la ladera, R_i^E , así como algún sondeo adicional entre apoyos.

Pasos inferiores y obras de drenaje transversal

La campaña consistirá en la realización de una (1) calicata acompañada de un (1) ensayo de penetración dinámica en cada uno de los extremos del paso o de la obra de drenaje, más un (1) sondeo aproximadamente en su centro.

El perfil geológico obtenido de los resultados del resto de la campaña de la traza determinará la suficiencia de estos reconocimientos, que podrán ser completados con más sondeos en caso de que el Director del Contrato lo estimara conveniente.

Por otra parte, el Director del Contrato podrá autorizar la realización de una (1) única calicata por cada obra de fábrica para llevar a cabo el reconocimiento del terreno cuando se trate de obras de drenaje transversal de dimensiones suficientemente pequeñas, entendiéndose como tales, a los efectos de este documento, aquellas de diámetro menor o igual a mil milímetros ($\leq 1\ 000\text{ mm}$) o equivalentes en sección.



Muros

Los muros de contención y las aletas de las estructuras precisarán de la realización de los siguientes reconocimientos en función de la altura máxima, H_i^M , del muro:

- $H_i^M \leq 5$ m, se ejecutará una (1) calicata y un (1) ensayo de penetración dinámica cada treinta metros (30 m) de longitud del muro, L_i^M .
- $5 \text{ m} < H_i^M \leq 10$ m, se realizarán sondeos y ensayos de penetración estática, alternándolos cada treinta metros (30 m) de longitud del muro, L_i^M .
- $10 \text{ m} < H_i^M$, se realizarán sondeos cada treinta metros (30 m) de longitud del muro, L_i^M .

En todos los casos, independientemente de la longitud del muro, el número mínimo de prospecciones será dos (2).

En presencia de suelos blandos, se sustituirá algún sondeo o ensayo de penetración dinámica por ensayos de penetración estática CPTU.

7.2.2.- Ensayos

A partir de los reconocimientos y ensayos llevados a cabo, se obtendrán los valores de los parámetros que servirán de base para la realización de los cálculos que definan las cimentaciones (Apéndice III). Con apoyo en la prospección geofísica, se determinará la excavabilidad de los apoyos de las estructuras y los taludes de excavación.

En los sondeos y calicatas que se realicen, se seguirán las recomendaciones del Apéndice IV, relativas a las observaciones hidrogeológicas en las prospecciones.

A partir de los datos hidrogeológicos obtenidos y en el caso de que la cota de cimentación se encuentre debajo del nivel freático o se afecten niveles acuíferos, se efectuará una caracterización hidrogeológica del terreno de cimentación a fin de determinar la situación de la superficie freática, dirección del flujo subterráneo y caudal de flujo para poder diseñar el sistema de drenaje.

En los casos que existieran extracciones o aprovechamientos de agua subterránea en las inmediaciones de la estructura, el Director del Contrato, podrá autorizar una evaluación de la incidencia que tendría el rebajamiento de la superficie freática durante la excavación y drenaje de la misma.

Por otra parte, de acuerdo la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), en el caso de estructuras de hormigón sometidas a ataque químico (clase Q), la agresividad de las aguas



y los suelos se clasificará como débil, fuerte o media. Para ello, en el caso de las muestras de agua, será necesario determinar:

- Valor del pH por el método potenciométrico (UNE 83952)
- Contenido de CO₂ agresivo (UNE-EN 13577)
- Contenido de ión amonio (UNE 83954)
- Contenido de ión magnesio (UNE 83955)
- Contenido de ión sulfato (UNE 83956)
- Contenido de residuo seco (UNE 83957)

En el caso de las muestras de suelo, se determinará:

- Grado de acidez Baumann-Gully (UNE 83962)
- Contenido del ión sulfato (UNE 83963)

8.- TÚNELES

8.1.- GENERALIDADES

El conocimiento geotécnico de los túneles, por su carácter de obra singular, requiere la realización de estudios geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos específicos. La campaña de un túnel debe planificarse en fases sucesivas de intensidad creciente.

En una primera fase, se deberán efectuar, principalmente, reconocimientos geológicos de superficie que permitan realizar una cartografía geológica de detalle en el entorno del túnel, así como estaciones geomecánicas en los afloramientos a fin de conocer las distintas formaciones geológicas, estructura de los materiales, presencia de fallas, características geomecánicas, etc. En esta primera fase, deberán evaluarse aquellos problemas geológicos que pudieran ser condicionantes o desfavorables a la construcción del túnel.

Posteriormente, a partir de estos datos previos y de la información disponible relativa a la geología, geotecnia e hidrogeología, será necesario realizar una interpretación y un modelo geológico de la zona del túnel, en la que se identifiquen los puntos singulares y/o problemáticos desde el punto de vista geológico, geotécnico e hidrogeológico (boquillas, zonas de falla, presencia de acuíferos, etc.). En esta fase, será necesaria la realización de campañas de reconocimientos sucesivas que permitan resolver tanto las incertidumbres



detectadas en la primera fase, como efectuar una caracterización geológico-geotécnica e hidrogeológica de la zona del túnel.

El estudio hidrogeológico, de especial importancia en el caso de los túneles, debe permitir definir, entre otros, los siguientes puntos:

- Localización de los niveles freáticos y piezométricos a lo largo del túnel
- Delimitación de acuíferos y sus zonas de recarga
- Localización de barreras de flujo subterráneo
- Estimación de la permeabilidad, transmisividad y capacidad de almacenamiento
- Localización de zonas cársticas

Se distinguirá entre los reconocimientos necesarios para caracterizar las boquillas y los que se requieran para el túnel propiamente dicho.

8.2.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROGEOLÓGICA

8.2.1.- Boquillas

La investigación deberá efectuarse en cada una de las boquillas de entrada y salida, y para cada uno de los tubos.

El parámetro de referencia empleado para definir distancias y profundidades será el diámetro del túnel, D_i , correspondiente a la magnitud de la línea vertical, o inclinada en caso de existir peralte, que une el eje de la rasante con la clave del túnel.

Con objeto de caracterizar las superficies en que deba realizarse el emboquillado de los túneles se realizarán, al menos, los siguientes reconocimientos:

- Un sondeo vertical, definido a partir del punto en que la clave teórica del túnel corta el terreno natural (Figura 1, punto A), situado a la distancia de un diámetro (D_i) hacia el interior del túnel según su eje (Figura 1, punto B). Dicho sondeo deberá alcanzar una profundidad mínima, z_s^{BT} , por debajo de la subrasante, cuyo valor por defecto, a los efectos de este documento, se recoge en el Apéndice II.
- Perfiles geofísicos según la proyección del eje de cada calzada, en el terreno natural, en una longitud total mínima, L_R^{BT} , repartida en forma de cruz, por una parte, hacia el interior y exterior del túnel desde el punto B (Figura 1) y, por otra, transversalmente y a ambos lados de dicho punto. A los efectos de este documento, el valor de este parámetro por defecto se recoge en el Apéndice II. Salvo



justificación contraria, se empleará la sísmica de refracción como técnica de prospección geofísica.

- Calicatas, en un número mínimo de dos (2) por cada boquilla, para el reconocimiento visual del terreno natural en esa zona.

Siempre que sea posible, se harán coincidir las verticales de los sondeos y calicatas con las alineaciones de las prospecciones geofísicas.

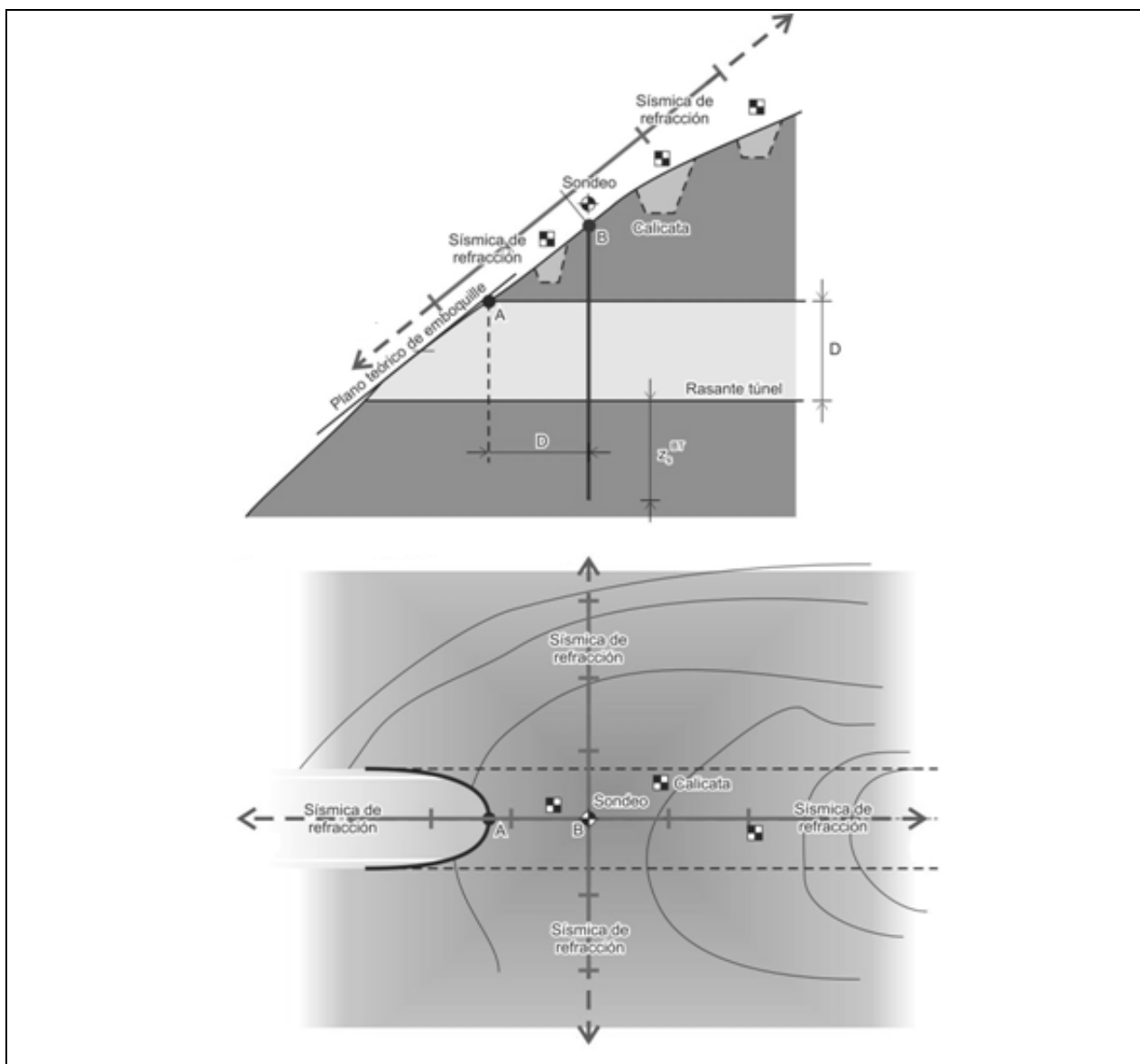


Figura 1. Prospección en boquilla de túnel

En determinadas circunstancias, cuando la estructura geológica de los materiales así lo aconseje, se deberán realizar adicionalmente sondeos horizontales o inclinados a fin de



determinar con mayor detalle las características y la geometría de dichos materiales en la zona de las boquillas.

Los materiales procedentes de la excavación de las boquillas serán analizados de acuerdo con las recomendaciones establecidas en el apartado 4 de este documento.

8.2.2.- Túnel

Prospecciones

Independientemente de la investigación llevada a cabo para caracterizar las boquillas, se efectuarán reconocimientos basados en sondeos mecánicos a rotación y, complementariamente, reconocimientos de tipo geofísico en los casos en los que la profundidad del sondeo no supere los cien metros (100 m). Por otra parte, aquellos sondeos cuya profundidad rebase los cien metros (100 m), pudiendo alcanzar varios cientos, se perforarán necesariamente por el sistema de "wire line".

Las prospecciones y los ensayos deberán servir para caracterizar las unidades geológico-geotécnicas que conforman los túneles del Proyecto. En caso de identificarse formaciones geológicas no horizontales, en las que los contactos tuvieran un buzamiento significativo o se detectaran fallas, tendrán que reducirse las separaciones entre prospecciones o realizarse sondeos mecánicos inclinados para asegurar la caracterización de todos los tramos geológico-geotécnicos del túnel.

Los sondeos y demás prospecciones geofísicas deberán llevarse a cabo siguiendo, preferentemente, el eje del túnel, salvo que se deduzca otra alineación más apropiada del resultado de la investigación geológica.

- Para el caso de los sondeos, en función de que se trate de túneles en campo abierto o túneles urbanos y de sus longitudes respectivas, L_i^{TCA} y L_i^{TU} , se establecen criterios diferentes para definir la frecuencia de los sondeos, tal y como se indica en la expresión [12] y en la expresión [13]. Deberán alcanzar una profundidad mínima, z_s^T , por debajo de la subrasante, y se realizarán espaciadas, con carácter general, una determinada separación, L_s^{TCA} y L_s^{TU} , para túneles en campo abierto y en entorno urbano, respectivamente. A los efectos de este documento, el valor de estos parámetros por defecto se recoge en el Apéndice II.

$$S_i^{TCA} = \frac{L_i^{TCA}}{L_s^{TCA}} \quad [12]$$



$$S_i^{TU} = \frac{L_i^{TU}}{L_s^{TU}} \quad [13]$$

donde S_i^{TCA} y S_i^{TU} representan el número mínimo de sondeos en túneles en campo abierto y entorno urbano, respectivamente.

En caso de existir galerías de conexión entre los túneles, se debe realizar, al menos, una (1) sondeo en cada una de ellas.

En estos sondeos, se extraerán testigos continuos en uno (1) de cada tres (3) reconocimientos a realizar, con un mínimo de dos (2) testificaciones continuas por túnel, con independencia de su longitud. En los sondeos en los que no se efectúen testificaciones continuas, se debe obtener el testigo en el tramo comprendido entre $2 D_i$ por encima del tubo y $2 D_i$ por debajo del tubo.

- Para el caso en el que se emplee el sistema "wire line", el número mínimo de reconocimientos a realizar vendrá dado, igualmente, por la expresión [12] y por la expresión [13].

Cuando se construyan dos túneles para vías de calzadas separadas, podrá realizarse la campaña de reconocimientos alternando la investigación propuesta entre los dos ejes del trazado. No obstante, la investigación geofísica se realizará completa en cada uno de los dos túneles. Por otra parte, si de los resultados obtenidos de la campaña realizada se dedujese que existen cambios litológicos significativos en el terreno, se ejecutará la campaña completa para cada uno de los dos túneles.

Ensayos

Los distintos materiales existentes en el interior del túnel se caracterizarán de acuerdo con las recomendaciones establecidas en el Apéndice III, con las siguientes particularidades a tener en cuenta:

- Tanto en terrenos tipo suelo como en terrenos rocosos, deberán efectuarse al menos cuatro (4) caracterizaciones por sondeo, de las que como mínimo dos (2) se ubicarán en el interior del tubo.
- En terrenos rocosos, además:
 - La alterabilidad de la roca se medirá a través de ensayos específicos (estabilidad frente al desmoronamiento en agua, Slake Durability Test (SDT) u otros), que se realizarán con mayor o menor frecuencia en función de la



naturaleza de los terrenos atravesados. Como orden de magnitud deberán efectuarse al menos cuatro (4) caracterizaciones por sondeo, de las que como mínimo dos (2) corresponderán a la zona interior del túnel.

- La abrasividad de los terrenos atravesados se evaluará preferentemente a través del índice Cerchar, coeficiente de Schimazek, etc. La frecuencia de realización de estos ensayos dependerá de la naturaleza de los terrenos atravesados. Como orden de magnitud deberán efectuarse al menos dos (2) caracterizaciones por sondeo, que deberán corresponder a la zona interior del túnel.

Complementariamente a lo anterior, resulta recomendable la realización de perfiles geofísicos transversales a los ejes del túnel. Los reconocimientos geofísicos no deberán ser sustitutivos de los sondeos, sino emplearse como complemento de éstos. Por ello, resulta apropiado que algunas de las bocas de dichos sondeos constituyan alineaciones de las prospecciones geofísicas.

Siempre que sea posible deberán contrastarse los resultados obtenidos con las prospecciones geofísicas del túnel y de las boquillas, siendo deseable que se produzca un cierto solapo entre ellos.

En los sondeos que se realicen, se seguirán las recomendaciones del Apéndice IV "Observaciones hidrogeológicas en las prospecciones". En aquellos casos en que existan acuíferos, ya sea en la zona del túnel o en las boquillas, se podría requerir la realización de ensayos de bombeo mediante perforación de pozos y piezómetros de observación, a fin de determinar los parámetros hidrogeológicos del acuífero y evaluar las posibles afecciones a las extracciones o aprovechamientos de agua subterránea que existan en las proximidades.



APÉNDICE I: GLOSARIO DE SÍMBOLOS

Con el fin de unificar criterios, la nomenclatura a utilizar para identificar las prospecciones de los Proyectos se basará en asignar una primera letra (Tabla I.1) para el tipo de prospección, acompañada de otra letra (Tabla I.2) para designar el elemento constructivo, seguida de un número entero para designar dicho elemento constructivo y, finalmente, otro número entero para identificar el orden de la prospección.

Tabla I.1.- Símbolos para designar las prospecciones

TIPO DE PROSPECCIÓN	
C	Calicata
E	Penetración estática
P	Penetración dinámica
R	Sísmica de refracción
S	Sondeo
T	Tomografía eléctrica

Tabla I.2.- Símbolos para designar los elementos constructivos

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	
C	Cantera
D	Desmonte
E	Estructura
G	Yacimiento granular
P	Préstamo
R	Relleno
T	Túnel
V	Vertedero

Así, por ejemplo, la designación CP-1-5, representa la cata número 5 del préstamo 1.



TABLA I.3.- GLOSARIO DE SÍMBOLOS

NOTACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
C_i^D	ud	Número mínimo de calicatas en cada desmonte
C_i^R	ud	Número mínimo de calicatas en cada relleno
C_p^P	-	Coeficiente de paso o esponjamiento para construcción de pedraplenes
C_p^R	-	Coeficiente de paso o esponjamiento para construcción de terraplenes
C_{pr}^V	-	Coeficiente de paso o esponjamiento de materiales tipo suelo con destino a vertedero
C_{ps}^V	-	Coeficiente de paso o esponjamiento de materiales tipo roca con destino a vertedero
D_i	m	Diámetro de cada túnel
E_i^{SB}	ud	Número mínimo de ensayos de penetración estática en cada relleno: suelos blandos
H_i^D	m	Altura máxima de cada desmonte
H_i^M	m	Altura máxima de cada muro
H_i^R	m	Altura máxima de cada relleno
L_c^D	m	Separación máxima entre calicatas en desmonte
L_c^R	m	Separación máxima entre calicatas en relleno
L_i^D	m	Longitud de cada desmonte
L_i^E	m	Longitud total de cada estructura
L_i^M	m	Longitud de cada muro
L_i^R	m	Longitud de cada relleno
L_i^{TCA}	m	Longitud de cada túnel ubicado en campo abierto
L_i^{TU}	m	Longitud de cada túnel ubicado en entorno urbano
L_E^{SB}	m	Separación máxima entre prospecciones en el apoyo de rellenos: suelos blandos



NOTACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
L_s^D	m	Separación máxima entre sondeos en desmante
L_s^E	m	Longitud mínima de sondeos en el apoyo de una estructura
L_s^R	m	Separación máxima entre sondeos en el apoyo de rellenos: ausencia de suelos blandos
L_s^{TCA}	m	Separación máxima entre sondeos en túneles en campo abierto
L_s^{TU}	m	Separación máxima entre sondeos en túneles urbanos
L_R^{BT}	m	Longitud total de la prospección geofísica en cada boquilla de un túnel
n_i^G	ud	Número mínimo de caracterizaciones completas en cada yacimiento granular
n_{ij}^P	ud	Número mínimo de caracterizaciones completas de cada unidad geológico-geotécnica en cada préstamo
n_i^{S-EST}	ud	Número mínimo de muestras a ensayar de cada suelo a estabilizar
n_{ij}^D	ud	Número mínimo de caracterizaciones completas de cada unidad geológico-geotécnica en cada desmante
P_i^D	ud	Número mínimo de ensayos de penetración dinámica en cada desmante
P_i^R	ud	Número mínimo de ensayos de penetración dinámica en cada relleno
R_i^D	m	Longitud de la prospección sísmica de refracción en cada desmante
R_i^E	m	Longitud de la prospección sísmica de refracción en la ladera de cada estructura
R_i^R	m	Longitud de la prospección sísmica de refracción en cada relleno
S_i^D	ud	Número mínimo de sondeos en cada desmante
S_i^E	ud	Longitud mínima acumulada de sondeo en cada estructura
S_i^R	ud	Número mínimo de sondeos en cada relleno: ausencia de suelos blandos
S_i^{SB}	ud	Número mínimo de sondeos en cada relleno: suelos blandos
S_i^{TCA}	ud	Número mínimo de sondeos en cada túnel ubicado en campo abierto



NOTACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
S_i^{TU}	ud	Número mínimo de sondeos en cada túnel ubicado en entorno urbano
V_i^G	m ³	Volumen de cada yacimiento granular
V_{ij}^P	m ³	Volumen de la cada unidad geológico-geotécnica en cada préstamo
V_i^{S-EST}	m ³	Volumen de cada suelo a estabilizar in situ
V_{ij}^D	m ³	Volumen de la cada unidad geológico-geotécnica en cada desmonte
Z_c^D	m	Profundidad mínima de calicatas en la parte superior de desmontes
Z_c^R	m	Profundidad mínima de calicatas bajo el terreno natural en rellenos
Z_s^{BT}	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en las boquillas de los túneles
Z_s^D	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en desmontes
Z_s^R	m	Profundidad mínima de sondeos bajo el terreno natural en rellenos
Z_s^T	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en túneles



APÉNDICE II: VALOR DE LOS PARÁMETROS

Los valores incluidos en este Apéndice son los que se consideran de aplicación por defecto en este documento. El Director del Contrato podrá emplear otros distintos siempre que den lugar a una campaña más detallada, lo que se deberá reflejar expresamente en el Proyecto.

TABLA II.1.- VALOR DE LOS PARÁMETROS POR DEFECTO

PARÁMETRO	VALOR POR DEFECTO	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
C_p^P	1,20	-	Coeficiente de paso para construcción de pedraplenes
C_{pr}^V	1,20	-	Coeficiente de paso de materiales tipo suelo con destino a vertedero
C_{ps}^V	1,30	-	Coeficiente de paso de materiales tipo roca con destino a vertedero
L_c^D	$\leq 200,0$	m	Separación máxima entre calicatas en desmante
L_c^R	$\leq 200,0$	m	Separación máxima entre calicatas en relleno
L_E^{SB}	$\leq 150,0$	m	Separación máxima entre prospecciones en el apoyo de rellenos: suelos blandos
L_s^E	$\geq 20,0$	m	Longitud mínima de sondeos en el apoyo de una estructura
L_s^D	$\leq 200,0$	m	Separación máxima entre sondeos en desmante
L_s^R	$\leq 200,0$	m	Separación máxima entre sondeos en relleno: ausencia de suelos blandos
L_s^{TCA}	$\leq 250,0$	m	Separación máxima entre sondeos en túneles en campo abierto
L_s^{TU}	$\leq 100,0$	m	Separación máxima entre sondeos en túneles urbanos
L_R^{BT}	$\geq 500,0$	m	Longitud total de la prospección geofísica en cada boquilla de túnel
Z_s^{BT}	$\geq D_i$	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en las boquillas
Z_c^D	$\geq 3,0$	m	Profundidad mínima de calicatas en la parte superior de desmontes
Z_c^R	$\geq 3,0$	m	Profundidad mínima de calicatas bajo el terreno natural en rellenos
Z_s^D	$\geq 3,0$	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en desmontes
Z_s^T	$\geq 2 D_i$	m	Profundidad mínima de sondeos bajo la subrasante en túneles



APÉNDICE III: TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS

III.1.- TOMA DE MUESTRAS

Las propiedades que pueden determinarse a partir de una muestra dependen del grado de alteración que ésta presente, esto es, de las modificaciones que sufra en su estructura desde su situación original en el terreno natural hasta que, después de extraerse mediante sondeos, calicatas u otros procedimientos, llegue al laboratorio.

Una muestra inalterada puede obtenerse mediante el empleo de un tubo tomamuestras que perturbe lo menos posible el terreno al hincarse, por lo que debe ser de borde afilado y pared delgada. En la sección de estos tubos, la relación del área interior (que ocupa la muestra) al área total exterior (que penetra en el terreno) es indicativa de la calidad de la extracción. Los tomamuestras tipo Shelby se emplean en España para extraer muestras poco alteradas al hincarlos en suelos blandos. En terrenos más duros se utilizan baterías dobles o triples. También es posible obtener muestras inalteradas de ciertos testigos de sondeos, o tallando manualmente un bloque en el terreno, en paredes de pozos, zanjas o calicatas que se hayan entibado. Deben sellarse y transportarse con cuidado para que no se alteren y almacenarse en una cámara húmeda hasta el momento de su empleo en laboratorio.

Las muestras alteradas, bien sean testigos de sondeos o tomadas de excavaciones efectuadas manualmente o con maquinaria, pueden transportarse en bolsas o sacos sin que se pierda material, debiendo ser convenientemente etiquetadas.

III.1.1.- Suelos

En terrenos tipo suelo, como norma general, se obtendrá el valor de la resistencia al corte a partir de muestras inalteradas obtenidas cada tres metros (3 m) de profundidad de sondeo, y siempre que cambie la naturaleza del terreno. La realización de ensayos de resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio (corte directo o triaxial) permitirá definir los parámetros del modelo Mohr-Coulomb correspondiente al esqueleto del suelo (cohesión y ángulo de rozamiento).

III.1.2.- Rocas

En terrenos rocosos, se determinará la resistencia a compresión simple (RCS) de la roca sana, bien directamente mediante ensayos sobre muestras de testigo, bien mediante ensayos de carga puntual (PLT) a partir de trozos más pequeños de testigo. Se tomará, al



menos, una (1) muestra del terreno cada cinco metros (5 m) de profundidad de la prospección, y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

En el caso de rocas muy débiles ($RCS < 1$ MPa), fuertemente diaclasadas ($RQD < 10\%$) o que estén bastante o muy meteorizadas (grado de meteorización igual o mayor que IV según la clasificación ISRM), se recomienda considerar la roca como si se tratase de un suelo. Será necesario, en ese caso, determinar los parámetros de resistencia de la roca alterada mediante ensayos de laboratorio (ensayos de corte directo o triaxiales).

En zonas con afloramientos rocosos, también podrán estimarse los parámetros geomecánicos del macizo rocoso a partir de las características observadas en las estaciones geomecánicas.

III.2.- ENSAYOS IN SITU

A la hora de estudiar la estabilidad de los taludes de desmonte, en terrenos granulares (sin cohesión) será muy difícil tomar muestras inalteradas para llevar a cabo la determinación directa de la resistencia. Por ello, se llevarán a cabo ensayos de campo tipo SPT o ensayos de penetración dinámica. Se realizará, al menos, un (1) ensayo de penetración estándar (SPT) cada dos metros (2 m) de profundidad de la prospección, y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

En el caso de los rellenos, los ensayos in-situ más habituales que se deberán efectuar durante la realización de los sondeos para estudiar la estabilidad y la consolidación de los rellenos, así como la cimentación de las estructuras, son:

- Ensayo de penetración con el cono mecánico (UNE-EN ISO 22476-12)
- Ensayo de penetración dinámica (UNE-EN ISO 22476-2)
- Ensayo de penetración dinámica tipo Borro (UNE 103809)
- Ensayo de penetración estándar (UNE-EN ISO 22476-3)
- Ensayo de molinete
- Ensayo presiométrico y dilatómetro

Las técnicas de prospección geofísica son aquellas basadas en la medida de la variación espacial, en planta y profundidad, de alguna característica física del terreno mediante técnicas no destructivas. Entre los procedimientos más empleados se encuentran los siguientes:



- Métodos sísmicos:

- Sísmica de refracción: Permite la obtención de la velocidad de propagación de las ondas P y, en determinadas condiciones, también de las ondas S, en una cierta dirección y a distintas profundidades.

Esta técnica tiene como limitación que, para que se produzca la refracción, es necesario que la velocidad de propagación de las ondas a través del terreno sea siempre creciente con la profundidad. Cuando esta técnica no sea aplicable, se empleará en su lugar la prospección eléctrica, y, en concreto, la tomografía eléctrica o el sondeo eléctrico vertical (SEV) como métodos indirectos para estudiar la excavabilidad de los desmontes.

Su aplicación más clara es la determinación del espesor de suelos que cubren una formación rocosa: sedimentos aluviales de un valle, coluviones de ladera, etc.

Tabla III.1.- Condiciones de excavabilidad de los materiales según la velocidad V_p (m/s)

TIPO DE MATERIAL	VELOCIDAD V_p (m/s)
Excavable	< 1 000
Ripable	1 000 - 1 800
Excavable mediante voladura	> 1 800

- Sísmica de reflexión: Técnica geofísica de gran capacidad resolutive en estudios del subsuelo, que abarca profundidades que van desde algunas decenas a varios centenares de metros. Está indicado principalmente para conocer la estructura de formaciones sedimentarias con poca deformación y no resulta adecuado para detectar discontinuidades subverticales (fallas).
- Propagación de ondas en sondeos y tomografía sísmica: Los métodos sísmicos que se utilizan en el interior de los sondeos permiten determinar la velocidad de propagación de las ondas P y/o S entre el sondeo y la superficie del terreno (down-hole), entre dos sondeos (cross-hole) o entre varios sondeos y a varias profundidades (tomografía sísmica).

Estos procedimientos geofísicos permiten determinar los módulos dinámicos y de Poisson del terreno, así como detectar cavidades y anomalías en el subsuelo.



- Métodos eléctricos:
 - Sondeos eléctricos verticales (SEV): Métodos de prospección eléctrica sencillos que permiten conocer la resistividad eléctrica y espesor de los distintos tipos de materiales en el subsuelo. Pueden llegar a alcanzar varios centenares de metros.
 - Tomografía eléctrica: Técnica que permite determinar la distribución espacial de la resistividad eléctrica en una zona mediante la realización de un gran número de medidas en la superficie del terreno o en sondeos. Este procedimiento permite la localización de fallas y la determinación de la dirección y el buzamiento de las mismas. También se utiliza para determinar la geometría de los contactos entre materiales de distinta litología, así como en la detección de cavidades y rellenos cársticos.
- Testificación geofísica en sondeos: Diagrafías

Reconocimientos geofísicos que se realizan en los sondeos y permiten obtener una medida continua de diversos parámetros y características a lo largo del sondeo. Entre estas medidas se encuentran:

- Medida de verticalidad y diámetro en profundidad
- Fotografías y videos de las paredes del sondeo
- Radiactividad
- Conductividad eléctrica
- Resistividad
- Potencial espontáneo
- Temperaturas

Mediante estos parámetros y características es posible la determinación de contactos, discontinuidades, porosidad, permeabilidad, grado de fracturación, gradiente geotérmico, etc. a lo largo del sondeo.

III.3.- ENSAYOS DE LABORATORIO

III.3.1.- Ensayos en suelos

Las muestras tomadas en los distintos reconocimientos se prepararán (UNE 103100) y se enviarán al laboratorio para realizar los correspondientes ensayos.



Los ensayos de laboratorio (y sus correspondientes normas) que usualmente se realizan para identificar y clasificar los suelos son:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (UNE 103101)
- Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro (UNE 103102)
- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande (UNE 103103)
- Determinación del límite plástico de un suelo (UNE 103104)
- Determinación del contenido de carbonatos en los suelos (UNE 103200)
- Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo (UNE 103201)
- Determinación cualitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo (UNE 103202)
- Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico (UNE 103204)
- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa (UNE 130300)
- Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo (UNE 103302)
- Determinación del contenido de sales solubles de un suelo (UNE 103205)
- Determinación del contenido de yeso soluble de un suelo (UNE 103206)
- Ensayo de colapso en suelos (UNE 103406)
- Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro (UNE 103601)

Los ensayos de laboratorio (y sus correspondientes normas) que usualmente se realizan para determinar la resistencia y deformabilidad de los suelos son:

- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo (UNE 103400)
- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo (UNE 103401)
- Determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial (UNE 103402)



- Determinación de la permeabilidad de una muestra de suelo. Método de carga constante (UNE 103403)
- Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro (UNE 103405)
- Ensayo de compactación. Próctor normal (UNE 103500)
- Ensayo de compactación. Próctor modificado (UNE 103501)
- Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice C.B.R. de un suelo (UNE 103502)

III.3.2.- Ensayos en rocas

Los ensayos de laboratorio (y sus correspondientes normas) que usualmente se realizan para llevar a cabo la identificación y clasificación de las rocas son:

- Identificación y clasificación de las rocas (UNE-EN ISO 14689-1)
- Determinación de la resistencia a la fragmentación (UNE EN 1097-2)
- Determinación de la densidad aparente y la porosidad (UNE EN 1097-3)
- Determinación del contenido de agua por secado en estufa (UNE EN 1097-5)
- Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua (UNE EN 1097-6)
- Ensayos petrográficos de lámina delgada

Los ensayos de laboratorio (y sus correspondientes normas) que usualmente se realizan para determinar la resistencia y deformabilidad de las rocas son:

- Ensayo de resistencia a compresión uniaxial (UNE 22950-1)
- Ensayo de resistencia a tracción. Determinación indirecta. Ensayo Brasileño (UNE 22950-2)
- Determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson (UNE 22950-3)
- Ensayo de resistencia a compresión triaxial (UNE 22950-4)
- Ensayo de resistencia a carga puntual (UNE 22950-5)
- Ensayo de corte directo, especialmente en discontinuidades (diaclasas, etc.)

Por último, entre los ensayos de durabilidad y desgaste se encuentran:

- Determinación de la durabilidad, Slake Durability Test



- Determinación de la resistencia al desgaste, Micro-Deval (UNE EN 1097-1)
- Ensayo de desgaste de Los Ángeles (UNE EN 1097-2)
- Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos (UNE-EN 1744-1)
- Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de inmersión en agua (UNE 146510).
- Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de los ciclos de humedad-sequedad (UNE 146511) o determinación de la resistencia a ciclos de hielo y deshielo (UNE-EN 1367-1)



APÉNDICE IV: OBSERVACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN LAS PROSPECCIONES

IV.1.- CALICATAS

Durante la ejecución de las calicatas y en el caso de que se detectara presencia de agua, se deberá estimar la permeabilidad de los materiales a partir del caudal de descarga y/o el ascenso del nivel de agua en la calicata.

Una vez completada esta prueba, y antes de proceder al relleno de la calicata, se instalará un tubo perforado o ranurado de PVC, de diámetro útil igual o superior a cincuenta milímetros (50 mm), a fin de determinar la posición y fluctuaciones del nivel freático.

IV.2.- SONDEOS

IV.2.1.- Nivel piezométrico

Durante la ejecución de los sondeos deberá medirse el nivel piezométrico antes de iniciar las labores de perforación de cada jornada, indicándose las profundidades de la perforación y del revestimiento.

Una vez terminado cada sondeo, se introducirá en éste, un tubo perforado o ranurado de PVC de diámetro útil igual o superior a cincuenta milímetros (50 mm) al objeto de determinar el nivel piezométrico medio. A partir de ese momento, se realizarán:

- Una lectura tras su instalación
- Una lectura semanal durante el primer mes, hasta que se verifique la estabilización del nivel de agua.
- Si después de este primer mes se siguen observando variaciones importantes del nivel del agua, se realizarán lecturas quincenales durante, al menos, dos meses.
- Una vez estabilizado el nivel de agua, se tomarán lecturas a más largo plazo y, como mínimo, las mediciones deberán tener carácter estacional. Es decir, se recomiendan cuatro (4) lecturas anuales, tomadas al final de cada una de las estaciones del año, siempre y cuando la duración del Proyecto así lo permita.

Los sondeos deberán permanecer accesibles y permitir la realización de mediciones de nivel las veces que sea necesario, y, en todo caso, hasta la finalización del Proyecto.

A criterio del Director del Contrato, las posibles variaciones del nivel del agua, rápidas o bruscas, que correspondan a episodios tales como lluvia o nieve, podrán requerir del aumento de la frecuencia de las observaciones.



IV.2.2.- Análisis físico-químicos

Cuando se encuentre agua propia del terreno en alguno de los puntos de reconocimiento (sondeos, calicatas, etc.), se procederá a la toma de muestras para el estudio de su agresividad en caso de que existieran elementos de hormigón bajo la superficie freática. A fin de evitar la posible influencia del agua de perforación, se deberá purgar el agua del sondeo, antes de tomar la muestra de agua para su análisis en laboratorio.

IV.2.3.- Piezómetros convencionales cerrados y múltiples

En determinadas condiciones hidrogeológicas en las que existan acuíferos con distintos niveles piezométricos, se podrán instalar piezómetros convencionales cerrados a distintas profundidades en los sondeos de reconocimiento realizados. El diámetro de los tubos podrá ser de treinta a cuarenta milímetros (30 a 40 mm) para poder efectuar correctamente su instalación. En estos casos, el extremo inferior del espacio anular estará ranurado y acompañado de un filtro de arena en el espacio anular, y se aislará el resto del tubo con *pellets* de bentonita o lechada de cemento.

Si fuera necesario, se podrán instalar piezómetros convencionales múltiples, introduciendo en el sondeo varios tubos piezométricos a distintas profundidades y aislando los diferentes tramos de medida.

IV.2.4.- Piezómetros de cuerda vibrante

En determinados casos, se podrán instalar en los sondeos mecánicos realizados piezómetros de cuerda vibrante, o con cualquier otro transductor de presión, que permitan la automatización y almacenamiento digital de las medidas piezométricas. Para ello, se deberá proceder a aislar determinados tramos del sondeo mediante bentonita o el empleo de obturadores.

IV.3.- Ensayos de permeabilidad

Si las características del Proyecto o del propio terreno lo aconsejan, se procederá a la realización de ensayos de permeabilidad in-situ. En roca se realizarán ensayos Lugeon mediante el empleo de obturadores, reservándose los ensayos Lefranc y ensayos de carga variable para suelos granulares o cohesivos y rocas blandas. Este tipo de ensayo se realizará mediante la utilización de una tubería de revestimiento durante la perforación del sondeo.



IV.4.- Ensayos de bombeo

En el caso de que en el subsuelo existiera un acuífero importante y fuera preciso el diseño de un sistema de drenaje, se podrán efectuar ensayos de bombeo mediante la construcción de pozos y la utilización de piezómetros de observación, a fin de determinar los parámetros hidrogeológicos del acuífero (transmisividad y coeficiente de almacenamiento).