

ANEXO N° 4
ESPECIFICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE
LOS TRABAJOS DE CAMPO DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	GEOLOGÍA.....	3
3.	INVENTARIO	5
4.	SONDEOS MECÁNICOS. PRESCRIPCIONES GENERALES.....	5
5.	CALICATAS.....	17
6.	INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA.....	17
7.	FORMATO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	20



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es regular las siguientes actividades:

- La ejecución de los trabajos de campo: Cartografía geológica, toma de datos del macizo rocoso, hidrogeología, y prospección y recogida de muestras (sondeos, calicatas, ensayos “in situ”, geofísica...)
- El contenido de los informes que se redacten.

Los trabajos de campo deberán efectuarse siempre siguiendo normas de buena práctica, bajo la supervisión de personal competente y experimentado, que deberá contar con cualificación académica suficiente. Los resultados deberán incorporarse a los documentos del proyecto.

Con estas premisas, se deberá cumplir lo siguiente:

- Los trabajos deberán referenciarse topográficamente con errores inferiores a 1 metro en planta.
- Todos los sondeos deberán ser ubicados de acuerdo con una propuesta presentada y aprobada. Las posibles modificaciones deberán ser informadas previamente, mediante un escrito donde se indiquen las causas de la modificación y las implicaciones del nuevo emplazamiento.
- Para permitir la orientación aproximada del sondeo, se deberá disponer de una estación geomecánica en las proximidades de la perforación o un punto de lectura y observación del macizo rocoso.
- Todos los sondeos deberán protegerse adecuadamente después de acabados, disponiéndose una arqueta metálica recibida con hormigón.



2. GEOLOGÍA

2.1. Cartografía geológica

Previo a iniciar la investigación de campo (sondeos, catas, geofísica), deberá realizarse una cartografía geológica detallada, que deberá completarse con los resultados de prospecciones.

La cartografía geológica será realizada por un técnico competente, y deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Escala 1:1.000 o más detallada.
- Anchura: 100 m a cada lado del vial proyectado.
- Se diferenciarán las acumulaciones de suelo: espesor superior a 2 m, espesor inferior a 2 m y afloramientos de roca.
- Se cartografiarán todos los afloramientos de roca.
- Los suelos se diferenciarán por su clasificación genética:
 - Coluvial.
 - Aluvial.
 - Rellenos antrópicos vertidos.
 - Rellenos antrópicos compactados.
 - Etc.
- Se diferenciarán las formaciones litoestratigráficas y unidades litológicas que la componen.
- Se diferenciarán los contactos entre distintas unidades litológicas y el tipo de contacto.
- Se cartografiarán los accidentes tectónicos, como pliegues, fallas, filones o cabalgamientos.
- Se tomarán puntos de lectura y observación en todos los afloramientos de roca o de suelo que sea posible, constituyendo éstos los datos objetivos base de la interpretación posterior.

En dichos puntos de lectura y observación, se medirá:



- Espesor y tipo de los suelos.
- Espesor y grado de meteorización.
- Composición de la roca, litología y formación a la que pertenece.
- Estructura sedimentaria: estratificación, laminación, etc., con dirección, buzamiento y espaciado.
- Red de fracturación: dirección, buzamiento y espaciado de las juntas y la esquistosidad, y, en su caso, de las fallas que la definen.
- En el caso de afloramientos de roca sana, se deberá indicar la continuidad, rugosidad y relleno de cada una de las discontinuidades.
- Se cartografiarán los elementos de contención de suelos, laderas o rellenos existentes, indicando su tipología y estado.
- Se cartografiarán todos los indicios de inestabilidad y gravitaciones en suelos o rocas existentes, diferenciando entre los que están activos, no activos o los que son interpretados. Se diferenciarán al menos los siguientes tipos:
 - En roca:
 - Caídas de cuñas.
 - Roturas planares.
 - Vuelco superficial.
 - Vuelco profundo.
 - En suelos:
 - Reptaciones.
 - Deslizamientos planares.
 - Deslizamientos rotacionales.
 - Argayos.

2.2. Hidrogeología

Dentro de los trabajos de campo, está incluido la toma de datos para el estudio hidrogeológico. Estos trabajos corresponden a:

- Inventario de puntos de agua.
- Cauces canalizados y entubados.
- Características hidrogeológicas de cada formación.



- Indicios de disolución y karstificación.
- Zonas con drenaje deficiente o encharcado.

3. INVENTARIO

Se deberá realizar un inventario de edificios, viales (con sus estructuras y obras de fábrica) y estructuras subterráneas, que recoja, cuanto menos:

- Taludes existentes.
- Muros y estructuras.
- Edificios: tipología, cimentación, indicios de patología.
- Infraestructuras o instalaciones subterráneas existentes:
 - Galerías hidráulicas.
 - Túneles activos.
 - Túneles abandonados.
 - Excavaciones mineras.

4. SONDEOS MECÁNICOS. PRESCRIPCIONES GENERALES

Los sondeos mecánicos se realizarán a rotación, por el sistema convencional con extracción de testigo continuo, y mediante batería doble en el caso de rocas.

El técnico responsable de la supervisión y registro del sondeo deberá estar presente durante su ejecución. No podrá estar al cargo de más de dos equipos de trabajo simultáneamente.

Se medirá el nivel freático cada día, antes y después de comenzar la perforación. Asimismo, se anotará cualquier variación ocurrida durante la perforación.

El registro del sondeo se realizará “in situ” y en el mismo momento de la extracción de las muestras, con una demora máxima de 3 horas.

Para estabilizar los sondeos, cuando se perfore con adición de agua, se utilizará entubación de diámetro no inferior a 100 mm.



En ningún caso, la entubación penetrará en el terreno a mayor profundidad que la prevista para la ejecución de ensayos o toma de muestras.

El fondo de la perforación deberá limpiarse siempre convenientemente antes de realizar cualquier operación de toma de muestras o ensayos, no admitiéndose en el fondo del sondeo un espesor de sedimentos mayor de 5 cm. La limpieza se efectuará de forma que se asegure que el suelo a ensayar no resulta alterado por la operación.

En suelos granulares, se efectuarán ensayos de penetración standard (SPT) a intervalos no mayores de 3,0 m, y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

En suelos cohesivos, se tomarán muestras inalteradas a intervalos no mayores de 4,0 m mediante tomamuestras de pared delgada, intercaladas con ensayos de penetración “standard” y/o testigos parafinados.

Cuando se perfore con adición de agua, el nivel de esta en el sondeo se mantendrá en todo momento a la altura del nivel freático o ligeramente por encima de mismo. Tanto la herramienta de perforación como la cuchara de ensayos SPT se retirarán lentamente, manteniendo una aportación continua de agua, a fin de evitar el posible aflojamiento del suelo.

Cuando se encuentre un estrato potente de roca, se penetrará en ella un mínimo de 5 m, con el objeto de asegurarse de que no se encuentra a mayor profundidad un nivel de características geotécnicas peores (alteración, fracturación). Esta profundidad podrá variar a tenor de los reconocimientos geológicos, ensayos sísmicos, etc.

En roca, se perforará a rotación, utilizando batería doble con extracción de testigo continuo. El diámetro interior mínimo del tubo batería será de setenta (70) milímetros.

Se podrá emplear el método de “wire-line” en roca siempre que se garantice un diámetro mínimo del testigo de 64 mm, y una recuperación y calidad suficientes del testigo recuperado. Todos los sondeos se comenzarán con el sistema convencional y un diámetro mínimo de 110 mm, y sólo se podrá cambiar a sistema “wire-line” en roca sana cuando se den las circunstancias antes mencionadas.



Si las recuperaciones obtenidas fueran suficientes, y la calidad del testigo adecuada, se podrá optar por la utilización de batería sencilla.

Se deberán controlar la velocidad y presión de la perforación, el caudal y presión del agua, y la longitud de carrera, con vistas a conseguir la máxima recuperación de testigo posible.

Si se encontraran niveles blandos o muy fracturados, se tomarán las precauciones necesarias para mantener el testigo tan inalterado como sea posible y conseguir su recuperación. Podrá exigirse el empleo de baterías triples.

La longitud de carrera no será en ningún caso mayor de 3 m. En formaciones blandas o fracturadas esta longitud no deberá exceder de 1,5 m.

Una vez extraído el tubo porta-testigos del sondeo, se sacará el testigo cuidadosamente, colocándolo en una caja de cartón o de madera. El testigo se clasificará, midiéndose la recuperación obtenida. Los testigos de roca, convenientemente identificados, se situarán en la caja porta-testigos siguiendo la secuencia en que fueron obtenidos. Las mediciones necesarias de los índices RMR y Q deberán llevarse a cabo de manera inmediata a su extracción, para evitar posibles alteraciones.

Además del porcentaje de recuperación, se determinará para todos los testigos obtenidos el índice RQD. Este Índice, expresado como tanto por ciento, se obtendrá como cociente entre la longitud total del testigo, considerando solamente aquellas partes de este de al menos 10 cm de longitud, y la longitud de perforación en cada maniobra. Aquellas fracturas que evidencien haber sido producidas durante la perforación o manipulación de los testigos, no se considerarán a los efectos de determinar el referido índice.

Se medirá el número de fracturas cada 30 cm. Las discontinuidades se orientarán respecto a la estratificación o esquistosidad indicando el buzamiento, grado de alteración, apertura, rugosidad y relleno.

Se medirán todas las discontinuidades.



Se deberá llevar un registro de campo continuo de la ejecución de cada sondeo, en el que se haga constar, como mínimo, los siguientes datos:

- Técnico responsable.
- Sondista.
- Empresa de sondeos.
- Método de perforación.
- Tipo de batería.
- Aportación de agua.
- Longitud y cota de todas las maniobras.
- Cota de entubación en cada momento.
- Maquinaria y equipo.
- Fechas de ejecución.
- Coordenadas y cotas de boca.
- Cota de nivel piezométrico en cada momento de la perforación y en los 30 días posteriores a la finalización del sondeo.
- % de recuperación de cada maniobra.
- Columna estratigráfica.
- Descripción del material.
- Grado de meteorización.
- Fracturación: nº de fracturas/30 cm.
- Estructura: discontinuidades orientadas y en su cota, con las características particulares de cada una.
- Ensayos “in situ”: Lugeon, Lefranc, SPT, presiómetro, dilatómetro, etc.
- Muestras extraídas y tipo de estas.

La clasificación y descripción de los suelos y rocas se efectuará de acuerdo con los criterios oficialmente establecidos; especialmente, los de la Sociedad Española de Mecánica de Rocas y Suelos.



Ensayos de penetración estándar (Según Norma UNE 103-800-92)

Los ensayos de penetración estándar (SPT) se realizarán utilizando un tomamuestras de cuchara partida, de aproximadamente 5 cm de diámetro exterior y 3,5 cm de diámetro interior, con válvula anti-retorno en su parte superior. El peso de la maza a utilizar será de 63,5 kg con una caída libre de 76 cm.

El varillaje utilizado deberá ser suficientemente rígido, y todas sus partes deberán estar firmemente acopladas.

El método de ensayo a utilizar será tal que las pérdidas de energía por rozamiento sean mínimas. Debe utilizarse un cabestrante para la elevación de la maza, de modo que el cable se enrolle en el mismo una sola vuelta durante la caída de ésta.

La velocidad de la maza no excederá de 30 golpes por minuto.

En suelos con gravas, la zapata podrá ser reemplazada por una puntaza cónica de acero macizo de 51 mm de diámetro y 60 grados de ángulo cónico. Caso de existir una obstrucción en forma de canto, se utilizará el tomamuestras para fragmentar y eliminar la obstrucción.

La zapata del tomamuestras deberá ser reemplazada caso de sufrir un deterioro tal, que llegue a provocar proyecciones en la superficie interior del mismo, y deberá estar razonablemente afilada al comenzar cada ensayo. Se dispondrá en todo momento a pie de sondeo de varias zapatas en perfectas condiciones.

La cuchara se hincará 45 cm, mediante golpeo, anotándose el número de golpes necesarios para hincarla cada uno de los tres tramos consecutivos de 15 cm; tomándose como resistencia a la penetración N30, la suma de los golpes de los dos últimos tramos.

Si no se consiguiera una penetración de 30 cm con 100 golpes (ó 200 golpes si se utiliza puntaza) se considerará “rechazo”, registrando en el informe la penetración correspondiente a los 100 (ó 200) golpes.



Inmediatamente después de ser retirado del sondeo, se desmontará cuidadosamente el tomamuestras y se clasificará el suelo. La parte más representativa y menos alterada de la muestra deberá introducirse inmediatamente en un envase hermético. Si dentro de la cuchara apareciera un cambio de estrato, se tomará muestra de cada material, depositándose en envases diferentes.

Todos los envases se sellarán y etiquetarán convenientemente.

Si no se consigue recuperar la muestra, o si ésta evidencia una alteración excesiva, se procederá a limpiar el fondo del sondeo, realizándose nuevamente el ensayo de penetración.

Toma de muestras inalteradas y testigos parafinados

Dado los materiales que se espera encontrar, se propone la utilización, en principio, de un tomamuestras de pared gruesa, de 4 mm de espesor, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo de 70 mm, que se hincará por golpeo. Cualquier cambio de estas características, deberá ser aprobado previamente.

Antes de proceder a la toma de una muestra, se retirarán todos los materiales sueltos o alterados del fondo del sondeo.

El diámetro mínimo para las muestras así obtenidas será de 76 mm.

Una vez hincado el tomamuestras, la muestra se cortará por rotación, retirándose con las debidas precauciones.

Extraído el tomamuestras y separado el varillaje, se eliminarán cuidadosamente al menos 3 cm de la muestra por ambos extremos y se rellenarán inmediatamente los huecos con parafina líquida. Los extremos del tubo deberán protegerse con tapas cuidadosamente ajustadas.

Los tubos conteniendo las muestras se etiquetarán para su identificación, almacenándose adecuadamente para su envío posterior al laboratorio.



Cuando se haya obtenido un testigo en suelos cohesivos, además de las muestras inalteradas y/o muestras procedentes del ensayo SPT, de cada maniobra de perforación se apartará una porción representativa de la mayor longitud posible (35 cm) Estas porciones, previa limpieza superficial, se recubrirán con material no absorbente, y se protegerá el conjunto con un baño de parafina, de espesor suficiente para asegurar la invariabilidad de sus condiciones de humedad.

En el caso de rocas, se tomará un testigo en cada maniobra, protegiéndolo convenientemente mediante parafina o envoltorio plástico, de forma que guarde de modo correcto sus propiedades e impida su deterioro, bien durante el transporte o manipulación, bien por desecación o alteración. Además, estos testigos no deberán estar afectados por los procesos de perforación, y deberán ser representativos de los terrenos atravesados. La longitud de los testigos será al menos de 2,5 veces el diámetro de perforación.

Toma de muestras en saco

Cuando las características del proyecto o del propio terreno aconsejen tomar muestras masivas para la realización de ensayos Proctor, CBR, etc., se procederá a la toma de estas en el número y cuantía que se determine. La cantidad por cada muestra será suficiente para poder realizar, al menos una granulometría completa, un ensayo Proctor Modificado y un CBR. Dicha cantidad será determinada en función del tamaño máximo de los granos del material, estimado visualmente.

Se considera que el peso de cada muestra debe ser al menos de unos 60 Kg.

El envasado de las muestras se realizará en sacos de plástico de suficiente consistencia, de modo que se evite la pérdida de finos durante el transporte.

Asimismo, de cada muestra en saco se tomará una fracción suficiente para la determinación de la humedad natural. Esta fracción se recogerá en un envase hermético.

Cada envase será etiquetado convenientemente para su identificación.



Toma de muestras de agua

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 y/o potabilidad.

Si se hubiese perforado con adición de agua, además de la muestra del propio terreno, se adjuntará una muestra del agua utilizada para perforar.

Las muestras de agua se envasarán en recipientes de plástico o vidrio, perfectamente limpios, dotados de cierre hermético, procediéndose al llenado de estos después de enjuagarlos con el agua a muestrear.

Cada una de las muestras se etiquetará correctamente, indicando su procedencia.

Observaciones del nivel freático

Se llevará un registro del nivel freático en todos los sondeos, no sólo durante la perforación, sino también tras su finalización, al menos hasta la terminación de la campaña. En especial se registrarán las siguientes circunstancias:

- Nivel estático en el sondeo antes de iniciar la perforación cada día.
- Nivel en el sondeo al terminar la perforación diaria.
- Profundidades a las que ocurre una pérdida o una entrada de agua.
- Velocidad de ascenso o descenso del nivel.
- Cambios en el color o temperatura del agua.

Si durante la ejecución del sondeo se utilizaran lodos bentoníticos, éste se limpiará una vez finalizado, haciendo circular agua limpia. La utilización de lodos bentoníticos precisará de aprobación previa.

Tras la terminación de cada sondeo, se colocará un tubo perforado de PVC o galvanizado para la medición del nivel freático y posibles comprobaciones de la profundidad del sondeo. Los extremos de estos tubos se deberán tapar y proteger adecuadamente. Los tubos piezométricos se nivelarán cuidadosamente, dejando en el extremo libre una referencia de nivel. Deberán tomarse las medidas necesarias para



evitar el enterramiento del sondeo antes de la colocación del tubo piezométrico. Si fuera necesario, el tubo se colocará antes de retirar completamente la entubación.

Los tubos, además de para permitir el control diferido del nivel freático, podrán ser utilizados en su momento para el rellenado u obturación de los sondeos.

Durante toda la campaña, el consultor adjudicatario efectuará diariamente, como mínimo, dos mediciones del nivel freático en todos los sondeos, debidamente espaciadas.

Se deberá llevar un registro de los niveles freáticos, en el que se hará constar, junto a cada medición, la fecha y hora en que fue efectuada, así como todas las incidencias que, a su juicio, pudieran haber tenido influencia en los niveles medidos, tales como lluvias, riegos, etc.

En todos los sondeos, se tomarán medidas de los niveles freáticos durante el mes posterior a su finalización; con tres lecturas la primera semana, dos la segunda, y una la tercera y cuarta.

Obturación de los sondeos

Dada la necesidad de establecer un histórico de la evolución de nivel freático, no se considera esta operación más que en aquellos casos en que sea imprescindible.

Para la obturación, se recomienda utilizar una mezcla bentonita-cemento de aproximadamente la siguiente dosificación:

- Cemento: 40 Kg.
- Bentonita: 105 kg.
- Agua: 100 kg.

La mezcla se bombeará utilizando un tubo de inyección que alcance el fondo del sondeo, manteniéndose la aportación hasta que la lechada salga a la superficie por la boca del sondeo.



Se registrará la cantidad de mezcla utilizada en cada sondeo, indicando las características y dosificación de esta.

Envase, protección y transporte de las muestras

Todas las muestras y testigos obtenidos se envasarán convenientemente para evitar su alteración durante el transporte o almacenamiento, remitiéndose a destino a la mayor brevedad posible, en un ambiente de temperatura y humedad controlados.

Únicamente se procederá a la apertura de los envases de las muestras en el momento en que se vaya a proceder a la realización de los ensayos correspondientes.

Presiómetros y dilatómetros

Este tipo de ensayos en sondeo a realizar “in situ” permitirá definir el módulo presiométrico y determinar la presión de fluencia.

La mayoría de los equipos comerciales permiten trabajar en presiones de hasta 20 MPa. En este rango de trabajo, se pueden determinar mediante este tipo de ensayo, módulos presiométricos en el rango de 10 a 8.000 MPa.

El dilatómetro se aplicará a terrenos más rígidos y anisótropos, pues permite trabajar a presiones superiores a 20 MPa, pudiendo realizar mediciones según tres ejes.

En sondeos de túnel, los ensayos de este tipo se llevarán a cabo, no sólo a cota de la rasante, sino también unos metros (diez, si es posible) por encima de ésta.

La aplicación real dependerá de las litologías, diámetro de perforación, revestimientos y problemática geotécnica observadas.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio a realizar sobre las muestras obtenidas en la campaña de campo se programarán a medida que éstas vayan siendo obtenidas en el curso de los trabajos.



El tipo de ensayos a efectuar dependerá de las características del suelo localizado y de la calidad de las muestras extraídas. El procedimiento de ejecución está regulado, en principio, por las normas siguientes; y siempre, por las reglas de buena práctica.

ORDEN	DENOMINACIÓN	NORMA
1	Apertura y descripción de muestras.	ASTM-D2488
2	Preparación de cada muestra para cualquier número de ensayos.	NLT-101/72
3	Determinación de la humedad natural.	NLT-102/72
4	Determinación de la densidad aparente.	NLT-156/72
5	Determinación de límites de Atterberg.	NLT-105/72 NLT-105/72
6	Granulometría por tamizado.	NLT-104/72
7	Proctor normal.	NLT-107/76
8	Proctor modificado.	NLT-108/76
9	CBR de laboratorio, sin incluir Proctor.	NLT-111/78
10	Hinchamiento Lambe.	UNE-7403/76
11	Presión de hinchamiento.	
12	Hinchamiento libre.	UNE-7392/75
13	Hinchamiento simple en suelos.	NLT-202
14	Corte directo (cualquier tipo)	ASTM-479
15	Triaxial (cualquier tipo)	NLT-202
16	Edómetro.	UNE-6392/75
17	Colapsabilidad.	
18	Carbonatos (cuantitativos)	NLT-116
19	Comprobación de no plasticidad.	NLT-106/72
20	Determinación de límite retracción.	UNE-7016
21	Granulometría completa por tamizado y sedimentación.	BS-1377
22	Granulometría por tamizado en zhorras.	NLT-150/72
23	Análisis químico completo de agua para determinar su agresividad.	TGL-11357
24	Equivalente de arena.	NLT-113/72
25	Determinación de peso específico.	UNE-7001
26	Compresión simple en roca, incluso tallado.	PNE-22185
27	Desgaste de Los Ángeles.	NLT-149/72
28	Determinación de sulfatos (cuantitativa)	NLT-120



ORDEN	DENOMINACIÓN	NORMA
29	Determinación de sulfatos en suelo o agua (cualitativa)	NLT-119
30	Determinación de materia orgánica (cuantitativa)	NLT-118
31	Determinación de la densidad “in situ”.	NLT-109/72
32	Ensayo de carga puntual.	UNE 22950-5

Todos los ensayos se realizarán en laboratorios oficialmente acreditados para ello; y se acompañarán de su documentación técnica acreditativa.

Ensayos de penetración dinámica

Para el ensayo de penetración pesado DPH, habitualmente conocido como ensayo tipo Borros, se empleará una puntaza maciza cuadrada de 16 cm² de sección y un ángulo de 90º, que irá acoplada al extremo inferior de una barra de 32 mm de diámetro aproximadamente. La maza de golpeo deberá pesar 65 kg, y la altura de caída será de 50 cm o una energía equivalente.

Todos los ensayos deberán llegar a roca firme o a un rechazo especificado en cada caso. Se contará y anotará el número de golpes necesario para cada 10 cm de avance. El ensayo se dará por finalizado cuando se superen los 200 golpes para un tramo de 20 cm, o los 100 golpes en varios tramos consecutivos.

En el ensayo de penetración superpesado o DPSH se emplea una puntaza cónica de 20 cm² de sección, que penetra en el terreno por el golpeo de una maza de 63,5 kg con una altura de caída de 76 cm. Se dará por finalizada la prueba cuando se superen los 100 golpes para una penetración de 20 cm; cuando tres valores consecutivos de N20 sean iguales o superiores a 75 golpes; o cuando el par de rozamiento (necesario para hacer girar el varillaje) no supere los 200 N·m.

Los resultados se representarán en gráficos, mediante curvas de penetración-golpes suficientemente claros.

En cada ensayo se reflejará la localización, cota de boca, fecha de ejecución y cuantas observaciones puedan ayudar a interpretar los resultados; sobre todo si se estima que ha podido producirse falso rechazo por golpear sobre algún bolo u otro obstáculo aislado.



5. CALICATAS

Este tipo de reconocimiento del terreno se realizará mecánicamente, con las dimensiones en planta apropiadas para permitir su inspección y eventual toma de muestras inalteradas o realización de otros ensayos. Su profundidad máxima se situará en torno a 4 m, salvo que se encuentre roca y se realizarán siempre fotografías en color, tanto de la excavación como de los materiales extraídos.

En cualquier caso, se adjuntará una memoria descriptiva del corte estratigráfico, registro del terreno, así como la descripción y clasificación normalizada, y características en cuanto a humedad, dureza y compacidad de cada estrato. De estas calicatas, normalmente se obtendrán las muestras en saco.

En el caso de que aparezca el macizo rocoso, se deberá describir su litología, meteorización, fracturación y estructura, incluyendo la red de juntas y las características de cada una de ellas.

Las calicatas podrán acompañarse de penetrómetros dinámicos para conocer la resistencia de estos materiales, siempre que no existan bloques o bolos como elemento predominante.

6. INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

Métodos geoelectricos

Por métodos geoelectricos de posible aplicación, se entiende el sondeo eléctrico vertical (SEV), el sondeo electromagnético en el dominio de tiempos (SEDT) y la tomografía eléctrica.

La tomografía eléctrica permite el estudio de cualquier heterogeneidad del subsuelo que presente una discontinuidad apreciable en la distribución de resistividades; como, por ejemplo, fallas o contactos en cualquier disposición, recubrimientos y accidentes de origen kárstico. Este método permite obtener una alta resolución hasta el entorno de los 100 m de profundidad.



El sondeo eléctrico vertical (SEV) es adecuado para las zonas más someras, que es donde se exige mayor precisión; si bien puede llegar al centenar de metros. El objetivo principal de esta investigación es la localización de los techos de formaciones rocosas u otros estratos, así como la situación del nivel freático.

En el caso de que la expansión lateral de las capas sea menor que la apertura del dispositivo de medida, o si existieran contrastes laterales de resistividad, se podrá sustituir el SEV por el SEDT. Este último permite investigar el terreno hasta casi 200 m de profundidad, y es capaz de proporcionar resultados más precisos en modelos geológicos complejos, con la ventaja de su sencillez operativa, pues requiere poco espacio para extender el dispositivo; sin embargo, al ser un método más complejo de interpretación, requiere de la intervención de personal experto.

Sistemas de refracción (PS)

El objeto de esta investigación consistirá en:

- Determinar el espesor y distribución de recubrimientos
- Caracterizar, tanto la zona meteorizada como la zona sana de los macizos rocosos, en términos de capacidad de excavación, la cual depende del grado de consolidación e integridad de los materiales.
- Identificar zonas de falla.
- Estudiar problemas puntuales como, por ejemplo, rellenos, deslizamientos o contactos entre unidades rocosas no aflorantes y con diferentes características geotécnicas.

La información obtenida de estos ensayos se correlacionará con los datos proporcionados por los sondeos próximos, a fin de ajustar los resultados.

La investigación deberá alcanzar la profundidad a que se encuentre la rasante. Se estima que con 24 geófonos (110 m de longitud), y empleando martillo como fuente de energía, se puede llegar a estudiar hasta unos 25-30 m de profundidad; que puede aumentarse considerablemente con el empleo de explosivos.



Con la información obtenida, y tras analizar los datos, se redactará un informe, que incluirá plano de situación y perfiles, y la definición de cada uno de los horizontes, sus características y gráficos de interpretación.

Sísmica de reflexión (PSR)

Este método es efectivo y adecuado para el estudio de discontinuidades horizontales o subhorizontales (30-35°) entre unidades litológicas del subsuelo, siempre que entre ellas exista contraste suficiente de la impedancia acústica. Asimismo, es importante que en el medio rocoso no existan reflectores o discontinuidades subverticales, ya que su efecto se traduciría en ruido en los registros sísmicos, enmascarando el resto de las señales.

En los resultados se ha de incluir la sección sísmica y la interpretada, aportándose la velocidad de propagación de la onda, su posible correlación con litologías y/o formaciones existentes, las fallas detectadas (o zonas más fracturadas), y la medida de la onda refractada para la interpretación de la zona más superficial.

Cuando se trata de zonas de falla en disposición subhorizontal, y con suficiente espesor, este método puede, “a priori”, identificar y determinar su localización y su geometría de forma fiable; sin embargo, en lo que respecta a las zonas de falla subverticales (>45°), este método permite únicamente identificar su existencia en términos cualitativos, pero en ningún caso identificarlas con la precisión requerida. Estas fallas se manifiestan en el ensayo como interrupciones y desplazamientos verticales, y también como zonas de sombra, al perderse la continuidad de los reflectores subhorizontales.

A pesar de que el ensayo haya dado como resultado una sección sísmica con reflectores bien definidos, ésta no debe considerarse una representación geométrica exacta del subsuelo. Una de las fuentes de error importantes que tiene este método es la transformación de la sección sísmica (distancia-tiempo) en una sección distancia-profundidad, comprensible en términos geológicos. Es por ello que, en cualquier estudio de este tipo de sísmica, deberá incluirse siempre la sección sísmica (distancia-tiempo) como documento básico; así como todas las interpretaciones geológicas que



se consideren pertinentes, siempre y cuando los accidentes del subsuelo presentados en la sección interpretada sean visibles de modo claro en la sección sísmica.

Pese a estas limitaciones, este sistema es una herramienta capaz de aportar información detallada del subsuelo cuando se le da un uso correcto, tanto para cuestiones operativas como para la resolución de problemas.

7. FORMATO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Constituyen un protocolo para regular la comunicación con el proyecto y optimizar los trabajos de campo.

Informe de sondeos

Dado que los sondeos se desarrollarán, parte en suelos y parte en roca, se recomienda disponer de dos formatos separados, que se utilizarán dependiendo del material.

Como ejemplo, el formato en roca deberá contener:

- Datos de perforación: Escala, revestimiento, perforación, maniobra (cotas), profundidad, espesor y estratigrafía (tramas)
- Ensayos “in situ”: Descripción, nivel freático, presiómetros, ensayos Lefranc/Lugeon y SPT.
- Caracterización del macizo rocoso: RQD, planos de discontinuidad y referencia, buzamiento, espaciado, apertura, JRC, espesor y tipo de relleno, resistencia al martillo, resistencia al esclerómetro, grado de meteorización y observaciones destacadas.
- Ensayos de laboratorio: Densidad seca, humedad, resistencia a compresión simple (Q_u y deformación), resistencia a tracción, resistencia al corte de las discontinuidades (ángulo de rozamiento), carbonatos y triaxial (c' , Φ')
- Gráficos de la evolución de los niveles de agua en los sondeos.
- Fotografías del emplazamiento y de las cajas.



Informe de calicatas

Cuanto menos, deberá contener la siguiente información:

- Escala.
- Interpretación: Profundidad, espesor, estratigrafía y descripción.
- Ensayos “in situ”: Nivel freático, Vane test, penetrómetro de bolsillo y recogida de muestra.
- Documentación gráfica: Croquis de situación y fotografías de la calicata, del material y del emplazamiento (general)
- Ensayos de laboratorio: Humedad, densidad seca, granulometría (Pasa 5, Pasa 0,08), límites de Atterberg, clasificación USCS, CBR (índice 95/100%, absorción e hinchamiento) y Proctor (densidad e hinchamiento)

Informe de estaciones geomecánicas

Deberá contener información acorde a las recomendaciones de la ISRM (“*Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*” y formatos normalizados para la aplicación de clasificaciones geomecánicas):

- Situación: Coordenadas, P.K. o distancia al eje, nº de estación y fecha de realización. Se recomienda incorporar un croquis de situación y descripción del afloramiento.
- Descripción de la litología, textura, grado de meteorización y resistencia.
- Cuadro de medidas conteniendo los planos con buzamiento y dirección de buzamiento.
- Espaciado, continuidad, apertura, rugosidad, relleno y características hidrogeológicas de las juntas inventariadas Jv, Jr, Ja, Jn.
- Inestabilidades y cuñas detectadas.
- Valoración de los índices RMR y Q.

En la documentación gráfica, se deberá incluir al menos una foto con un elemento de escala.



Informe de penetración dinámica

Se aportará la siguiente información de los penetrómetros realizados:

- Datos generales: Situación, coordenadas, sondista y profundidad de finalización.
- Informe del ensayo, con una tabla golpes/profundidad.
- Gráficas: golpeo/profundidad y resistencia dinámica/profundidad.
- Diagrama de la puntaza acotado.
- Fotografías del emplazamiento.
- Esquema de situación.

Informe de inventario de puntos de agua

Incluirá

- Situación.
- Titularidad y domicilio.
- Uso.
- Tipo.
- Profundidad total.
- Caudal l/s.
- Profundidad del nivel freático.
- Cota de la boca.
- Calidad.
- Unidad geológica.
- Tipo de acuífero.
- Expediente de registro.
- Posible afección al trazado.

Es prioritario en los puntos de agua sometidos a explotación, la determinación del caudal, para lo que se deberá proceder a una campaña que permitan valorar las propiedades hidrogeológicas básicas de la formación.