

# **APÉNDICE 3**

## **INSTRUCCIONES GENERALES PARA TRABAJOS GEOTÉCNICOS**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>TRABAJOS DE CAMPO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Condiciones generales .....	1
1.2	Sondeos mecánicos .....	1
1.2.1	Situación de sondeos .....	1
1.2.2	Prescripciones generales.....	2
1.2.3	Ensayos de penetración estándar.....	4
1.2.4	Toma de muestras y testigos parafinados.....	4
1.2.5	Toma de muestras de agua.....	4
1.2.6	Observaciones del nivel freático.....	5
1.2.7	Ensayos de permeabilidad “in situ” .....	5
1.2.8	Ensayos de presiometría y dilatometría .....	6
1.2.9	Finalización de sondeos .....	7
1.2.10	Envase, protección y transporte de muestras .....	7
1.3	Calicatas .....	7
1.3.1	Calicatas en vía ferroviaria.....	8
1.3.2	Toma de muestras en saco.....	9
1.4	Ensayos de penetración.....	10
1.4.1	Ensayos de penetración dinámica tipo DPSH y BORROS .....	10
1.4.2	Ensayos de penetración estática CPT y CPTU .....	10
1.5	Ensayos de corte en el interior de sondeos (vane-test) .....	10
1.6	Ensayo de carga con placa .....	11
1.7	Investigación geofísica.....	11
1.7.1	Sondeo eléctrico vertical (SEV) .....	11
1.7.2	Tomografía eléctrica .....	12
1.7.3	Sísmica de refracción .....	12
1.7.4	Sísmica de reflexión .....	13
1.7.5	Sísmica pasiva (Refracción pro Microtremor) .....	13
1.7.6	Geo-radar (GPR) .....	14
1.7.7	Testificación geofísica de sondeos.....	14
1.8	Ensayos de bombeo .....	15
1.9	Supervisión de los trabajos y ensayos de campo .....	15
<b>2</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>16</b>
2.1	Ensayos reutilización de balasto .....	19
<b>3</b>	<b>PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS .....</b>	<b>19</b>
3.1	Trabajos de campo y ensayos de campo .....	19
3.1.1	Sondeos .....	19
3.1.2	Calicatas.....	20
3.1.3	Ensayos de penetración dinámica o estática.....	21
3.1.4	Investigación geofísica .....	22
3.1.5	Ensayos de presiometría y dilatometría.....	22
3.1.6	Ensayos de carga con placa .....	23
3.2	Presentación de ensayos de laboratorio .....	24

## **1 TRABAJOS DE CAMPO**

### **1.1 Condiciones generales**

Los trabajos se ejecutarán siguiendo las normas de buena práctica, en orden a conseguir una satisfactoria identificación de los terrenos encontrados y la recuperación de muestras representativas. En cualquier caso, el Contratista seguirá las indicaciones que reciba por parte del Responsable del Trabajo de INECO.

Para la ejecución de los trabajos de campo deberá disponerse de autorización del titular del terreno. El Contratista enviará puntualmente copia al Responsable del Trabajo de INECO de todos los permisos solicitados con el registro de entrada del organismo correspondiente, así como de todas las contestaciones recibidas.

Todo el equipo de trabajo deberá estar en buenas condiciones durante el transcurso de las campañas. Si a juicio del Responsable del Trabajo de INECO, el equipo suministrado es inadecuado, deberá ser reemplazado a costa del Contratista por otros equipos adecuados.

El Contratista, en todos los trabajos que se le encomienden, deberá utilizar sus propios equipos materiales y humanos ofertados, con prioridad respecto a los equipos de sus colaboradores o subcontratistas. Estos equipos no podrán ser sustituidos por otros distintos sin la aprobación expresa previa del Responsable del Trabajo de INECO.

Los trabajos de campo se efectuarán en el emplazamiento previsto en el Plan de Trabajos geotécnicos aprobados. No serán de abono aquellas investigaciones desplazadas de su posición que no hayan sido aprobadas previamente por INECO, que no hayan sido realizadas siguiendo las especificaciones de este documento o cuyos resultados sean incorrectos o dudosos por causas imputables al Contratista. En dicho caso INECO podrá mandar repetir dichos trabajos a costa del Contratista.

Los equipos de perforación estarán formados al menos por un sondista experto (oficial) y un ayudante. Deberán contar con todos los medios necesarios para la correcta ejecución de los sondeos, tales como depósito de agua, bombas, mangueras, varillaje de longitud homogénea (se prohíbe expresamente utilizar varillas de diferentes longitudes en el mismo equipo, ya que frecuentemente da origen a errores en el cálculo de la profundidad), borriquetas, canaleta de al menos 3 m de longitud, martillo de nailon, herramientas varias. Dispondrá también de una bomba-lápiz eléctrica de diámetro inferior a 60 mm, u otro dispositivo capaz de vaciar totalmente el sondeo de agua a su finalización, o cuando el Responsable del Trabajo de INECO lo requiera, así como sonda piezométrica eléctrica (hidronivel) para medir la profundidad del agua, de longitud suficiente para poder medir en el sondeo que se esté perforando.

Cada equipo de trabajo de campo (sondeos, calicatas, etc.) deberá tener a pie de obra, determinados medios de ayuda para la clasificación y descripción del terreno. Entre éstos, se consideran como imprescindibles los siguientes: martillo y brújula de geólogo, lupa, metro de carpintero, cámara fotográfica, sonda piezométrica eléctrica que permita alcanzar la máxima profundidad perforada y ácido clorhídrico diluido para la determinación cualitativa del contenido de carbonatos. Asimismo, dispondrá de los planos de planta y perfil de la propuesta de campaña y la fotografía aérea/ortofoto facilitados por INECO.

La situación de los sondeos, se determinará preferentemente por métodos que permitan obtener un error en coordenadas (X,Y) inferior a 1 m y menor de 0,01 m en la Z. En el caso de penetrómetros y calicatas, el error admisible en la Z será inferior a 0,5 m.

### **1.2 Sondeos mecánicos**

#### **1.2.1 Situación de sondeos**

Los sondeos se llevarán a cabo en los puntos indicados por el Responsable del Trabajo de INECO, en donde los datos obtenidos permitan asegurar el cumplimiento del objeto de su perforación, cuidando de minimizar la ocupación de viales, la afección al tráfico y la perturbación del entorno.

En los lugares a sondear en que deban ser tenidas en cuenta medidas de seguridad para protección de servicios urbanos o instalaciones enterradas, se hará previamente la preparación del terreno con los medios auxiliares necesarios.

Las perforaciones tendrán señalizada el área de trabajo y dispondrán de las medidas de seguridad para los viandantes, la circulación de vehículos, el mobiliario urbano, el arbolado y, en definitiva, el entorno en que se lleva a cabo

Las bocas de los sondeos terminados quedarán protegidas con tapas metálicas y enrasadas con el vial o el terreno, disponiendo sistemas de apertura con herramientas específicas que permitan la medida regular del nivel piezométrico.

La situación de los sondeos será determinada topográficamente, debiendo quedar localizados por referencias a puntos fijos bien identificados. La cota será determinada por nivelación geométrica.

Los puntos investigados serán fotografiados durante la realización de los sondeos y después de finalizados.

### **1.2.2 Prescripciones generales**

Los sondeos mecánicos se realizarán a rotación, con recuperación continua de testigo. Puntualmente, si las circunstancias lo requieren, y siempre a indicación del Responsable del Trabajo de INECO, se podrían emplear otros sistemas de perforación.

Ocasionalmente el Responsable del Trabajo de INECO podrá ordenar o autorizar la perforación a rotoperusión, con o sin recuperación del detritus y con la entubación que se precise para otras operaciones o ensayos posteriores.

En sondeos perforados con sistema wire-line, el diámetro mínimo será el correspondiente al tipo HQ. La perforación con diámetros inferiores requerirá la aprobación del Responsable del Trabajo de INECO.

Para estabilizar los sondeos, cuando se perfore con adición de agua, si fuera preciso, se utilizará entubación metálica de diámetro no inferior a 98 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.

En todos los casos el fondo de la perforación deberá limpiarse 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 del fondo se efectuará de forma que se asegure que el suelo a ensayar no resulta alterado por la operación.

En suelos, salvo condiciones especiales de dureza u otras circunstancias, se hará la perforación en seco. En cualquier caso, en suelos cohesivos se deberá obtener no menos del 95% de recuperación, y en suelos granulares no menos del 90%.

En los suelos granulares se efectuarán ensayos de penetración estándar (S.P.T.), a intervalos no mayores de 3,0 m y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

En los suelos cohesivos se tomarán muestras inalteradas a intervalos no mayores de 4,0 m mediante tomamuestras de pared delgada o gruesa, intercaladas con ensayos de penetración estándar y/o testigos parafinados, de modo que se obtenga una muestra o se realice un ensayo como mucho cada 3,0 m.

En los casos en que la elevada dureza del terreno no permita tomar muestras inalteradas convencionales, se parafinarán porciones representativas del testigo obtenido.

No obstante, el Responsable del Trabajo de INECO podrá cambiar la metodología de toma de muestras o ensayos si lo consideran oportuno, en función de las características del terreno y/o profundidad de las prospecciones.

Quando se perfore con adición de agua, el nivel de la misma en el sondeo se mantendrá en todo momento a la altura del nivel piezométrico o ligeramente por encima del mismo. Tanto la herramienta de perforación, como el tomamuestras de ensayos S.P.T., se retirarán lentamente, manteniendo una aportación continua de agua a fin de evitar el posible aflojamiento del suelo.

Quando se trate de sondeos para la investigación de la cimentación de estructuras y se encuentre un estrato potente de roca, se penetrará en ella un mínimo de cinco (5) metros, salvo autorización expresa en contrario.

En roca, se perforará a rotación, utilizando batería doble y con extracción de testigo continuo. El diámetro interior mínimo del tubo batería será de setenta (70) milímetros. Las coronas de perforación serán las más adecuadas a las características del terreno.

Si las recuperaciones obtenidas fueran suficientes y la calidad del testigo adecuada, a juicio del Responsable del Trabajo de INECO, ésta podrá autorizar al Contratista la utilización de batería sencilla.

El Contratista deberá controlar la velocidad y la presión de la perforación, caudal y presión de agua y longitud de carrera, con vistas a conseguir la máxima recuperación de testigo posible. A este respecto, si el Responsable del Trabajo de INECO lo ordenara, se procederá al registro continuo de los principales parámetros de perforación, tanto analógica como digitalmente. Los parámetros a registrar serán principalmente los siguientes: velocidad de avance, revoluciones por minuto, par de rotación, carga sobre la corona, presión de inyección, caudal de inyección, etc.

En sondeos inclinados con longitud superior a 70 m deberá medirse y registrarse la desviación producida.

Si se encontraran formaciones blandas o muy fracturadas, el Contratista tomará las precauciones necesarias para mantener el testigo tan inalterado como sea posible y conseguir su recuperación. En suelos metaestables, muy sensibles a la adición de agua, deberá limitarse la aportación de agua al sondeo, realizando en seco la maniobra anterior a la toma de muestras o ensayos de penetración.

En algunas condiciones de especial dificultad de recuperación de testigo, el Responsable del Trabajo de INECO podrá ordenar la utilización de baterías especiales, refrigeradas por aire, y/o la utilización de baterías triples, dotadas de camisa de fibra de vidrio.

En roca, la longitud de carrera no será en ningún caso mayor de tres (3) metros. En formaciones blandas o fracturadas, esta longitud no deberá exceder de un metro y medio (1,5 m), reduciéndose incluso a medio (0,5) metro si fuera aconsejable.

Una vez extraído el tubo portatestigos del sondeo, se sacará el testigo del mismo cuidadosamente, colocándolo en una caja madera o de cartón parafinado, preparada al efecto suministrada por el Contratista.

El testigo se clasificará, midiéndose la recuperación obtenida, y se situará en la caja portatestigos siguiendo la secuencia en que fue obtenido, disponiendo separadores entre las diferentes maniobras realizadas y delimitando las cotas de toma de muestras (S.P.T., muestras inalteradas, testigos parafinados, etc.).

Además del porcentaje de recuperación, se determinará para todos los testigos obtenidos el índice de calidad de roca (RQD). Este índice, expresado como tanto por ciento, se obtendrá como cociente entre la longitud total del testigo, considerando solamente aquellas partes del mismo de al menos diez (10) centímetros 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 como tales a los efectos de determinar el índice RQD.

El Contratista deberá llevar un registro o parte de campo continuo de la ejecución de cada sondeo, en el que el sondista haga constar como mínimo los siguientes datos: maquinaria y equipos utilizados, fechas de ejecución, coordenadas y cota de boca, operaciones realizadas, columna estratigráfica y descripción de los terrenos encontrados indicando en qué tramos se ha perforado en seco y cuáles con adición de agua u otros fluidos autorizados. También se incluirán los resultados de los ensayos de penetración realizados, situación y características de las muestras obtenidas, ganancias y/o pérdidas del líquido de perforación, cotas del nivel freático y de otros niveles acuíferos, recuperaciones obtenidas y diámetro del sondeo y cuantas incidencias se hubieran producido durante la perforación.

Este registro o parte de campo deberá estar a disposición del Responsable del Trabajo de INECO o persona que él designe en cualquier momento, como comprobación de la marcha del sondeo y de la ejecución de dicho parte en tiempo real. Una vez terminado el sondeo, se entregará al menos una copia del parte de campo al Responsable del Trabajo de INECO o a quien éste indique.

La clasificación y descripción de los suelos y rocas se realizará según criterios de las Sociedades Españolas de Mecánica de Suelos y Rocas e Ingeniería Geotécnica.

A petición expresa del Responsable del Trabajo de INECO podrá procederse al sellado total o en parte de los sondeos. Dicha operación se realizará con bentonita en pellets o lechada de cemento, en este último caso se ejecutará siempre de abajo a arriba.

### **1.2.3 Ensayos de penetración estándar**

Tanto el equipo utilizado como el procedimiento operativo del ensayo se ajustarán a lo establecido en la Norma UNE – EN ISO 22476-3.

### **1.2.4 Toma de muestras y testigos parafinados**

El tomamuestras de pared delgada, para reconocer los suelos blandos, tendrá de 1 a 2 mm de espesor, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. No podrán utilizarse tomamuestras de diámetros inferiores sin la aprobación del Responsable del Trabajo de INECO. Este tipo de tomamuestras, en número razonable, con los complementos necesarios para su uso, estará permanentemente en obra como dotación básica del equipo de sondeos. Antes de proceder a la toma de una muestra, se retirarán todos los materiales sueltos o alterados del fondo del sondeo, como se indica en el apartado 6.2.1. La toma de la muestra se efectuará a velocidad constante, hincando lentamente el tomamuestras en el terreno mediante presión.

El tomamuestras seccionado, para reconocer el resto de suelos, será de pared gruesa de 4 mm de espesor, longitud mínima 60 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. La secuencia y demás condiciones de hincado de estos tomamuestras serán las mismas que para la realización del ensayo SPT con idea de facilitar la correlación del golpeo con dicho ensayo SPT. Una vez hincado el tomamuestras, la muestra se cortará del terreno por rotación, sacándose seguidamente el tomamuestras con las debidas precauciones.

Extraído el tomamuestras y separado el varillaje, se eliminarán cuidadosamente al menos 3,0 cm de la muestra por ambos extremos y se rellenarán inmediatamente los huecos con parafina líquida. La parafina se fundirá con un dispositivo eléctrico, evitando hacer fuego. Los extremos del tubo que aloja a la muestra deberán protegerse con tapas cuidadosamente ajustadas. Los tubos que contengan las muestras se etiquetarán para su identificación, almacenándose cuidadosamente para su envío al laboratorio.

Cuando la resistencia del terreno sea elevada impidiendo la toma de muestras inalteradas de longitud suficiente para su posterior ensayo en el laboratorio y el terreno sea cohesivo, se sustituirá la toma de muestra inalterada por el parafinado de un trozo del testigo obtenido de la mayor longitud posible (> 35 cm). Estas porciones, previa limpieza superficial, se recubrirán con material no absorbente, y el conjunto se protegerá con un baño de parafina, de espesor suficiente para asegurar la invariabilidad de sus condiciones de humedad. En circunstancias especiales, el Responsable del Trabajo de INECO podrá autorizar otros sistemas de protección de las muestras, siempre que se garantice su inalterabilidad. El diámetro mínimo de las muestras parafinadas será de 70 mm. Cada porción de testigo seleccionado se etiquetará para su correcta identificación.

Las Normas de aplicación para la toma de muestras inalteradas en sondeos serán la ASTM D-3550/84 y ASTM D-1587/94.

### **1.2.5 Toma de muestras de agua**

Cuando se encuentra agua en el 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 de agua del propio terreno, se adjuntará una muestra del agua utilizada para perforar.

Las muestras de agua se envasarán en recipientes limpios de plástico o vidrio, dotados de cierre hermético, precediéndose al llenado de los mismos después de enjuagarlos con el agua a muestrear. Cada una de las muestras se etiquetará correctamente indicando su procedencia.

La toma de muestra de agua para análisis químicos se ejecutará de acuerdo a lo establecido en la Norma UNE 41.122/95.

### 1.2.6 Observaciones del nivel freático

El Contratista deberá llevar 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. Si durante la ejecución del sondeo se utilizaran lodos bentoníticos, o geles especiales de perforación, se limpiará éste una vez finalizado mediante circulación de agua limpia. La utilización de lodos bentoníticos o geles especiales precisará la aprobación previa del Responsable del Trabajo de INECO, en especial si se pretende realizar posteriores ensayos de permeabilidad.

Tras la terminación de cada sondeo, se introducirá en éste un tubo perforado o ranurado, de PVC o galvanizado, para la medición del nivel freático y posibles comprobaciones de la profundidad del sondeo. Estos tubos tendrán un diámetro útil comprendido entre 60 y 100 mm y las uniones serán soldadas o roscadas. Los extremos de estos tubos se deben tapar y proteger adecuadamente. Los tubos piezométricos se nivelarán cuidadosamente, dejando en el extremo libre una referencia de nivel. El Contratista tomará 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 permitir el control diferido del nivel freático, podrán ser utilizados en su momento para el rellenado u obturación de los sondeos. Si estuviera previsto realizar algún ensayo especial en el interior del sondeo, se podrá ordenar la colocación de un revestimiento provisional de las características que se precisen.

En los sondeos en curso se controlará la posición del agua en los mismos, indicando la profundidad a que se encuentra el sondeo, y la fecha y hora de las lecturas.

Durante la realización de cada campaña de campo el Contratista efectuará mensualmente como mínimo dos mediciones del nivel freático en todos los sondeos, y una más a la finalización del mismo, una vez archivado el sondeo.

Cuando se perfore en seco, se anotará el nivel al que se detectó por primera vez el agua y la posterior evolución de los niveles de ésta. Si se perfora con agua, se realizarán al menos dos achiques de la misma, controlando los niveles de achique y las posibles recuperaciones de nivel, de modo que se garantice la comprobación y posición del nivel freático. Por tanto, el Contratista deberá proponer y en su caso tener, a pie de obra, el adecuado equipo para realizar estos achiques (cacillo, minibomba, aire comprimido, etc.).

El Contratista llevará un registro de estos niveles, 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 puedan tener influencia en los niveles medidos, tales como mareas, lluvias, etc.

En caso de que fuera preciso o conveniente, se instalarán piezómetros de modo que puedan aislarse los distintos acuíferos interceptados en cada sondeo.

### 1.2.7 Ensayos de permeabilidad “in situ”

En roca se realizarán ensayos Lugeon, mientras que los ensayos Lefranc se realizarán en suelos y rocas muy fracturadas. Cualquier otro tipo de ensayo de permeabilidad “in situ” requerirá de la autorización del Responsable del Trabajo de INECO.

El ensayo Lugeon se realizará durante la ejecución del sondeo, comenzando por el fondo y de forma ascendente, o una vez finalizado éste. Para ello se inyectará agua a presión, en escalones sucesivos de carga y descarga de 0, 100, 200, 500 y 1.000 kPa, manteniendo la presión constante en cada escalón durante un periodo de 10 minutos y midiendo las admisiones producidas. Se ensayarán tramos de sondeo de unos 5,00 m, aislando el tramo de ensayo del resto mediante dos obturadores, o uno sólo si el ensayo se realiza en el fondo del sondeo. Se utilizarán preferentemente obturadores hinchables.

La inyección se realizará mediante bomba, midiendo la presión con manómetro y el volumen inyectado con un contador de agua o un recipiente tarado. Se utilizarán bombas de 150 l/min cuando se trabaje a una presión de 1.000 kPa.

Deberán siempre alcanzarse los 1.000 kPa, excepto en rocas blandas en las que se recomienda no superar los 500 kPa.

Los resultados del ensayo Lugeon se representarán en función de la profundidad, de forma gráfica, en unidades Lugeon, o caudal de admisión en l/min x m en función de la presión ensayada, indicando también el coeficiente de permeabilidad equivalente.

El ensayo Lefranc se realizará en el interior de un sondeo, durante su ejecución o una vez finalizado, para determinar el coeficiente de permeabilidad  $k$  en suelos permeables o semipermeables de tipo granular (aluviales, arena, limo) con velocidad de flujo lenta y situados bajo el nivel freático, o en rocas muy fracturadas.

Este ensayo se podrá realizar midiendo los caudales (a régimen permanente) o midiendo los niveles (a régimen variable). Si durante su ejecución la inestabilidad del terreno lo aconsejara, se procedería a rellenar con gravilla el tramo de ensayo.

En el ensayo Lefranc a régimen permanente, como norma general, deberá medirse el caudal de admisión cada 5 minutos, manteniendo constante el nivel en la boca del sondeo durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta, deberá medirse cada minuto durante los 20 primeros y después cada 5 minutos hasta llegar a los 45 minutos. El  $k$  del tramo será el promedio de todos los valores obtenidos. Se utilizará sonda eléctrica, cronómetro y medidor de volúmenes de agua.

El ensayo a régimen variable se realizará preferentemente de forma descendente. La carga máxima de agua no excederá los 10 metros medidos desde el centro de la cámara filtrante y la longitud de ésta no excederá de 5,00 m. se utilizará sonda eléctrica y cronómetro, realizándose al menos 5 observaciones tomando los tiempos de observación de acuerdo a la velocidad de descenso/ascenso del nivel de agua en el tubo. Para cada una se registrará la profundidad del tramo ensayado y demás datos geométricos, así como las sucesivas posiciones de la lámina de agua con el tiempo. Los puntos de observación se representarán en una gráfica descensos/tiempo.

En cada sondeo de túnel deberá realizarse, al menos, un ensayo de permeabilidad “in situ”, Lugeon o Lefranc, realizado a cota de túnel. En los sondeos en terrenos aluviales se realizará al menos un ensayo Lefranc si se prevé proyectar rellenos apoyados sobre los mismos.

En todos los ensayos deberá describirse siempre la metodología seguida e indicarse las relaciones presión-admisión o carga de agua-admisión para cada tramo ensayado, a fin de estimar la permeabilidad y/o inyectabilidad del terreno.

### 1.2.8 Ensayos de presiometría y dilatometría

El equipo a utilizar para estos ensayos deberá reunir las condiciones adecuadas al tipo de terreno a ensayar, principalmente por los diferentes rangos de presiones a alcanzar. En el caso de rocas los equipos deberán poder alcanzar hasta 20.000 kPa (caso del ensayo dilatométrico). Estas presiones deben aplicarse en varios ciclos de carga-descarga, realizándose al menos doce (12) escalones por ciclo hasta alcanzar la estabilización de las deformaciones. La utilización de lamas de protección de la célula de carga sólo será autorizada en el caso de que el terreno contenga gravas abundantes.

En suelos excepcionalmente blandos y con dificultades para mantener estable la perforación previa, necesaria para un ensayo presiométrico, puede realizarse un ensayo con célula plana (DMT), que no precisa perforación. Esta célula se sitúa a la cota de ensayo mediante hincas por empuje hidráulico, preferentemente o por golpeo.

En el caso de emplearse equipos de alta presión con medida independiente en más de una dirección, se realizan interpretaciones sobre la anisotropía deformacional.

La utilización de lamas de protección de la célula de carga sólo será autorizada en el caso de que el terreno contenga gravas abundantes.

De cada ensayo se aportará el registro digital bruto, los resultados de la calibración en tubo rígido y vacío, así como el método de interpretación utilizado. También se proporcionará el módulo presiométrico (indicando en este caso el coeficiente de Poisson estimado) y/o de corte, y las presiones de fluencia y límites (brutas y netas).

El equipo de ensayo deberá ir conectado a un ordenador que recoja todos los datos y resultados del proceso de ensayo y capaz de producir in situ los gráficos correspondientes. El proceso de hinchado de



los equipos se llevará cabo de manera automática mediante compresor, nunca mediante métodos manuales.

#### **1.2.9 Finalización de sondeos**

Una vez instalada la tubería piezométrica y arqueta de protección de la boca, y retirada la maquinaria, se procederá al adecuado cierre y compactación de las pozas de decantación de lodos inmediatamente, así como a la recogida de todos los materiales de desecho, incluidos los fragmentos de testigo procedentes de las maniobras de limpieza. La restitución del entorno debe ser lo más completa posible, dentro de lo razonable, reponiendo el pavimento y replantando especies vegetales en zona urbana, si fuese necesario, limpiando las manchas de grasas y aceite y cuidando de no dejar ningún resto.

El emplazamiento del sondeo se fotografiará finalmente desde varios ángulos para poder comprobar estos extremos

#### **1.2.10 Envase, protección y transporte de muestras**

Todas las muestras y testigos se envasarán convenientemente para evitar su alteración durante el transporte o almacenamiento, y se enviarán a la mayor brevedad posible al laboratorio. Las cajas deberán estar siempre protegidas de la intemperie.

Las muestras inalteradas deberán conservarse en el laboratorio en un ambiente de temperatura y humedad controladas. Únicamente se procederá a la apertura de los envases de las muestras que vayan a ensayarse, y sólo en el momento de la realización de los ensayos correspondientes. El resto de las muestras deberán conservarse en condiciones óptimas de humedad y temperatura, al menos durante seis meses desde la fecha de finalización contractual en el laboratorio del Contratista o donde éste proponga previa notificación y visto bueno del Responsable del Trabajo de INECO. Este periodo de "archivo" de muestras será aplicado a las cajas portatestigos, con todos los testigos obtenidos y no destinados a ensayo. Antes de la eliminación definitiva de las cajas, se deberá notificar por escrito tal circunstancia al Responsable del Trabajo de INECO con una antelación mínima de una semana a la fecha de eliminación.

### **1.3 Calicatas**

Las calicatas se realizarán mecánicamente hasta una profundidad no inferior a 3,0 m, salvo que aparezca roca o que las características del suelo o la presencia de agua lo impidan. Las calicatas tendrán las dimensiones necesarias en planta para permitir su inspección y descripción, la realización de fotografías en color, la obtención de eventuales tomas de muestras en saco o inalteradas o la realización de otros ensayos.

En caso de alcanzarse una profundidad inferior a 1,50 metros por imposibilidad de seguir excavando debido a la existencia de bolos o encostramientos carbonatados o de otra naturaleza, se repetirá la calicata en un punto próximo. A efectos de medición y abono se computará una sola calicata. Ineco podrá requerir el empleo de martillo neumático.

La toma de muestras se efectuará siempre en la pared de la calicata, seleccionando con precisión el nivel que se quiere muestrear e indicándose exactamente la profundidad del muestreo. En ningún caso se tomarán muestras del material existente en el fondo de la calicata ni a profundidad inferior a medio metro.

Si el fin de la calicata es el de acceder a una cota o estrato de interés para la realización de un ensayo de carga con placa, el fondo de la misma se dejará ligeramente por encima de la cota de ensayo, de modo que este exceso se elimine en el momento de la realización del ensayo para evitar o disminuir la posible descompresión del terreno, sobre todo si la profundidad fuese superior a 1,0 m. Así mismo se darán las dimensiones adecuadas en planta para permitir la correcta realización del ensayo y asegurar la estabilidad de las paredes.

Antes de proceder a la restitución del terreno extraído, si se observase la existencia de humedad o un rezume de agua, se mantendrá abierta la excavación durante unos 30 minutos con el fin de valorar y estimar en lo posible la permeabilidad del terreno.

Se procederá al adecuado cierre y compactación de las calicatas abiertas de manera que se restituya la totalidad del terreno extraído.

Todas las calicatas serán descritas por un geólogo u otro técnico competente, adjuntando un corte estratigráfico del terreno, así como el estado del mismo en cuanto a humedad, dureza o compacidad de cada estrato.

El registro de la calicata, contendrá además las coordenadas x,y,z de la calicata y la posición del nivel freático, si este apareciese.

Se realizará un reportaje fotográfico de las calicatas realizadas, con fotografías de la situación previa a la excavación, durante el desarrollo de esta y, por último, de la zanja excavada y de la pila o pilas del material excavado, así como de detalle del material o materiales.

### 1.3.1 Calicatas en vía ferroviaria

Las calicatas se realizarán como regla general con medios manuales, sin empleo de maquinaria de movimiento de tierras, incluso la de reducido tamaño (miniexcavadoras u otros). Sólo podrá emplearse maquinaria si existe una aprobación expresa por parte del Responsable del Trabajo de INECO y de los titulares de la infraestructura.

Si las calicatas que estén previstas en vías actuales, se realizarán con piloto de vía, si a juicio del mismo no se pudieran ejecutar en los sitios designados, se desplazará hasta una nueva ubicación más segura.

La referencia para medir profundidades en las calicatas será la cara inferior de la traviesa, aunque se indicará siempre el espesor total de balasto (incluyendo el espesor de la traviesa). La profundidad mínima de la calicata debe ser tal que se alcance la capa de coronación del relleno o el fondo de desmonte y se tomará una muestra de este material.

A medida que se va excavando, se deberá separar el material de las diferentes capas existentes en capazos, de forma que se garantice que no se mezclen los diferentes materiales para su correcta restitución y compactación. Alternativamente se podrá disponer el material sobre lonas.

En cada calicata se realizarán los siguientes reconocimientos mínimos, a menos que se indique lo contrario:

- Reconocimiento de la vía: Se indicará el tipo de traviesa existente y el ancho de vía. Se elaborará un croquis transversal acotado con la posición de la calicata. Se indicaran las coordenadas topográficas.
- Reconocimiento visual del terreno: Se indicará siempre el espesor de balasto, su naturaleza (porcentaje de árido calizo/silíceo /ofítico u otros), su tamaño, forma y tipo de contaminación presente. Se realizará una fotografía que procure reflejar la proporción de los diferentes tipos de balasto en el caso de existir mezcla.

Se determinará el espesor y naturaleza de los materiales de las distintas capas constituyentes. En caso de apreciarse cambios de espesor en las capas, se indicará, tanto longitudinal como transversalmente.

- Toma de muestras de balasto: Se tomarán siguiendo las instrucciones recogidas en la norma NAV 3.4.0.2 para la toma de muestras en vía.

La toma de muestras de balasto se hará en la hombrera de la banqueta de la vía. La anchura de la excavación será aproximadamente la distancia existente entre dos traviesas, de acuerdo con el apartado 2.6.3 de la mencionada Norma. La excavación se comenzará desde arriba hacia abajo, en la proximidad del carril, pero dejando un margen para que el carril no se descalce (el apartado 6.2.3 indica que se dejarán sin excavar al menos 30 cm de balasto en dirección al carril, pero seguramente se podrá dejar menos distancia, en torno a unos 10 cm, aunque será la experiencia la que indique ese margen). En muchas ocasiones, el balasto que es visible en la vía tiene un aspecto bastante bueno en lo que se refiere al tamaño, naturaleza y grado de meteorización de la piedra, y eso es debido a las labores de mantenimiento de la geometría de la vía, que suponen la aportación superficial de balasto nuevo en ciertos momentos de la explotación. El espesor de este balasto de buen aspecto suele estar alrededor de los 10 a 20 cm. También es corriente que al apartar esta capa de balasto de buen aspecto aparezca debajo un balasto más antiguo, con lógicamente peores condiciones de tamaño, forma y aspecto exterior, y esto casi siempre es así en el balasto situado bajo la base de la traviesa. Es

precisamente el balasto que está bajo la traviesa el que se quiere muestrear y ensayar, para lo que se cuidará que no se mezcle con el balasto que hay en la superficie de la banqueta. La razón de elegir este balasto situado bajo la traviesa es porque es el que más influye en el comportamiento de la vía.

En las calicatas de balasto se procederá a la toma de muestras en la capa de terreno situada inmediatamente por debajo del balasto (fondo de excavación o coronación del terraplén), estas serán en bolsa. Además se tomarán muestras, cada 3 calicatas, en botes herméticamente cerrados para realizar ensayos de humedad.

Si durante la ejecución de las calicatas se detectan capas de terreno adicionales a las anteriores, como por ejemplo, machaca, subbalasto y capa de forma, se procederá también a su muestreo.

- Finalización: Cuando se haya terminado la toma de muestras, y tras la realización de las fotografías correspondientes, se repondrá el terreno a su posición original.

Para ello el Contratista deberá proceder a la compactación cuidadosa por tongadas del material extraído en las calicatas.

Para el material por debajo del balasto, se dispondrá de una provisión de zahorra (en sacos, canastos u otro sistema) para realizar la correcta reposición de las calicatas y sustituir las muestras de material tomado.

Para el balasto, se procederá al relleno con piedras del hueco producido por la ejecución de la calicata. Se utilizará para ello el balasto apartado durante la ejecución de la calicata y que no forma parte de la muestra, y el balasto de los taludes adyacentes, de la banqueta, del punto en que se ha hecho la excavación, y si existe, el balasto que a veces hay en exceso en la superficie horizontal de la banqueta. En cualquier caso, la recogida de las piedras adyacentes se hará de forma moderada y progresiva, para que al final la zona donde se ha realizado la calicata tenga un aspecto muy similar al que tenía antes de la excavación y no quede degradada la banqueta en el entorno de la calicata. El relleno del hueco producido por la toma de muestra del balasto se hará disponiendo las piedras al menos en 3 tongadas (cada tongada debería tener un espesor máximo de unos 25 o 30 cm), se compactará hincando varias veces una barra metálica entre las piedras vertidas en cada tongada, para conseguir una mayor compacidad que la que resulta si solo se vierten las piedras. Al acabar de rellenar el hueco generado por la excavación, se dejará con un aspecto similar al inicial antes de la calicata, para ellos se golpeará moderadamente con las botas la superficie de las piedras en la zona en que se ha hecho el relleno, especialmente la superficie existente entre las dos traviesas donde se ha hecho la calicata, consiguiendo que ambas traviesas queden rodeadas por dichas piedras.

### 1.3.2 Toma de muestras en saco

En las calicatas se tomarán muestras en saco para la realización de ensayos en el número y cuantía que se determinen. La cantidad por cada muestra será la suficiente para poder realizar al menos granulometría completa, un ensayo Próctor modificado y un CBR. Dicha cantidad será determinada en función del tamaño máximo de los granos del material. Se considera que el peso de cada muestra deberá ser de al menos unos 60 kg para los materiales más finos.

El envasado de las muestras se realizará en sacos de plástico de suficiente consistencia para su transporte y de modo que se evite durante el mismo la pérdida de finos. 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 correctamente para su identificación utilizando al menos dos (2) etiquetas adhesivas, una de las cuales, se colocará en el interior del saco como medida de seguridad.

Este tipo de muestras se podrá tomar bien en superficie o de cortes de taludes, calicatas o sondeos con barrera helicoidal.

La toma de muestras de canteras debe ser al menos de 50 kg. y permitirá tener la cantidad necesaria para la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes.

## 1.4 Ensayos de penetración

### 1.4.1 Ensayos de penetración dinámica tipo DPSH y BORROS

Este ensayo se ajustará a lo establecido en la Norma UNE-EN ISO 22476-2.

Las puntazas a utilizar en cualquiera de los ensayos de penetración dinámica deberán estar homologadas en base a la normativa correspondiente. En ambos ensayos se contará y anotará el número de golpes necesarios para cada 20 cm de avance.

Los ensayos de penetración se realizarán, como normal general, con el equipo DPSH.

En caso de producirse rechazo a menos de 1 m de profundidad o cuando lo considere preciso el Responsable del Trabajo de INECO por la duda razonable de la representatividad del ensayo, de acuerdo con las características del terreno, se realizará otro intento desplazando el equipo a un punto próximo al anterior. A efectos de medición no se considerará el abono de estos ensayos si, sumando las profundidades alcanzadas en ambos intentos, no se superan los 5 m de longitud.

Los resultados se adjuntarán en gráficos o curvas de penetración (número de golpes obtenido para cada avance de 20 cm) 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.

### 1.4.2 Ensayos de penetración estática CPT y CPTU

Estos ensayos se ajustarán a lo establecido en la Norma UNE-ENV 1997-3.

Para la realización de los ensayos de penetración estática CPT deberán utilizarse equipos automáticos con punta eléctrica, que permitan medir independientemente la resistencia en punta y el rozamiento lateral. El cono normal (holandés) se hará penetrar en el suelo a una velocidad constante y lenta de unos 20 mm/seg y tendrá un ángulo de abertura en el vértice de 60° y un diámetro en el extremo de la punta de 35, 7 mm, equivalente a un área de 1.000 mm<sup>2</sup>. Si el Responsable del Trabajo de INECO lo considerase oportuno podría solicitar la utilización de conos diferentes para aplicaciones especiales.

El dispositivo para la realización de los ensayos CPTU (piezocono) estará equipado con sistemas electrónicos de adquisición de datos y llevará instalado un sensor adicional situado en la punta eléctrica que permita el registro continuo en relación al tiempo, además de la resistencia en punta y el rozamiento por fuste, de las presiones intersticiales generadas durante la hinca (mediante señales analógicas o acústicas que se transforman en señales digitales y éstas se restituyen en forma gráfica o numérica mediante un ordenador situado en superficie). En función de los parámetros a investigar el Responsable del Trabajo de INECO podrá solicitar la instalación adicional de otros sensores especiales.

## 1.5 Ensayos de corte en el interior de sondeos (vane-test)

Se realizará conforme a la norma ASTM D-2573.

Se utilizará un molinete formado por cuatro aspas con relación  $H=2D$ , siendo H la altura de las aspas y D el diámetro equivalente.

En suelos blandos con  $c_u < 50$  kPa, se recomienda un tamaño del aspa de 75 mm de ancho y 150 mm de altura, mientras que en suelos algo más resistentes ( $50 < c_u < 100$  kPa), un tamaño de 50x100 mm.

Este ensayo no se realizará en suelos de resistencia superior a 100 kPa.

El ensayo se realizará en el fondo del sondeo, durante su ejecución o una vez finalizado, inmediatamente después de haber introducido el molinete a la profundidad requerida, y siempre antes de transcurridos 5 minutos para evitar distorsión en los resultados. El procedimiento de ejecución del ensayo requerirá hincar previamente, por métodos dinámicos o estáticos, el molinete en el suelo hasta una profundidad de 5 veces H y garantizar que la varilla no colabora a fricción. El par torsor en el extremo libre de varillaje se aplicará a velocidad constante entre 6 y 12 °/min.

El ensayo requerirá una cadencia intensa en su ejecución en cada punto del terreno a investigar (generalmente una vez por metro perforado). La separación mínima entre puntos de ensayo a lo largo de la perforación será de 0,50 m.

La profundidad máxima de ejecución de este ensayo se limitará a 70 m, dependiendo de la naturaleza y características del suelo.

Los resultados incluirán los siguientes datos: momento torsor necesario para producir el corte del suelo, resistencia al corte del suelo inalterado y resistencia al corte del suelo remoldeado.

### **1.6 Ensayo de carga con placa**

El ensayo de carga con placa circular se ajustará a lo establecido en la norma UNE-ENV 1997-3.

En general, se utilizarán placas circulares de 30 cm de diámetro (La norma contempla emplear placas de 300, 600 y 720 mm). Si lo considera oportuno, el Responsable del Trabajo de INECO podrá exigir el uso de determinado tamaño de placa, así como modificar el rango y secuencia de los escalones de carga. Siempre se realizarán como mínimo dos ciclos de carga-descarga. Como dispositivo de reacción se utilizará el más adecuado a las condiciones del ensayo y del emplazamiento en que éste se efectúe.

Una vez finalizado el ensayo, se procederá a la toma de una muestra de saco del suelo existente bajo la placa, para determinar la humedad natural y la densidad seca máxima y humedad óptima. En la zona más próxima posible a la ubicación del ensayo, aunque no afectada por las cargas, se determinará la densidad y humedad in situ del terreno.

Si para la realización del ensayo de carga con placa hubiera que realizar una excavación, deberá restituirse ésta adecuadamente, compactando por tongadas el material extraído, si procede, para lo cual se dispondrán los medios de compactación necesarios. Por motivos de seguridad, la longitud máxima de los elementos de extensión para aplicar las cargas se limitará a 60 cm. Asimismo, la excavación no podrá superar 1,50 metros de profundidad, salvo que ésta quede inscrita en otra de mayor tamaño. En cualquier caso, el procedimiento para realizar el ensayo deberá requerir la aprobación previa del Responsable del Trabajo de INECO.

### **1.7 Investigación geofísica**

La prospección geofísica será realizada siempre por personal experto en el uso de las diferentes técnicas, tanto en las mediciones de campo como en su procesamiento e interpretación posterior.

A continuación se incluyen las prescripciones de algunas de las técnicas más comunes recogidas en el Apéndice 1 de las presentes Condiciones Particulares. El empleo de otras distintas a las aquí recogidas, tales como sísmica cross-hole o down-hole, SEDT, gravimetría, etc., deberá contar con la autorización previa del Responsable del Trabajo de INECO, para lo cual el Contratista realizará un informe específico indicando las características de la técnica a emplear, su objetivo y fiabilidad en base a sus limitaciones y condiciones de utilización.

#### **1.7.1 Sondeo eléctrico vertical (SEV)**

Se utilizará para la investigación de discontinuidades horizontales de subsuelo siempre que existan contrastes suficientes de resistividad entre las diversas capas del subsuelo, en medios estratificados horizontales o subhorizontales con extensión lateral de las capas muy elevada.

Preferentemente se emplearán configuración tipo Schlumberger, debiéndose cumplirse siempre la relación  $MN < AB/5$ .

La utilización de la configuración tipo Wenner u otra diferente deberán contar con la autorización expresa del Responsable del Trabajo de INECO.

Los datos obtenidos en campo deberán interpretarse en gabinete. Las curvas de campo de los SEV se representarán en gráficas bilogarítmicas con la variación de la resistividad aparente en función de la separación interelectrónica  $AB/2$  (semiapertura de ala).

Una vez interpretadas las curvas de resistividad, se presentarán los resultados con los valores de resistividad real en Ohmios-m y los valores de espesor en metros, confeccionándose perfiles geoelectricos que han de correlacionarse con la geología de la zona. El error entre los valores de resistividad obtenidos en campo y los calculados en gabinete no superará el 5%.

En la ubicación de uno de los SEV realizados, deberá ejecutarse un sondeo paramétrico que permita determinar el espesor y naturaleza de las distintas capas para un mejor ajuste y calibrado del modelo.

El informe presentado deberá incluir, al menos, los siguientes documentos:

- Datos originales medidos en campo.
- Curvas de campo de los SEV.
- Perfil geoelectrico del terreno con los valores de resistividad real del subsuelo y la correlación geológica correspondiente con la situación de los sondeos realizados.

### **1.7.2 Tomografía eléctrica**

Se usará un dispositivo multielectrónico que dispondrá al menos de 16 electrodos, y preferiblemente 24 o 48, cuyo cableado permita una separación entre electrodos de hasta 10 metros como mínimo.

La elección del dispositivo electrónico a utilizar dependerá del objetivo a investigar en cada caso en función de la adecuada combinación entre resolución lateral y profundidad de penetración.

Para el estudio de elementos puntuales tales como contactos subverticales, zonas de falla o accidentes kársticos, se emplearán únicamente dispositivos electrónicos focalizados, tipo polo-dipolo, polo-polo o dipolo-dipolo. El espaciado entre electrodos y el número de niveles de medida se establecerán en cada caso. En general, se usarán espaciados de 5 a 10 metros con, al menos, 10 niveles de medida.

No podrán usarse configuraciones tipo Schlumberger, Wenner u otras, sin la autorización expresa del Responsable del Trabajo de INECO.

El informe de tomografía eléctrica presentado deberá incluir, al menos, los siguientes documentos:

- Pseudosecciones de resistividad aparente con los datos numéricos de campo, representadas conjuntamente con las secciones de resistividad obtenidas a partir de su inversión.
- Secciones con la distribución de la resistividad real del terreno en las que se exprese de forma clara su interpretación geológico-geotécnica, señalando expresamente la posición de los sondeos ejecutados.
- Ficheros digitales con los datos originales de campo.

### **1.7.3 Sísmica de refracción**

Se emplearán dispositivos constituidos por implantaciones de 12 o de 24 geófonos, espaciados unos 5 metros, configurando implantaciones de unos 60 ó 120 metros respectivamente. En el caso de 12 geófonos se efectuará un mínimo de cinco tiros equidistantes (uno central, cuatro exteriores y dos exteriores a unos 2,50 metros de los geófonos extremos).

En caso de que varias implantaciones sísmicas se dispongan contiguas para configurar un perfil sísmico se solaparán al menos los dos últimos geófonos de la implantación anterior con los primeros de la siguiente para reducir la pérdida de información, aunque, en principio, se dará preferencia a la utilización de dispositivos largos.

Cualquier otro dispositivo diferente requerirá la autorización previa del Responsable del Trabajo de INECO.

El procesamiento e interpretación de los registros sísmicos de refracción obtenidos para determinar la distribución de los valores de  $V_p$  del terreno en la sección sísmica se podrá realizar al menos por el Método Recíproco Generalizado o preferiblemente mediante métodos de tipo tomográfico que permitan su representación con distribución continua. El uso de cualquier otro método requerirá el permiso previo del Responsable del Trabajo de INECO.

El informe sísmico de refracción presentado deberá incluir, al menos, los siguientes documentos:

- Gráficos tiempo-distancia (dromocrónicas) representados junto con las secciones sísmicas interpretadas en base a los datos geológicos disponibles con indicación de los valores de  $V_p$ , espesor de cada capa y límites entre material excavable, ripable o que requiera explosivos.
- Sismogramas de, al menos, los dos tiros exteriores de cada implantación.
- Registros digitales con los datos originales de campo.

En los gráficos tiempo-distancia (dromocrónicas) se considerarán inaceptables errores superiores al 5% en el valor de los tiempos recíprocos.

#### **1.7.4 Sísmica de reflexión**

Se operará según la técnica Common Depth Point (CDP), para mejorar la relación señal/ruido en la sección sísmica resultante.

El espaciado entre geófonos será de 5 a 10 metros y el espaciado entre puntos de tiro será el necesario en cada caso para obtener una cobertura (fold) como mínimo del 120% para aumentar la relación señal/ruido en las secciones sísmicas resultantes.

El sismógrafo a utilizar dispondrá como mínimo de 24 canales, y preferiblemente 48 o 90, y los geófonos deberán tener una frecuencia natural igual o mayor de 35 Hz.

Al inicio de los trabajos se deberán realizar los ensayos de campo necesarios para determinar la distancia óptima (offset) en cada caso del dispositivo de registro, entre el punto de tiro y el primer geófono activo, en función de la profundidad a investigar, velocidad de las capas del subsuelo, longitud del dispositivo de medida y espaciado entre geófonos. Estos ensayos y sus resultados deberán quedar documentados en el informe.

La generación de la señal sísmica habrá de hacerse, dependiendo de la profundidad a investigar, al menos mediante cartuchos adecuados o explosivos especiales tipo pirotécnico. No se permite la utilización del impacto de un martillo sobre una placa metálica apoyada sobre el terreno.

El informe sísmico de reflexión presentado deberá incluir, al menos, los siguientes documentos:

- Secciones sísmicas distancia-tiempo y distancia-profundidad sin ninguna interpretación.
- Sección distancia-profundidad con la interpretación geológica superpuesta.
- Sismogramas representativos del estudio; al menos los correspondientes al 10% de los tiros.

En el informe deberá explicarse con detalle la secuencia de procesamiento con indicación de los filtros empleados y especialmente el análisis de velocidad aplicado para el cálculo de la sección sísmica distancia-profundidad a partir de la sección distancia-tiempo.

#### **1.7.5 Sísmica pasiva (Refracción pro Microtremor)**

Se emplearán dispositivos constituidos por implantaciones de 24 geófonos, espaciados entre 1 y 5 metros. Para cada una de estas implantaciones se tomarán al menos 3 registros de 15 segundos de duración. Se utilizarán preferiblemente geófonos con frecuencia natural variable entre 4,5 y 15 Hz aproximadamente.

Para el análisis de las ondas superficiales se empleará preferiblemente el análisis espectral de Louie.

Para facilitar la medida de las frecuencias más altas, se efectuarán de 3 a 5 golpes repartidos durante el tiempo de adquisición.

Los valores de Vs obtenidos se representarán en forma de diagramas velocidad-profundidad para cada una de las implantaciones efectuadas. En caso de disponerse de varias implantaciones contiguas los resultados se representarán como secciones bidimensionales. El solape entre implantaciones contiguas será de al menos tres geófonos.

Para cada una de estas configuraciones se incluirán los siguientes datos:

- Registros digitales con los datos originales de campo (sismógrafo de 24 canales).
- Diagrama velocidad aparente de fase en función de la frecuencia (resultado del análisis espectral).
- Curva de dispersión.
- Gráfico Vs con la profundidad, interpretados según los datos geológico-geotécnicos disponibles, con identificación de los espesores de capa.



### 1.7.6 Geo-radar (GPR)

Su utilización se restringirá a la detección de huecos o cavidades a profundidad somera. Cualquier otra aplicación requerirá la autorización previa del Responsable del Trabajo de INECO.

En cualquier caso, deberán tenerse en cuenta las características de los materiales presentes que puedan desaconsejar su utilización.

La selección de la frecuencia de las antenas será función del compromiso entre la resolución la penetración a alcanzar, lo que requerirá repetir las medidas operando con diferentes frecuencias sobre los mismos perfiles. Se operará preferentemente con frecuencia de las antenas media a alta. La frecuencia de las antenas no será inferior a 50 MHz.

Se operará con baja velocidad de desplazamiento para conseguir mayor resolución lateral en las secciones y se mantendrán las antenas en contacto permanente con la superficie a auscultar para mejorar la calidad del registro.

Para planificar la campaña de investigación se tendrán en cuenta factores tales como el contraste en las propiedades eléctricas de los materiales, la penetración y la resolución, que dependen del terreno, de la frecuencia de la antena empleada y los ruidos ambientales.

La interpretación de los registros de geo-radar deberá basarse en la adecuada caracterización de la textura, amplitud, continuidad y terminación de las reflexiones. Deberá integrarse toda la información proporcionada por los diferentes perfiles con el resto de la información disponible del subsuelo (geología, sondeos, calicatas y otros datos geofísicos).

Si indicará el método de procesado de la señal y el software a emplear, así como las constantes dieléctricas estimadas para obtener la escala de profundidades. Esta escala debe estar avalada y correlacionada mediante los datos de espesores obtenidos de calicatas manuales o mecánicas, previamente realizadas, situadas en el perfil geofísico.

El Responsable del Trabajo de INECO podrá exigir la ejecución posterior de alguna calicata en puntos del perfil elegidos al azar o sobre anomalías concretas, para comprobar la precisión de los espesores obtenidos con el geo-radar.

### 1.7.7 Testificación geofísica de sondeos

Las técnicas a aplicar podrán ser eléctricas, sísmicas, radiactivas, electromagnéticas, mecánicas, etc. Mediante la aplicación de dichas técnicas y el uso de las sondas adecuadas podrán obtenerse las diagrfías siguientes: potencial espontáneo, resistividad, inducción, sónica de onda completa, gamma natural, gamma-gamma, neutrón-neutrón, flujometría, calibre (de tres brazos), termometría, etc. Se incluye también la medida de inclinación, verticalidad o desviación del sondeo y el registro de discontinuidades mediante la sonda teleacústica (televiwer acústico u óptico).

Se testificará siempre de abajo a arriba, introduciendo la sonda hasta el fondo del sondeo y subiéndola a velocidad constante a la vez que se mide, a excepción de la sonda de temperatura con la que se testificará de arriba abajo para no alterar el equilibrio térmico del fluido.

En lo que respecta a las medidas a realizar, el Contratista aplicará para cada sonda los procedimientos específicos del equipo utilizado. En cualquier caso, se establece que todas las sondas deberán desplazarse a muy baja velocidad (máximo 6 m/min) para incrementar la resolución vertical de los registros, excepto la sonda de flujometría que podrá desplazarse a velocidad máxima de 12 m/min.

En el caso concreto de acoustic televiwer, la velocidad máxima de registro será de 1,5 m/min. La sonda sónica de onda completa se desplazará durante los registros a una velocidad máxima de 3 m/min.

Las medidas se realizarán utilizando cada una de las sondas correspondientes con un equipo electrónico que interprete adecuadamente las señales enviadas por la sonda y que sea capaz de indicar en cada momento la posición de la misma, con una precisión de centímetros así como su velocidad.

Con los datos obtenidos se elaborará un informe final que contenga las diagrfías correctamente representadas, la interpretación litológica de las mismas y las distintas características de los materiales atravesados en términos de interés geológico-geotécnico, los datos del sondeo mecánico que pudieran ser de interés para su interpretación y un plano de situación en planta con las investigaciones realizadas.



Se indicará cual es el software y/o el método a aplicar la interpretación litológica o paramétrica de las diagrfías.

En lo referente a los registros de radiación gamma natural y resistividad, se identificarán las diferentes unidades litológicas atravesadas por los sondeos, definiendo los contactos entre ellas y estableciendo la correlación entre sondeos cuando sea posible. Los registros sónicos de onda completa deberán incluir los registros brutos y los gráficos con los valores de  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $E$ ,  $G$ ,  $K$  y Coeficiente de Poisson deducidos en su interpretación. También se deben identificar en ellos las zonas de falla diferenciando entre fallas abiertas y fallas selladas. Los registros acoustic televiewer, además de las imágenes 3D o de la pared del sondeo desarrollada, deben incluir el análisis estructural completo del sondeo (diagramas de polos, diferenciación de familias de discontinuidades en función de la profundidad, etc.).

Siempre ha de completarse la testificación geofísica realizada con el perfil obtenido procedentes de la testificación geológico-geotécnica del sondeo correspondiente, si la hubiere. Si en un mismo sondeo se utilizasen varias técnicas distintas, deberán compararse conjuntamente sus diagrfías resultantes.

A efectos de medición y abono, si tuviera que testificarse, tanto en el descenso como en el ascenso de la sonda por el interior del sondeo, se considerará como un único perfil. El Contratista propondrá al Responsable del Trabajo de INECO el tramo del sondeo a ensayar, siendo de abono únicamente el tramo ensayado.

### 1.8 Ensayos de bombeo

Para la ejecución de los ensayos de bombeo se efectuará una perforación de un diámetro tal que permita la colocación de tubería de 200 mm de diámetro mínimo de rejilla en el tramo a ensayar y el engravillado correspondiente. El huso granulométrico de esta gravilla y la apertura del filtro se ajustarán a la naturaleza del terreno. Cada uno de estos pozos penetrará al menos 3,00 m por debajo de la base del acuífero. Se procederá al sellado de la parte superior del pozo con mortero de cemento. Posteriormente se procederá al desarrollo del pozo con aire comprimido.

Cada uno de estos pozos de bombeo llevará asociado al menos 4 piezómetros.

Los ensayos contarán de dos fases, una primera fase de bombeo escalonado para determinar el caudal de ensayo y una segunda fase de bombeo a caudal constante hasta alcanzar el régimen permanente y en cualquier caso, de al menos 24 horas de duración. Se controlará igualmente la recuperación del nivel durante al menos 24 horas. Los caudales se controlarán mediante tubo de Pitot.

El consultor dispondrá de un sistema de evacuación del agua bombeada lo suficientemente alejado del punto de ensayo para evitar el retorno de caudales a la zona afectada por el ensayo de bombeo.

Las medidas piezométricas en el pozo y piezómetros auxiliares se realizan con frecuencias de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 150 y 180 minutos y posteriormente cada hora, siendo este también el plan de medidas seguidas en las recuperaciones. Los niveles se controlarán mediante sondas eléctricas graduadas en centímetros.

Previamente a su ejecución, deberá entregarse una propuesta de construcción del pozo de bombeo así como un protocolo de ejecución del ensayo de bombeo previsto, para su aprobación por el Responsable del Trabajo de INECO o la persona que éste designe.

Se empleará un procedimiento de interpretación adecuado a las características del ensayo, método de Theis y Jacob para el régimen no permanente y/o método descensos-distancias (o de Thiem) para el régimen permanente. Para cada uno de ellos se incluirán las curvas que permitan el cálculo de la permeabilidad, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

### 1.9 Supervisión de los trabajos y ensayos de campo

Consistirá en la disposición permanente a pie de obra, salvo autorización expresa de lo contrario por el Responsable del Trabajo de INECO, de como mínimo un titulado experto en la materia que será el encargado de la supervisión y correcta ejecución de todos los trabajos de campo que se estén realizando, la testificación "in situ" de los sondeos y calcatas, la petición de permisos si fueran necesarios, etc. Este técnico actuará según el plan de trabajos previsto o según indique el Responsable del Trabajo de INECO, debiendo estar a disposición del mismo siempre que éste lo requiera.

Durante la realización de los trabajos, el Contratista deberá llevar un registro completo, numerado, exacto y legible de cada sondeo o tipo de prospección, que contendrá toda la información sobre las condiciones y naturaleza del terreno, las características del sistema de reconocimiento empleado, las incidencias producidas y la interpretación de los resultados. El Responsable del Trabajo de INECO podrá solicitar en cualquier momento al Contratista la entrega de dichos registros.

## 2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras tomadas en los distintos reconocimientos se enviarán al laboratorio para realizar los correspondientes ensayos. Éstos dependerán del tipo de terreno, la calidad y la cantidad de la muestra extraída.

La petición de ensayos de laboratorio corresponde únicamente al Responsable del Trabajo de INECO, por lo que el Contratista debe enviar cuanto antes las relaciones de muestras extraídas para que el Responsable del Trabajo de INECO o el responsable designado por éste realice la petición de ensayos y la envíe al Contratista para comenzar su ejecución.

No serán de abono aquellos ensayos de laboratorio que no hayan sido aprobados previamente por el Responsable del Trabajo de INECO, que no hayan sido realizados siguiendo las especificaciones de este Documento o cuyos resultados sean incorrectos o defectuosos sistemáticamente por causas achacables al Contratistas.

El contratista se compromete a comenzar cuanto antes los ensayos de laboratorio, desde el mismo inicio de los trabajos de campo aprobados en la propuesta de campaña geotécnica.

El procedimiento de ejecución será el regulado por las Normas vigentes, en especial la norma UNE-ENV 1997-2, o bien, caso de no existir éstas, según las reglas de la buena práctica establecidas. A continuación se indica la normativa de referencia para algunos ensayos:

DENOMINACIÓN	NORMA
Apertura y descripción muestras.	ASTM-D2488
<b>IDENTIFICACIÓN Y ESTADO EN SUELOS</b>	
Determinación de la humedad mediante secado en estufa	UNE 103 300/93
Determinación de la densidad aparente o seca	UNE 103 303/93 NLT-156/72
Determinación de peso específico.	NLT-211/91
Determinación de los límites Atterberg.	UNE 103 103 UNE 103 104. NLT-105/98 NLT-106/98
Comprobación de no plasticidad.	UNE 103 104 NLT-106/98
Determinación de límite de retracción.	UNE 103108
Porosidad de un terreno.	UNE 7045
Determinación de granulometría por tamizado.	UNE 103 101. NLT-104/91
Material que pasa por tamiz 0,08 UNE.	UNE 7135 NLT-152/89
Determinación de granulometría por tamizado de gruesos y finos, en zhorras.	UNE 103 101 NLT-104/91 NLT-105/89
Ud. Determinación de granulometría por sedimentación.	UNE 103 102
Granulometría por doble hidrómetro, dispersabilidad.	I/20110/26 ASTM D 4221-90
Ensayo de dispersión o erosión interna (Pin-hole).	NLT-207/91
Permeabilidad bajo carga constante en suelos granulares.	UNE 103 403/98
Determinación de la permeabilidad en aparato triaxial o edómetro de gran diámetro (4" a 9").	

DENOMINACIÓN	NORMA
<b>RESISTENCIA EN SUELOS</b>	
Ensayo de compresión simple en suelos.	UNE 103 400 NLT-202/91
Ensayo de corte directo CU, consolidado y sin drenaje, sobre muestras inalteradas.	UNE 103 401/98
Ensayo de corte directo CD, consolidado y drenado, sobre muestra inalterada.	UNE 103 401/98
Ensayo de corte directo UU, sin consolidar y sin drenar, sobre muestra inalterada.	UNE 103 401/98
Ensayo triaxial UU, sin consolidar y sin drenar, sobre muestra inalterada.	UNE 103 402/98
Ensayo triaxial CU, sobre muestra inalterada, con consolidación previa, rotura sin drenaje y medida de presiones intersticiales.	UNE 103 402/98
Ensayo triaxial CD, sobre muestra inalterada, con consolidación previa y rotura con drenaje.	UNE 103 402/98
Ensayo edométrico con al menos siete escalones de carga y tres de descarga, y curvas de consolidación-tiempo.	UNE 103 405/94
<b>HINCHAMIENTO Y COLAPSO</b>	
Ensayo de colapso.	NLT-254/99 UNE 103 406
Ensayo de hinchamiento Lambe.	UNE 103 600/96
Determinación de presión de hinchamiento.	UNE 103 602/96
Ensayo de hinchamiento libre.	UNE 103 601/96
<b>COMPACTACIÓN Y PUESTA EN OBRA</b>	
Ensayo Próctor normal.	UNE 103 500 NLT-107/98
Ensayo Próctor modificado.	UNE 103 501 NLT-108/98
Ensayo Próctor modificado con cal	
Ensayo Próctor modificado en molde Harvard de 2 pulgadas	
Determinación C.B.R. de laboratorio, sin incluir Próctor.	NLT-111/87
<b>PREPARACIÓN DE MUESTRAS EN ROCA</b>	
Preparación de una probeta para ensayos a compresión simple o triaxial a partir de testigos	
Preparación de una probeta para ensayo brasileño a partir de testigos	
Preparación de una probeta para ensayo de corte en roca (por punto)	
<b>ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN, RESISTENCIA EN ROCAS Y ÁRIDOS</b>	
Absorción y peso específico aparente.	UNE-EN 1097-6
Lámina delgada.	UNE-EN 12407
Estudio petrográfico mediante lámina delgada.	UNE-EN12407
Análisis petrográfico mediante lámina delgada, incluyendo preparación de la lámina y fotografías en color.	NVR-3-4-00
Estudio petrográfico mediante lámina delgada de grava o arena cementada	UNE-EN 12407
Estudio petrográfico con recuento mineralógico.	UNE-EN 12407
Análisis mineralógico mediante difracción de rayos X.	
Determinación del índice de Schimazek incluida lámina delgada y brasileño.	PR-3N 22952
Determinación de la velocidad sónica en testigos. Ondas longitudinales.	UNE-EN 14579
Índice de rebote (martillo Schmidt)	UNE-EN 12504-2
Ensayo de carga puntual Franklin.	NLT-252/91
Abrasividad Cerchar.	NF P94-430-1
Dureza Cerchar.	XP P94-412
Determinación del índice DRI (Drilling Rate Index) Índice de perforabilidad.	NTNU 13A-98
Determinación Slake Durability Index. Desmoronamiento de rocas blandas	NLT-251/91

DENOMINACIÓN	NORMA
Ensayo de desgaste Los Ángeles.	NLT-149/91 UNE-EN 1097-2
Ensayo de compresión simple en roca, incluso tallado.	UNE 229 501/90
Ensayo de compresión simple en roca, instrumentado con bandas extensométricas.	UNE 229 503/90
Ensayo triaxial en roca, incluso tallado.	UNE 229 504/90
Ensayo brasileño, incluso tallado.	NLT-253/91 UNE 229 502
Determinación de la estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción del desmoronamiento en agua.	NLT-255/99 UNE 146 510
Determinación del porcentaje de absorción de agua.	ASTM-C97
Determinación de la estabilidad de los áridos frente a la acción de las soluciones de sulfato sódico o magnésico (5 ciclos).	NLT-258/94
Determinación del coeficiente Micro-Deval húmedo y friabilidad.	UNE-EN 1097 NLT-351/74
Determinación de la presión de hinchamiento en roca (ensayo Hudder-Amberg).	
Determinación del índice de lascas y agujas.	UNE-EN 9333 NLT-354/74
Terrones de arcillas.	UNE 7133
Partículas blandas en áridos gruesos.	UNE 7134
Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de los ciclos de humedad-sequedad	UNE EN-1367
Análisis granulométrico de árido	UNE-EN 933-1:1998/A1:2006
Equivalente de arena.	UNE-EN 933-8 NLT-113/87
Ensayos de laboratorio en muestra de balasto de plataforma-reutilización (Contenido (visu) en caliza y/o dolomía, contenido en MO, partículas alteradas o blandas. Determinación del porcentaje de caras de fracturas de partículas de árido grueso UNE-EN-933-5:1999. Ensayos de granulometría UNE-EN-933-1:1998; porcentaje que pasa por el tamiz 63, 50, 40, 31,5 y 22,4, porcentaje que pasa por el tamiz: 0,50, porcentaje que pasa por el tamiz: 0,063. Ensayo Índice de forma: UNE-EN 933-4:2000, (únicamente el material retenido por el tamiz 22,4. Longitud de las piedras. Este ensayo se corresponde con la categoría "A" de la norma UNE-EN 13450:2003. Ensayo de Los Ángeles norma UNE-EN- 1097-2:1999 (con las especificaciones el anejo C de la norma UNE-EN- 13450:2003))	
QUIMICOS	
Determinación cuantitativa de carbonatos.	UNE 103 200 NLT-116/91
Determinación cuantitativa de sulfatos solubles.	UNE 103 201 NLT-120/72
Determinación cuantitativa de materia orgánica por el método del permanganato potásico.	NLT-119 UNE 103 204
Acidez Bauman-Gully. EHE Anejo 5.	UNE 83962 EHE
Determinación del contenido de yesos en un suelo	NLT-115/99 UNE 103 206
Contenido de sales solubles, incluido el yeso en un suelo	NLT-144/99 UNE 103 205
Determinación del pH de un suelo	UNE-ISO 10390/12
Análisis químico completo de agua, para determinar su agresividad.	EHE

Se evitará la práctica de efectuar ensayos de densidad y humedad en muestras en las que se hayan efectuado otros ensayos que incluyan entre sus resultados la obtención de estos datos.

Todos los ensayos se realizarán en un laboratorio acreditado por la Comunidad Autónoma respectiva en el área de ensayos de laboratorio de geotecnia "GLT". El nombre y datos de dicho laboratorio se incluirán en la documentación técnica que se acompañará a la proposición. Cualquier variación deberá ser aceptada previamente por el Responsable del Trabajo de INECO.

Otros ensayos que no se hayan incluido en esta tabla deberán realizarse de acuerdo con la normativa vigente, en especial la Norma UNE – ENV 1997-2.

Todos los ensayos se realizarán en un laboratorio acreditado para la realización de ensayos de Mecánica del Suelo (SE).

El nombre y datos de dicho laboratorio se incluirán en la documentación técnica que se acompañará a la proposición. Cualquier variación deberá ser aceptada previamente por el Responsable del Trabajo de INECO.

## 2.1 Ensayos reutilización de balasto

Se realizará el análisis de balasto para la posible reutilización que consta de los siguientes ensayos:

- Contenido en caliza y/o dolomía, MO y partículas alteradas o blandas. Contaje visual de fragmentos, en porcentaje.
- Determinación del porcentaje de caras de fracturas de partículas de árido grueso (UNE-EN-933-5:1999).
- Ensayos de granulometría UNE-EN-933-1:1998.
- Granulometría; porcentaje que pasa por el tamiz 63, 50, 40, 31,5 y 22,4.
- Partículas finas, porcentaje que pasa por el tamiz: 0,50.
- Finos, porcentaje que pasa por el tamiz: 0,063.
- Ensayo Índice de forma: UNE-EN 933-4:2000, (únicamente el material retenido por el tamiz 22,4).
- Longitud de las piedras. Este ensayo se corresponde con la categoría “A” de la norma UNE-EN 13450:2003.
- Ensayo de Los Ángeles norma UNE-EN- 1097-2:1999 (con las especificaciones el anejo C de la norma UNE-EN- 13450:2003).

## 3 PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS

### 3.1 Trabajos de campo y ensayos de campo

En el Informe deberán quedar recogidos todos los datos que se indican a continuación:

#### 3.1.1 Sondeos

Por cada sondeo se adjuntará una ficha técnica, en formato DIN-A3, que contenga lo siguiente:

- Contratista
- Denominación contractual.
- Identificación del sondeo y referencia a los datos de levantamiento.
- Cota del terreno.
- Fecha de comienzo y de terminación.
- Identificación de la máquina utilizada.
- Coordenadas de los puntos de sondeos.
- Tabulación de los resultados y detalles de todos los sondeos, tipo de batería, corona, útiles de perforación, diámetro del testigo y datos de revestimiento con información completa de la disposición vertical y clasificación de los materiales atravesados.
- Porcentaje de recuperación del testigo.
- Descripción geológico-geotécnica del testigo (determinación del origen de los materiales, edad, estado, compacidad y/o consistencia, etc.). Se efectuará una descripción sistemática del testigo, indicando siempre primero la abreviatura de la unidad geológico-geotécnica correspondiente.

- Para cada muestra obtenida, las cotas del principio y del fondo, tipo, longitud y número (todas las muestras se numerarán consecutivamente).
- Nombres del técnico supervisor y del sondista
- Número de golpes necesarios para cada 15 cm de penetración de los tomamuestras.
- Cota del nivel freático y observaciones sobre el agua freática.
- Observaciones sobre variaciones en la pérdida del líquido de perforación.
- Método y cuantía de presión utilizada para introducir el tomamuestras de pared delgada y longitud y diámetro de cada una de las muestras obtenidas.
- Fotografía en color de todas las cajas portatestigos y de la zona donde se hayan realizado todos y cada uno de los sondeos incluyendo la sonda posicionada durante su ejecución y la boca del sondeo finalizado.
- Resultados de los ensayos de laboratorio.

Además, en los sondeos en roca se incluirá también:

- RQD, número de fracturas cada 30 cm y grado de meteorización.
- Resistencia de la matriz rocosa.
- Longitud y porcentaje de testigo obtenido para cada maniobra longitud perforada. Numeración correlativa de las muestras.
- Tipo de roca y buzamiento de las capas, estratificación, juntas y esquistosidad).
- Características de las discontinuidades: rugosidad, espesor y naturaleza del material de relleno.
- Cota de cada cambio de tipo de roca.
- Cotitas en las que se observa cambios en la velocidad de sondeo, con las observaciones precisas.
- Parámetros de perforación (velocidad de avance, presión, par, r.p.m. etc.), cuando se soliciten expresamente; en caso contrario, sólo se anotarán observaciones cualitativas de dichos parámetros.

### 3.1.2 Calicatas

Para cada calicata se adjuntará una ficha técnica que contenga al menos la siguiente información:

- Identificación de la calicata y referencia a los datos de levantamiento (coordenadas x,y,z).
- Nombre del técnico supervisor.
- Fecha de ejecución.
- Identificación de la maquinaria utilizada.
- Profundidad alcanzada en la calicata.
- Se indicará en un apartado denominado “observaciones” toda la información sobre condiciones de excavabilidad del terreno, estabilidad de las paredes y posición del nivel freático. Asimismo, se indicará el tiempo en que la excavación ha permanecido abierta desde su finalización.
- Descripción geológico-geotécnica del corte del terreno visualizado en la calicata. En terrenos tipo suelo la descripción seguirá el orden siguiente: litología, indicando el componente principal seguido del componente secundario mediante sufijos indicativos del porcentaje que representa, color y consistencia/compacidad. A continuación y aparte se incluirán también los datos adicionales que se consideren relevantes, tales como tamaño de grano, textura, componentes accesorios, cambios composicionales, grado de cementación, contenido en materia orgánica, observaciones organolépticas, etc.

En terrenos tipo roca se indicará la litología, resistencia y color y a continuación otros datos relevantes tales como naturaleza y tamaño de los clastos de la matriz, componentes accesorios, tipo de cemento, signos de oxidación, niveles nodulares intercalados, reacción al CIH, etc.

Pueden tomarse como referencia las nomenclaturas recomendadas en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2003), Código Técnico de la Edificación (Ministerio de la Vivienda, 2006) o la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). El empleo de cualquier otra nomenclatura deberá contar con la aprobación del Responsable del Trabajo de INECO.

- Profundidad de cada cambio de tipo de terreno y su espesor.
- Profundidad de la toma de muestras, acotada con la suficiente precisión.
- Resultados de la testificación geotécnica: valor de la resistencia al corte sin drenaje con aparato vane-test de bolsillo y resistencia a la penetración con el penetrómetro de bolsillo.
- Resultados de la totalidad de los ensayos de laboratorio realizados (ensayos de identificación, Próctor, CBR, químicos, etc.). Se incluirá la clasificación según USCS de todas las muestras ensayadas.
- Fotografías en color de la calicata abierta, del material extraído y de la zona después de su reposición.

Además en las calicatas de plataforma ferroviaria se incluirá también la siguiente información:

- Clasificación según la ficha UIC-719 (para plataformas en estudio de ancho ibérico).
- Densidad y humedad “in situ” por el método nuclear y por el método de la arena.
- Grado de compactación (%) respecto de la densidad máxima Próctor Normal/Modificado.
- Croquis de la sección transversal que ilustre la posición del reconocimiento.

### 3.1.3 Ensayos de penetración dinámica o estática

Por cada ensayo de penetración se adjuntará una ficha técnica que contenga lo siguiente:

- Contratista y nombre del técnico responsable designado por la misma.
- Denominación contractual.
- Identificación del ensayo de penetración y referencia a los datos de levantamiento (coordenadas x, y, z).
- Fecha de ensayo.
- Identificación de la maquinaria utilizada.
- Profundidad obtenida y cota del fondo del reconocimiento.
- Altura de caída y peso de la maza.
- En los penetrómetros dinámicos, número de golpes necesarios para cada 20 cm de penetración con sus gráficos correspondientes.
- En los penetrómetros estáticos, resistencia en punta y rozamiento lateral, con sus gráficos, incluidos los de presión intersticial en los piezoconos y de disipaciones de la misma.
- Dimensiones de la puntaza y diámetro del varillaje.
- Cota del nivel freático cuando sea posible su medición o estimación.
- Sistema de golpeo (automático o manual).
- Fotografía en color del emplazamiento de cada uno de los ensayos.

Además en los penetrómetros en plataforma ferroviaria se incluirá también:

- Croquis de la sección transversal que ilustre la posición del reconocimiento.

En el caso del ensayo de penetración estática se utilizarán exclusivamente equipos automáticos con punta eléctrica y se incluirán los datos del aparato siguientes:

- Croquis con dimensiones de la puntaza.
- Área de la camisa de fricción.
- Capacidad de empuje y velocidad de avance.
- Los registros continuos de la resistencia en punta y del rozamiento lateral.
- Presión intersticial y de disipación en la punta en caso del piezocono (CPTU).

#### 3.1.4 Investigación geofísica

Para cada punto o perfil geofísico investigado se adjuntará un informe que contenga, con carácter general, la siguiente información:

- Identificación de la prospección: método geofísico utilizado.
- Nombres del operador y del técnico responsables
- Fecha de ejecución.
- Plano de replanteo en planta de los puntos y perfiles investigados con la situación de las prospecciones realizadas.
- Croquis de las configuraciones o dispositivos utilizados.
- Descripción de los equipos utilizados, medios auxiliares y cuantas observaciones sean precisas, en relación con la ejecución.
- Método de procesado e interpretación de los datos, con indicación del software empleado.
- Registros numéricos originales del campo.
- Filtrado de los datos defectuosos.
- Perfiles resultantes de las alineaciones prospectadas y características de los distintos horizontes con la interpretación geológica superpuesta y la ubicación de los reconocimientos existentes.
- Informe explicativo de la campaña realizada y los resultados obtenidos.
- Fotografías a color.

De modo específico, en función del tipo de investigación realizada, se completará la anterior información con los documentos especificados con anterioridad en los apartados correspondientes del presente Documento.

#### 3.1.5 Ensayos de presiometría y dilatometría

Se incluirá una memoria previa que incluirá los siguientes aspectos:

- Propietario de los equipos y técnicos que realizan los ensayos y su interpretación.
- Modelo y marca de los equipos utilizados y sus características.
- Descripción de los métodos de interpretación utilizados y contraste entre los distintos resultados obtenidos. Especial atención se prestará en lo referente a la estimación de la presión límite, donde se podrán utilizar distintos métodos. En cualquier caso, cuando sea necesario utilizar una extrapolación, los resultados siempre se compararán con los obtenidos mediante el siguiente sistema:

Se considera como presión límite la necesaria para alcanzar un valor de deformación volumétrica  $(V_i - V_0)/V_0 = 1$ . Para estimarlo se utilizará la extrapolación de la curva neta de la presión VS  $\log ((V_i - V_0)/V_0)$ . Siendo:



$V_0$  es el volumen inicial de la cavidad donde se realiza el ensayo.

$V_i$  es el volumen de la cavidad alcanzado en el escaló  $i$ .

- Resultados de la calibración en tubo rígido y en vacío de todas las camisas empleadas en la campaña, identificando claramente cada una e indicando las siguientes características: material, espesor y diámetro exterior. Se incluirán las curvas presión-deformación y las correlaciones matemáticas que se vayan a emplear en los cálculos.

Para cada punto ensayado se aportará la siguiente información:

- Sondeo donde se realiza el ensayo, profundidad donde se emplaza, litología y unidad geotécnica ensayada.
- Identificación clara de la camisa empleada en la prueba y la marca y modelo de la sonda.
- Registro de la curva presiométrica bruta, representando adicionalmente todos los valores de corrección acumulada que se aplican en cada escalón de carga.
- Registro de la curva presiométrica neta, indicando los tramos rectos usados en los cálculos de los módulos de rigidez del terreno en cada ciclo de carga-descarga. También se indicará la presión de fluencia bruta y neta estimada.
- Para cada ciclo se indicará los pares de valores netos utilizados en el cálculo de la rigidez del terreno, radio neto inicial adoptado de la cavidad, coeficiente de Poisson y módulos de corte y presiométricos estimados.
- Salvo que se alcance claramente la rama horizontal de la curva presiométrica y se pueda estimar directamente la presión límite, se representará la extrapolación utilizada, el tramo utilizado en la extrapolación y el tramo extrapolado hasta alcanzar la deformación correspondiente a la presión límite.

### 3.1.6 Ensayos de carga con placa

Para cada ensayo de carga con placa se adjuntará una ficha técnica que contenga al menos la siguiente información:

- Identificación del ensayo de carga con placa y referencia a los datos de levantamiento (coordenadas  $x, y, z$ ).
- Nombre del técnico supervisor.
- Fecha de ejecución
- Condiciones de ejecución del ensayo: climatología, temperatura y humedad.
- Características de la placa empleada (forma y dimensiones, dispositivo de reacción, etc.) y croquis del dispositivo de ensayo utilizado.
- Corte del terreno visualizado en la calicata abierta y características de identificación del suelo bajo la placa, ensayada a partir de muestra obtenida una vez finalizado el ensayo.
- Datos originales de campo donde figuren los escalones de carga, el tiempo, la lectura de los cuadrantes y el asiento obtenido.
- Gráficos presión-asiento y tiempo-asiento.
- Módulo de deformación vertical de cada ciclo de carga y relación entre módulos  $E_{v2}/E_{v1}$ .
- Se indicarán en un apartado denominado "observaciones", situado en la parte inferior, los comentarios en relación al comportamiento del terreno durante la realización del ensayo y las incidencias ocurridas durante su ejecución.
- Fotografías en color durante la ejecución del ensayo y después del mismo.

### **3.2 Presentación de ensayos de laboratorio**

Se incluirán las correspondientes tablas resumen de ensayos de laboratorio.

En todos los ensayos se presentarán los valores numéricos y/o gráficos correspondientes, adaptados a los impresos normalizados en cada caso. En su defecto, podrán utilizarse impresos distintos, siempre y cuando sean suficientemente claros y precisos para poder deducir de ellos los parámetros buscados. Todas las hojas de resultados y gráficos de los ensayos vendrán firmados originalmente por el jefe de laboratorio y con el sello del mismo.

Cada ensayo estará referenciado con el origen de la muestra, profundidad, tipo de muestra, obra de procedencia, fecha de obtención, fecha de ensayo y cuantos otros datos se consideren precisos para la mejor interpretación del mismo. Si se estimara conveniente, el Responsable del Trabajo de INECO podría solicitar las hojas de cálculo utilizadas para la realización de cada ensayo.