

CAPÍTULO 4. EXCAVACIONES, PERFORACIONES, MUESTREO Y ENSAYOS EN PERFORACIONES

4.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar una investigación geotécnica, existen una gran cantidad de métodos que generalmente se utilizan combinados con el fin de cubrir los requerimientos técnicos exigidos por el proyecto y por la diversificación de los tipos de subsuelo encontrados.

Los factores que definen las metodologías a emplear están especificados en el Capítulo 3.

La recopilación de la información proveniente de la investigación geotécnica, así como su interpretación y redacción de los informes correspondientes, está especificada en el Capítulo 7.

Los ensayos que se deben realizar dentro de las perforaciones están detallados en el artículo 4.6. mientras que los restantes ensayos in-situ, se presentan en el Capítulo 5.

Durante la planificación de una campaña geotécnica, se deberán considerar las condiciones de **seguridad del personal involucrado**.

En la eventualidad de encontrar, durante la investigación geotécnica, elementos o estructuras de valor arqueológico se deberá informar inmediatamente a la Inspección de Obra y a la Autoridad competente (ver el artículo 2.3.5.).

4.2. EXCAVACIONES

4.2.1. Calicata poco profunda

Generalmente las **calicatas poco profundas** son excavadas mediante una retroexcavadora montada sobre una unidad tractora a efectos de facilitar su desplazamiento y ubicación en obra, aunque también pueden ser realizadas manualmente mediante picos y palas.

Esta metodología se debe utilizar en suelos factibles de ser excavados y donde las paredes de dicha excavación sean susceptibles de mantenerse estables sin necesidad de una estructura de contención temporaria. La **profundidad máxima de estas calicatas será de 4 m**.

Cuando sea necesario el **ingreso de personal a las calicatas**, se deberá garantizar la seguridad de los mismos y de los equipos frente al colapso repentino de las paredes de la excavación. Esto deberá ser realizado, cuando las condiciones geotécnicas así lo ameriten, mediante estructuras de contención temporarias.

Idealmente, estas serán especialmente diseñadas en acero, aluminio o madera y serán de rápida colocación y extracción.

Eventualmente las paredes de la excavación podrán ser realizadas mediante taludes alternados con bermas. El sistema a adoptar estará condicionado por la seguridad del personal y de los equipos a descender en las calicatas.

Las calicatas poco profundas, sin estructura de contención, deben ser utilizadas para una rápida inspección del perfil y se debe conformar un registro de lo observado.

Durante su excavación las calicatas deberán ser señalizadas perimetralmente acorde a las disposiciones vigentes en materia de seguridad de los trabajos realizados en el predio y conforme a las disposiciones legales locales vigentes.

4.2.2. Calicata profunda, pozo (vertical) y galería (horizontal o inclinada) de inspección

Las **calicatas profundas**, los **pozos** y las **galerías de inspección** deberán ser normalmente excavados a mano a medida que se sustenten sus paredes mediante métodos tradicionales, siendo la **profundidad mínima de 4 m**.

En el caso de pozos de inspección de aproximadamente **1 m** de diámetro, y cuando las condiciones geotécnicas lo permitan, se podrá utilizar para la perforación equipo mecánico a rotación.

En la eventualidad de que las paredes sean desmoronables, se deberá utilizar un **encamisado temporario** para brindar condiciones adecuadas de seguridad al personal dentro del pozo de inspección.

La utilización del encamisado temporario en presencia de agua subterránea deberá ser decidida sólo en condiciones de extrema necesidad, por cuanto el mismo produce un aumento de las presiones neutras en las paredes del pozo.

Los trabajos de relevamiento geotécnico dentro de los pozos y galerías de inspección deberán ser llevados a cabo siguiendo las más estrictas medidas de seguridad, ya que es posible encontrarse en presencia de gases combustibles o deficiencia de oxígeno. Un listado de las mínimas condiciones de seguridad a seguir durante la inspección de los pozos está detallada en el **Anexo A.5.** (en redacción). No obstante, se deben evaluar las situaciones particulares de cada predio.

En el caso de pozos de inspección estará prohibido la utilización de equipos a combustión que consuman oxígeno, como por ejemplo bombas de agua con motor a explosión.

4.2.3. Relleno de las excavaciones

El relleno deficientemente compactado de las excavaciones puede originar el hundimiento de la superficie de las mismas y el surgimiento del agua subterránea. Esta última consecuencia puede acarrear serias complicaciones en predios donde haya que realizar excavaciones profundas o túneles durante la etapa constructiva y, asimismo, ser causa de la futura contaminación del acuífero.

4.3. PERFORACIONES

4.3.1. Perforación manual con pala barreno

El **método de perforación mediante pala barreno** utiliza un equipo liviano operado por un perforista, donde el descenso y ascenso de la pala barreno y de las barras de perforación en la perforación no requiere del auxilio de un trípode con poleas.

Este tipo de exploración no utiliza encamisado y la muestra de suelo recuperada es totalmente alterada, siendo solamente apropiada para realizar la inspección tacto-visual de la misma y su clasificación.

4.3.2. Perforación mediante equipo manual

El **método de perforación mediante equipo manual**, generalmente consta de un malacate o guinche de **500 a 1 000 kg** de capacidad, accionado por un motor a explosión o diesel, combinado con un trípode que permite el descenso y ascenso del tren de barras de perforación.

Este procedimiento es apto para **suelos y rocas blandas alteradas**. Las herramientas de perforación y las camisas empleadas tienen una gran variedad de diámetros, en virtud del objetivo perseguido, pero normalmente oscilan entre **100 mm y 300 mm**.

4.3.3. Perforación mediante pala barreno mecánica (hélice continua)

El **sistema de hélice continua** se utiliza normalmente con un alma hueca para perforaciones en suelos cohesivos.

Los diámetros usuales de las hélices continuas son de **75 mm y 125 mm** que producen perforaciones de **150 mm y 250 mm** de diámetro respectivamente.

Los detritos de la perforación son extraídos a la superficie mediante la misma hélice, que trabaja como un tornillo de Arquímedes, obteniéndose una muestra muy alterada que dificulta la identificación de la profundidad de donde se la obtuvo.

A efectos de subsanar este inconveniente, se recomienda obtener muestras por dentro de la hélice continua a intervalos regulares.

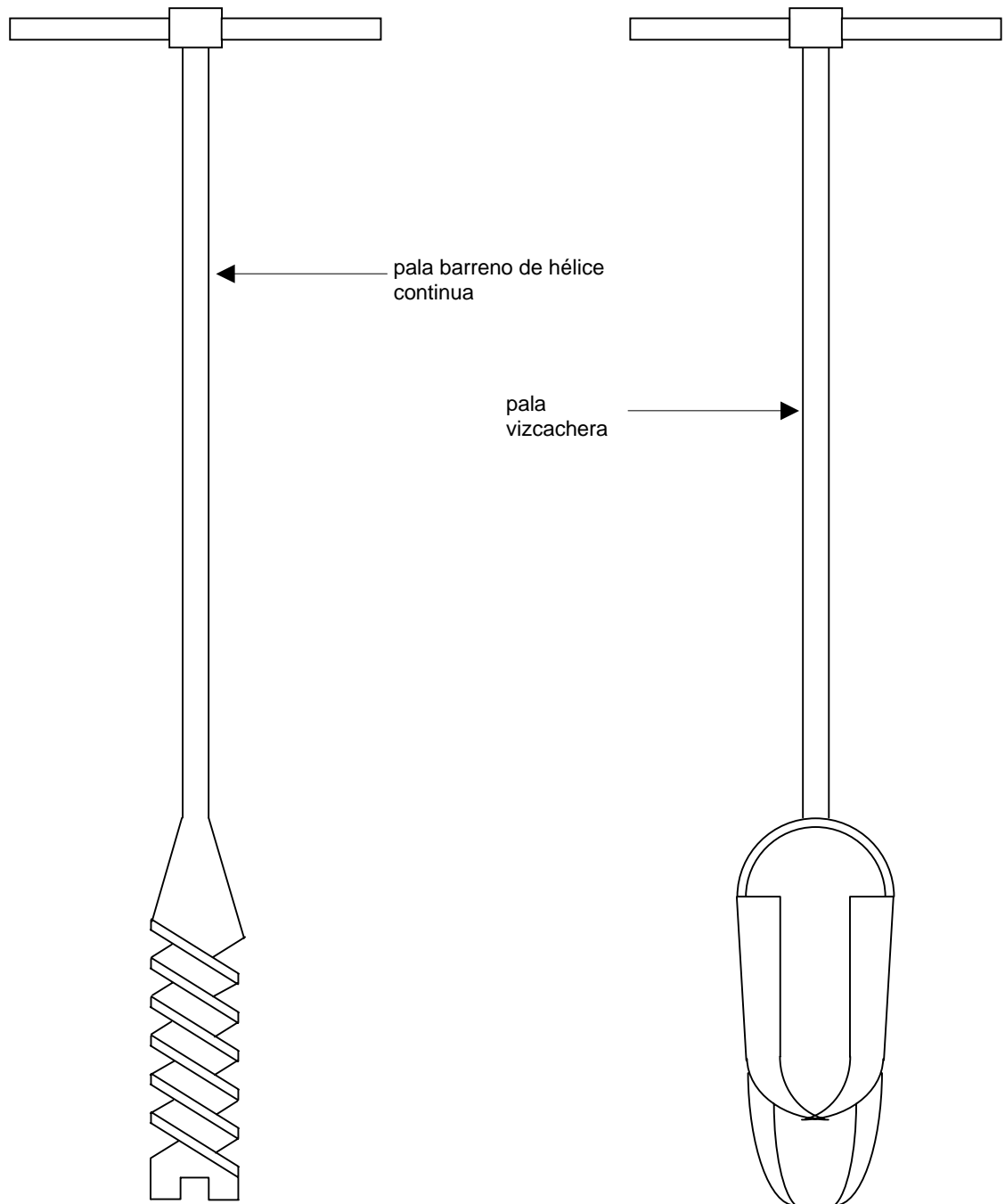


Figura 4.3.3. Equipo para perforación con pala barreno

4.3.4. Perforación a rotación

La **perforación a rotación** constituye el método más eficiente para la exploración en roca, donde la corona sacatestigo rota en el fondo de la perforación.

Las **dos metodologías** de perforación a rotación que existen son las siguientes. El primer procedimiento desgasta el material rocoso mediante una corona sacatestigo ciega o de extremo cerrado, donde la roca es reducida, en el diámetro de la perforación, a polvo o fragmentos de menor tamaño para ser recuperados mediante el retorno de la inyección. El

segundo procedimiento consiste en cortar el manto rocoso mediante una corona de extremo anular abierto donde el testigo obtenido va penetrando por el interior de la herramienta a medida que la perforación avanza. En el caso que haya que estabilizar las paredes de la perforación o impermeabilizarla para evitar la pérdida del fluido de perforación por las fisuras del macizo rocoso, se deberá utilizar una camisa temporaria. En forma alternativa se podrán utilizar lodos de perforación.

La máquina perforadora deberá estar en óptimas condiciones de funcionamiento a efectos de transmitir una presión y un torque al tren de barras de perforación con las mínimas vibraciones posibles. Asimismo, ésta deberá permitir variar la presión axial al tren de barras y la velocidad de rotación ejercida en la corona, de acuerdo con una serie de factores, como por ejemplo, al material que se está perforando y el tamaño del testigo deseado.

El tren de barras deberá ser perfectamente recto y coaxial a la cabeza de la perforadora y a la corona. Deberá tener el diámetro suficiente como para evitar el pandeo del mismo, soportar su propio peso y el de la corona con el testigo en su interior y permitir el retorno a la superficie de la inyección.

La **calidad final del testigo obtenido** también se verá influenciada por el método de perforación utilizado, por la configuración total del equipo (ver el artículo 4.4.9.), y por el manipuleo y el almacenamiento de la muestra (ver el artículo 4.4.12.5.).

4.3.5. Perforación a percusión

Esta metodología no es de aplicación habitual en las investigaciones geotécnicas por cuanto **no permite la obtención de testigos de calidad adecuada** para la realización de los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de los parámetros ingenieriles a ser utilizados en el diseño de las obras de Ingeniería Civil.

La **caracterización mineralógica de los suelos y rocas** integrantes del subsuelo sólo se puede realizar mediante la realización de ensayos a ser efectuados sobre los residuos de la perforación recuperados a través del retorno de la inyección (aire, agua, fluidos, etc.).

4.3.6. Perforación con lavado

La técnica **del lavado de la perforación** se adecua mejor a las exploraciones realizadas en arenas, limos y arcillas siendo, generalmente, práctica habitual en aquellas de diámetro igual o mayor que **75 mm**.

El suelo del fondo de la perforación se encontrará alterado por la acción de la herramienta cortante que lo rompió formando los detritos de perforación. A esta situación se le debe adicionar los desmoronamientos que puedan sufrir las paredes de la exploración y que quedan depositados en el fondo de la misma.

Estos materiales que no son representativos del estrato perforado deberán ser extraídos de la perforación antes de comenzar las tareas de muestreo del manto correspondiente.

Los sedimentos recuperados no deberán ser descartados como muestra porque representan la estratigrafía penetrada. El fluido deberá ser filtrado o decantado en piletas de decantación, previamente a su reutilización y reinyección en la perforación.

El muestreo del estrato correspondiente se deberá realizar una vez que la perforación se encuentre limpia de sedimentos, situación que se determinará mediante la visualización y tacto del fluido recuperado.

4.3.7. Relleno de las perforaciones

Cuando corresponda, se aplicará el mismo criterio que para el relleno de las excavaciones (ver el artículo 4.2.3.).

4.4. MUESTREO

4.4.1. Generalidades

La selección de la **técnica de muestreo** está regida, principalmente, por los requisitos en la calidad de la muestra a recuperar, por las características propias del material a investigar y, particularmente, por el grado de alteración que sufrirá durante el proceso de muestreo.

Las **cuatro técnicas principales** para la obtención de muestras, son las siguientes:

- (a) recuperación de la muestra alterada por las herramientas de perforación o equipos de excavación (ver el artículo 4.4.4.)
- (b) obtención de la muestra por penetración de un sacatestigo de extremo abierto o de tubo partido, con una herramienta cortante en el extremo inferior, el que será introducido en la masa del suelo mediante un empuje estático o mediante impacto (ver los artículos 4.4.5. a 4.4.8.)
- (c) muestreo mediante la penetración de una corona sacatestigo hueca provista de una herramienta de desgaste en el extremo inferior que se hará avanzar por rotación mientras el testigo va penetrando por dentro del cuerpo de la corona (ver el artículo 4.4.9.)
- (d) extracción de una dama perfilada a mano dentro de una calicata, pozo o galería (ver el artículo 4.4.10.)

Las muestras así obtenidas por los procedimientos (b), (c) y (d) permitirán, generalmente, **preservar lo suficientemente intacta la estructura del estrato** como para hacerla representativa del mismo.

La **calidad de dichas muestras** variará considerablemente dependiendo del tipo de suelo y de la técnica empleada, presentando siempre algún tipo de alteración.

La clasificación basándose en la calidad de las muestras obtenidas está descripta en el artículo 4.4.2.

La descripción de las técnicas de muestreo y la calidad de muestra esperada están especificadas en los artículos 4.4.4. a 4.4.10.

4.4.2. Calidad de las muestras

El procedimiento de muestreo estará regido por la calidad deseada o establecida de la muestra a ser recuperada y ésto, a su vez, dependerá de los parámetros a medir durante los ensayos de laboratorio. La Tabla 4.1. clasifica la calidad de las muestras frente a las propiedades posibles de ser determinadas en forma confiable durante los ensayos de laboratorio.

Tabla 4.1. Propiedades determinables según la calidad de la muestra

Calidad	Propiedades que pueden ser determinadas de manera confiable
Clase 1	Clasificación, humedad natural, pesos unitarios, parámetros de resistencia, deformación y consolidación
Clase 2	Clasificación, humedad natural y pesos unitarios
Clase 3	Clasificación y humedad natural
Clase 4	Clasificación
Clase 5	Ninguna. Sólo para determinar secuencia estratigráfica

En ciertos casos, independientemente de la técnica de muestreo utilizada, sólo será posible obtener una muestra de **Clase 2**, con un cierto grado de alteración, razón por la cual los resultados de los ensayos de resistencia y de compresibilidad obtenidos deben ser considerados con cuidado. Por otro lado, las muestras de **Clase 3, 4 y 5** serán consideradas como muestras alteradas y **podrán ser obtenidas a partir de una dama, muestreo en bolsa o extraídas mediante cualquier sacatestigo.**

En el caso de **estratos constituidos por suelos finos** que puedan ser considerados como homogéneos e isotrópicos, y donde se requiera la determinación de los parámetros ingenieriles para el cálculo de la capacidad de carga y de la deformabilidad, se deberán utilizar muestras de **Clase 1** con diámetros del orden de **50 a 75 mm.**

Las muestras de **35 mm** de diámetro sólo serán aptas para llevar a cabo los ensayos correspondientes a las muestras de **Clase 3.** En casos especiales, se deberá utilizar sacatestigos que permitan obtener muestras de **100 a 250 mm** de diámetro.

4.4.3. Cantidad y dimensiones de la muestra

Las cantidades y dimensiones de las muestras a obtener están condicionadas por los tipos de ensayos de laboratorio y cantidad de los mismos a realizar.

Cuando se conozca, con anterioridad al comienzo de las exploraciones, el **programa de ensayos** requerido se podrá establecer con facilidad la determinación de la cantidad de muestras a obtener en función del tipo de ensayo a realizar (ver Normas IRAM de ensayos de laboratorio) y el volumen (o masa) de cada una de ellas. En la eventualidad de desconocer dicho programa, la Tabla 4.2. especifica las cantidades mínimas de muestras a obtener del suelo en función del objetivo perseguido por los ensayos y del tipo de material muestreado.

Tabla 4.2. Tamaño mínimo de la muestra

Objetivo del muestreo	Tipo de suelo	Masa mínima de la muestra requerida (kg)
Identificación, clasificación (incluyendo límites de Atterberg y granulometría por vía húmeda) y determinación de humedad y densidad	Arcilla, limo, arena	1
	Grava fina a mediana	5
	Grava gruesa	30
Ensayos de compactación	Todos los suelos	25 a 60
Análisis detallado de materiales con destino constructivo, incluyendo estabilización del suelo	Arcilla, limo, arena	100
	Grava fina a mediana	130
	Grava gruesa	160

4.4.4. Muestras alteradas por las herramientas de perforación

La **calidad de las muestras obtenidas** depende del procedimiento utilizado para realizar la perforación o la excavación y de si el perfil está seco o mojado.

Cuando las muestras extraídas corresponden a niveles inferiores al agua subterránea, éstas pueden no ser representativas del manto explorado.

Las **clases de muestras** que se detallan a continuación son las que se pueden obtener al utilizar cualquiera de los diferentes métodos de perforación y muestreo:

- (a) **Clase 3:** muestras alteradas provenientes de excavaciones o perforaciones secas, ya sea mediante una zapata para arcillas, utilizada con un equipo a percusión, o bien mediante hélice continua.
- (b) **Clase 4:** muestras alteradas obtenidas en suelos cohesivos de excavaciones, ya sea mediante una zapata para arcillas, utilizada con un equipo a percusión, o bien mediante hélice continua en presencia de agua subterránea.
- (c) **Clase 5:** muestras alteradas correspondientes a suelos friables obtenidas de excavaciones con agua libre presente, o en perforaciones mediante una cuchara con un equipo a percusión, o bien, en cualquier perforación realizada con la técnica de inyección para la remoción de los detritos de perforación.

En todos los casos se deberán adoptar los recaudos correspondientes para que la muestra alterada sea representativa del estrato investigado y que no haya sido contaminada por otro manto.

4.4.5. Sacatestigos de extremo abierto

4.4.5.1. Generalidades

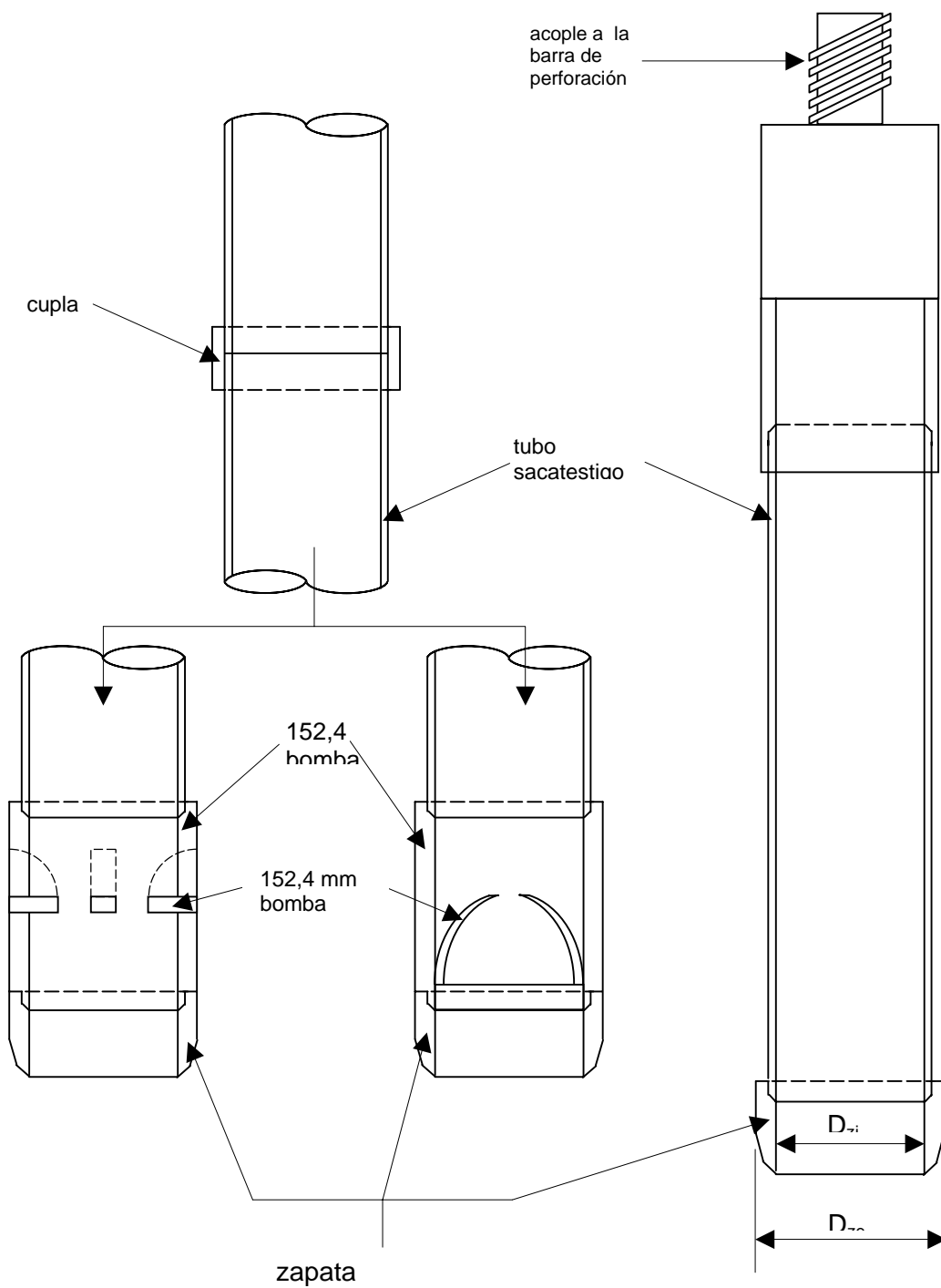
Los sacatestigos de extremo abierto consisten, esencialmente, de un tubo cilíndrico donde el extremo inferior está abierto para permitir el ingreso de la muestra, mientras que el superior posee un sistema de vinculación al tren de barras de perforación.

En la parte superior cuenta con una válvula que permite el egreso del aire y del agua que está dentro del cuerpo del sacatestigo, a medida que la muestra se va alojando en su interior, y ayuda a que ésta no se deslice hacia abajo cuando la herramienta es extraída de la perforación.

La Figura 4.4.5. representa el esquema básico de un sacatestigo de extremo abierto con una zapata de corte para uso general. La utilización de las zapatas y de los retenes se especifica en el artículo 4.4.5.5.

La zapata cortante deberá ser de diseño similar al presentado en la Figura 4.4.5., incluyendo las siguientes características:

- (a) **diámetro interior.** El diámetro interior de la zapata, D_{zi} , deberá ser **1%** menor al diámetro interior del tubo sacatestigo, D_{si} , con el fin de brindar suficiente espacio libre que permita la dilatación elástica de la muestra al ingresar al sacatestigo, reduciendo la fricción lateral al momento de extraer el sacatestigo y ayudando a retener la muestra en su interior. Se deberán evitar **diferencias mayores al 1 %** entre ambos diámetros, ya que esto permitiría una expansión residual de la muestra incrementando el grado de alteración.
- (b) **diámetro exterior.** El diámetro exterior de la zapata, D_{ze} , deberá ser sensiblemente mayor al diámetro exterior del tubo sacatestigo, D_{se} , con el fin de brindar suficiente espacio libre entre las paredes de la perforación y el exterior del sacatestigo, permitiendo así reducir la fricción lateral al momento de extraer el sacatestigo.
- (c) **relación de áreas.** Dicha relación representa el volumen unitario de suelo desplazado por la zapata frente al volumen unitario de suelo que penetra al sacatestigo, y se debe mantener lo menos posible mientras sea compatible con la rigidez del tubo sacatestigo.
- (d) **fricción lateral interior.** La misma podrá ser reducida mediante una adecuada selección de los diámetros interiores de la zapata y del sacatestigo, del material constitutivo del tubo sacatestigo y de su terminación.
- (e) **válvula superior.** Dichas válvulas del tipo no retorno permitirán la liberación del aire y agua ocluidos al hacer penetrar el sacatestigo en el suelo y a la vez ayudarán a la retención de la muestra dentro del tubo al momento de retirarlo de la perforación



$$\text{relación de áreas } R_A = \left(\frac{D_{ze}^2 - D_{zi}^2}{D_{zi}^2} \right) \times 100\%$$

Figura 4.4.5. Esquema básico de un sacatestigo de extremo abierto con una zapata de corte para uso general

4.4.5.2. Procedimiento de muestreo

Previamente al muestreo, el fondo de la perforación o superficie donde se vaya a apoyar el sacatestigos para extraer la muestra deberá ser limpiada de todo material suelto o contaminante que pueda alterar la calidad del testigo a obtener.

Posteriormente se deberá verificar la **estabilidad de las paredes de la exploración**, ya sea para garantizar la seguridad del personal y de los equipos, como para garantizar la viabilidad de recuperación de la muestra deseada.

A continuación se realizará el muestreo mediante el procedimiento elegido, ya sea por la hincada del sacatestigos mediante impacto con martillo de caída libre (SPT) o deslizante, empuje continuo a través de gatos hidráulicos (CPT) o rotación.

La profundidad a la que penetró el sacatestigos deberá ser verificada y registrada con el fin de compararla con la longitud de la muestra obtenida y así poder informar e inspeccionar cualquier discrepancia entre ambas.

4.4.5.3. Sacatestigos de pared delgada o tubo Shelby

Este tipo de sacatestigo debe ser utilizado en aquellos suelos susceptibles de ser alterados durante las tareas de muestreo. Consiste en un tubo de acero de un espesor máximo de 3,05 mm (ver cuadro superior de la Figura 4.4.5.3.) cuyo extremo inferior está torneado de forma tal que constituya una herramienta cortante capaz de penetrar el suelo investigado manteniendo una relación de áreas del **10 %**.

El sacatestigos de pared delgada se debe utilizar en suelos finos de compacidad relativa inferior a "compacta" y que no posean partículas grandes (ejemplo: relleno con materiales de demolición).

Generalmente provee muestras de **Clase 1** cuando se trata de suelos finos cohesivos, incluyendo las arcillas de alta sensibilidad, siempre y cuando no se haya alterado el suelo durante la tarea de perforación. Los diámetros usuales de las muestras varían entre **75 mm** y **100 mm**, no obstante ello, diámetros de **250 mm** son recuperados para ensayos especiales.

En la Figura 4.4.5.3. se muestra el esquema de un sacatestigo de pared delgada o tubo Shelby.

D_e (mm)	e (mm)	L (mm)
50,8	1,24	914,4
76,2	1,65	914,4
88,9	2,11	914,4
127,0	3,05	1371,6

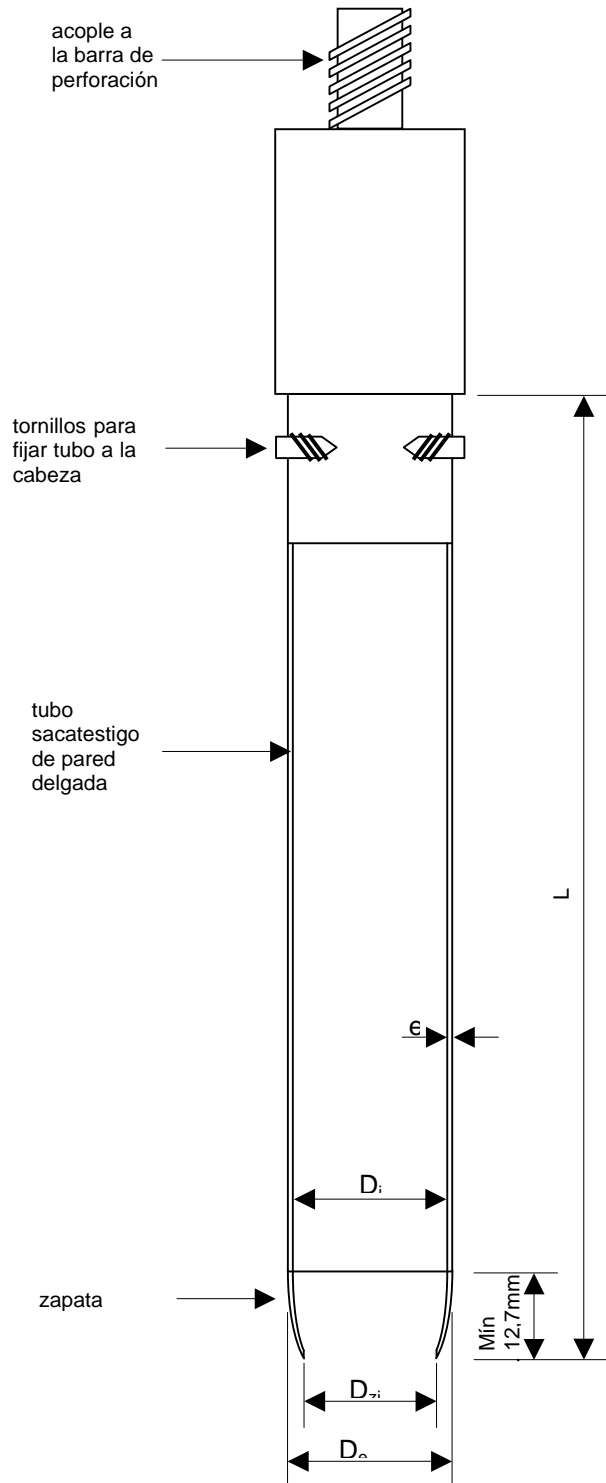


Figura 4.4.5.3. Esquema de un sacatestigo de pared delgada o tubo Shelby

4.4.5.4. Sacatestigos de extremo abierto de 100 mm de diámetro para usos múltiples

Este sacatestigo es de utilidad en **suelos cohesivos** así como en **rocas blandas o alteradas** cuando es utilizado a percusión para la obtención de la muestra.

En **suelos cohesivos no sensitivos de compactad relativa “compacta”** o inferior, el sacatestigos de extremo abierto de **100 mm** de diámetro para usos múltiples puede proporcionar una muestra de **Clase 1** o **Clase 2**.

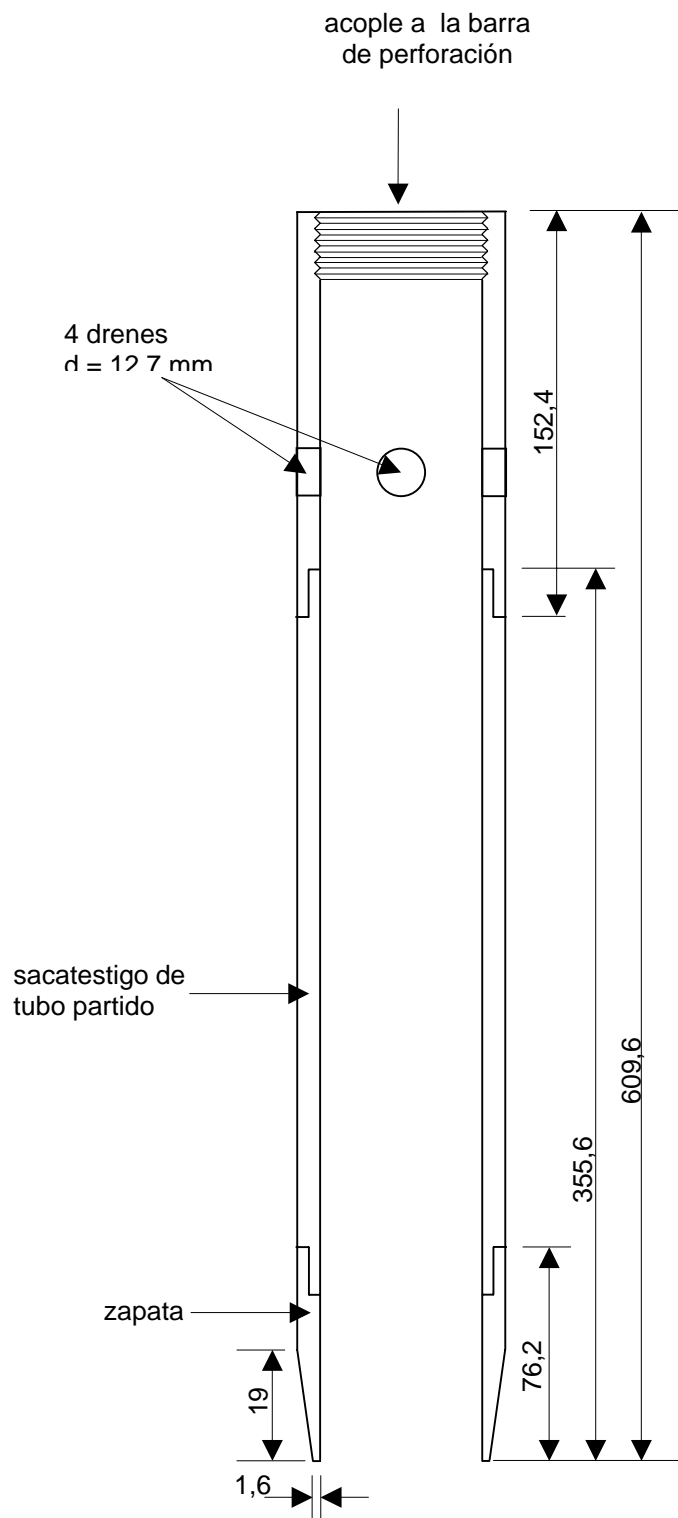
En el caso de **arcillas sensitivas**, se puede obtener una muestra de **Clase 2** y si el espécimen se encuentra fracturado o intemperizado, la **Clase** será **3** o **4**. Esta pérdida de calidad se verá incrementada si dentro de la perforación se inyectó fluido de perforación.

Este tipo de sacatestigos está esquematizado en la Figura 4.4.5. y consiste en un tubo de pared delgada de **450 mm** de largo al que se le colocan una zapata cortante en el extremo inferior, determinando una relación de áreas del **30%**. Este tipo de sacatestigos puede ser prolongado con otro similar para obtener muestreo continuo en una longitud de **1 m** en **arcillas blandas**, pero este procedimiento puede disminuir la calidad de la muestra así obtenida.

En **suelos finos de poca cohesión**, como el limo y el limo arenoso, la muestra se puede perder durante la maniobra de extracción del sacatestigo, razón por la cual se debe utilizar un retén colocado a la altura de la unión entre la zapata y el tubo. Cuando se utilizan retenes, la calidad de la muestra no supera la **Clase 3**.

4.4.5.5. Sacatestigos de tubo partido de Terzaghi

(en redacción)

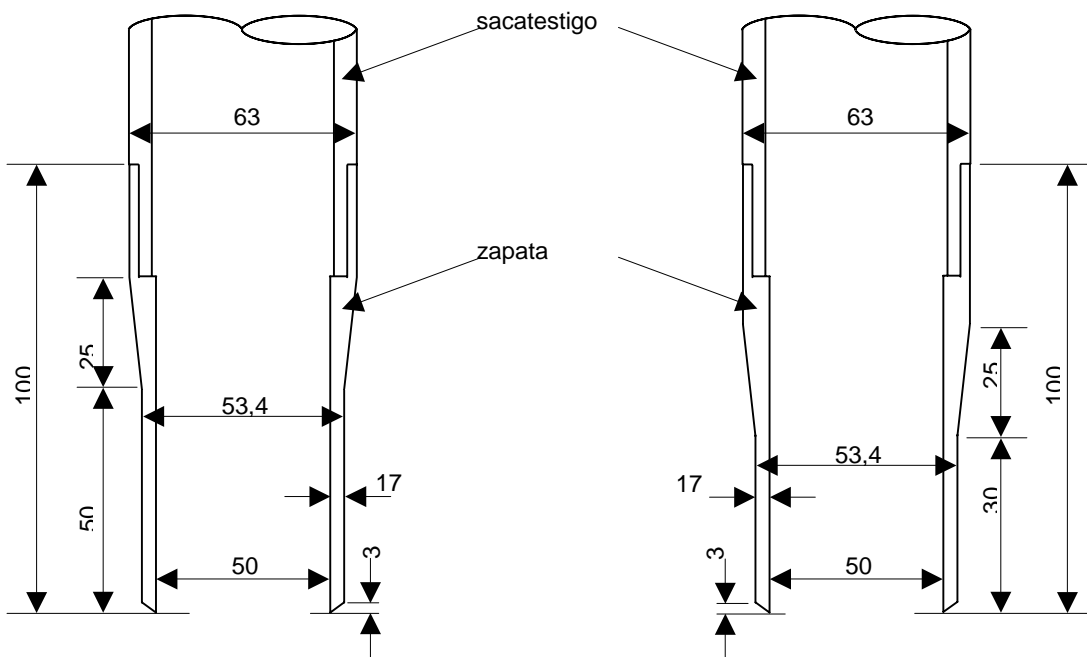


Nota: Todas las medidas están expresadas en mm

Figura 4.4.5.5. Sacatestigo de tubo partido de Terzaghi

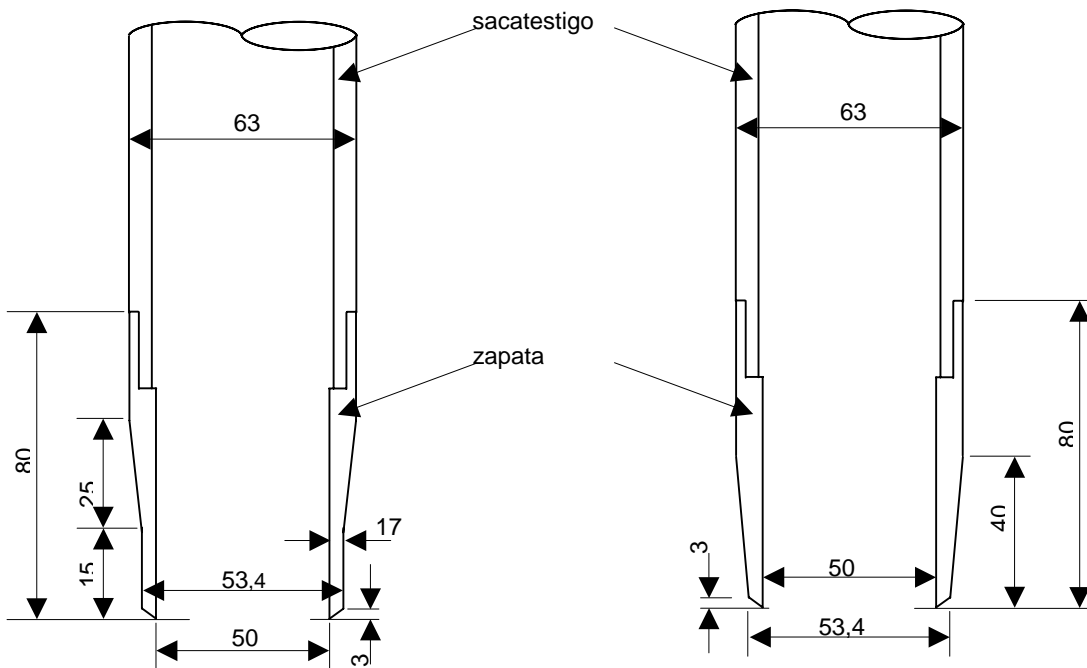
4.4.5.6. Sacatestigos de zapatas intercambiables

El sacatestigo de zapatas intercambiables, que se utiliza en trabajos de rutina para el muestreo de arcillas, limos y arenas, posee las características de los de pared delgada, con el agregado de que las zapatas de corte utilizadas no forman parte del tubo de acero sino que se las intercambia en función del suelo muestreado (ver la Figura 4.4.5.6)



Zapata N° 1 para suelos finos cohesivos
($N \leq 5$)

Zapata N° 2 para suelos finos cohesivos
($5 \leq N \leq 15$)



Zapata N° 3 para suelos cohesivos
($15 \leq N \leq 40$)

Zapata N° 4 para arena limpia,
grava fina y suelos cohesivos
($N \geq 40$)

Nota: Todas las medidas están expresadas en mm

Figura 4.4.5.6. Sacatestigos de zapatas intercambiables

4.4.6. Sacatestigos de pared delgada con válvula pistón

Este sacatestigos de pared delgada está provisto de un pistón de extremo cónico que desliza por dentro del mismo (ver la Figura 4.4.6).

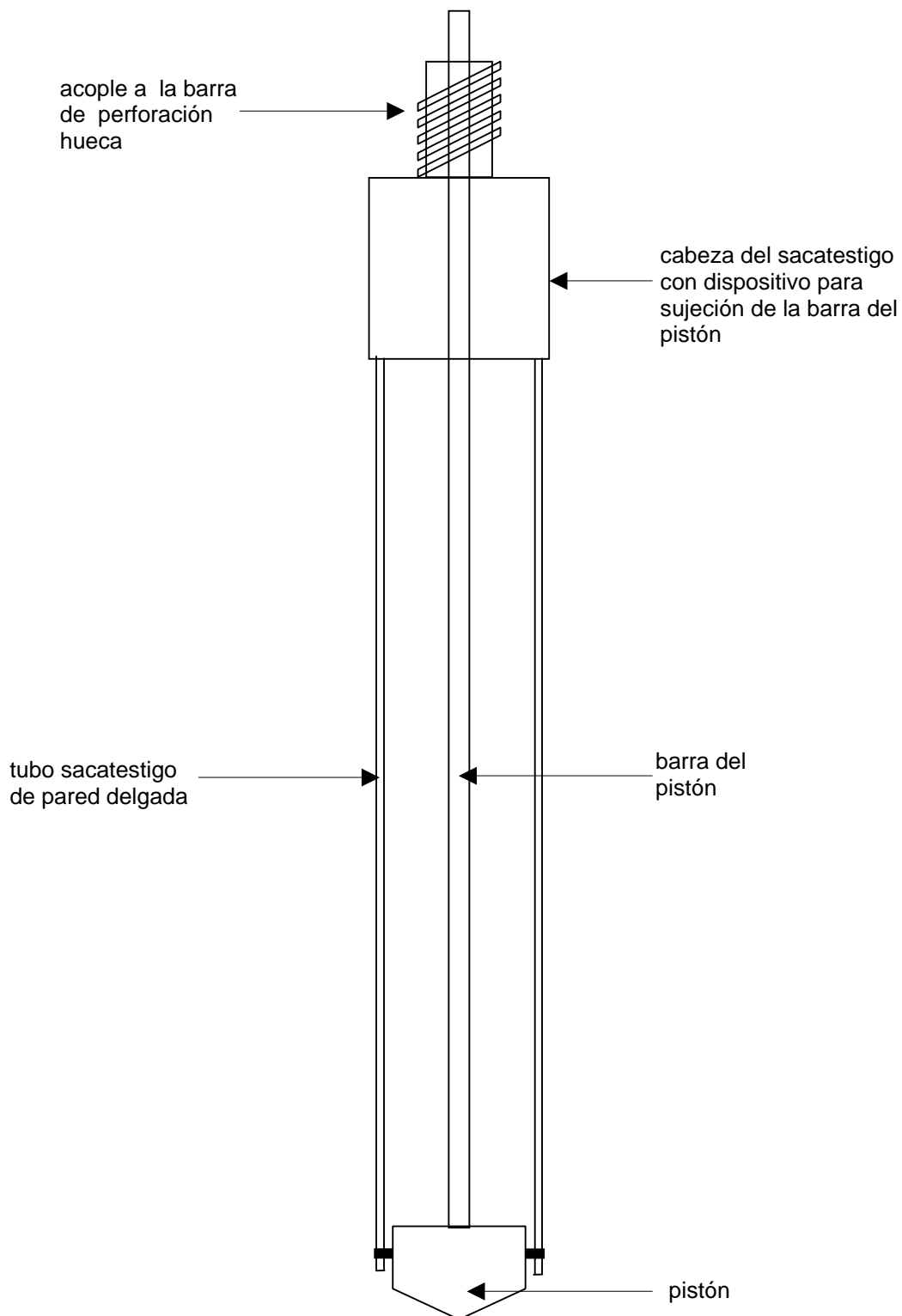


Figura 4.4.6. Sacatestigo de pared delgada con válvula pistón

4.4.7. Muestreo continuo

El **muestreo continuo** es útil cuando se requiere obtener información del macizo en todo el espesor del perfil, por cuanto permite obtener muestras de mejor calidad que el muestreo discreto.

El método más conocido es el **método Delft de muestreo continuo**, que fue desarrollado por el Laboratorium voor Grondmechanica de Delft, Holanda, y provee una carrera continua en **29 mm** ó **66 mm** de diámetro.

Una vez obtenidas las muestras de acuerdo con el procedimiento descrito en el comentario a este artículo, las mismas deben ser cortadas en longitudes de **1 m**, medida coincidente con la longitud de los tubos de PVC, con el fin de ser hermetizadas, identificadas y remitidas al laboratorio para su análisis. Cabe destacar que las muestras así obtenidas, de **29 mm** de diámetro, sólo son adecuadas para ser sometidas a **ensayos de clasificación y a la observación y registro de la secuencia de estratos**, mientras que las muestras de **66 mm** de diámetro son aptas para el resto de los **ensayos de laboratorio**.

4.4.8. Sacatestigos para arena

La recuperación de **muestras de arena con sacatestigos tubulares** suele presentar inconvenientes, principalmente por debajo del nivel freático, por cuanto la muestra tiende a deslizarse del interior del sacatestigo y a caer durante la maniobra de izaje del tren de barras. Por esta razón es necesario utilizar **retenes con los sacatestigos tubulares**.

Cuando el sacatestigo se introduce mediante impacto, como en el **ensayo SPT**, la muestra obtenida será de **Clase 3**. Por el contrario, si fue instalado en forma estática, como en el **ensayo CPT**, la clasificación mejora a **Clase 2**.

Si eventualmente se decidiera utilizar el sistema de aire reversa, la muestra recuperada sería sólo **Clase 5**.

4.4.9. Coronas sacatestigo para rotación

La calidad de recuperación del testigo depende principalmente de las características y condiciones del material utilizado, así como de la configuración de la herramienta cortante. Dicha configuración está dada por las características geométricas, diseño, tipo de corona, material constitutivo de la misma y modo de refrigeración.

La Tabla 4.3. presenta la identificación de las coronas, diámetro de las mismas y diámetro de los testigos obtenibles.

Tabla 4.3.

(en redacción)

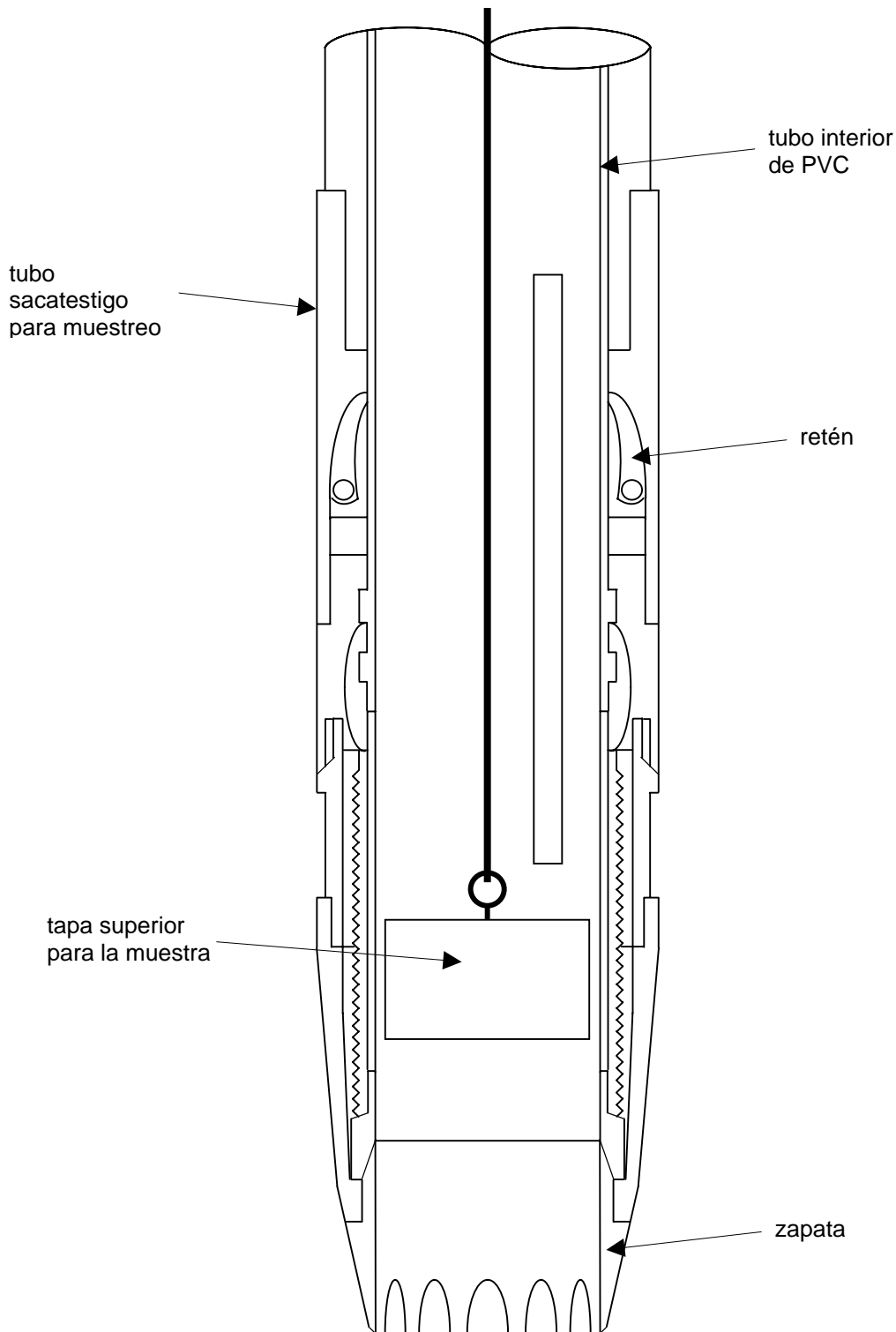


Figura 4.4.7. Método Delft de muestreo continuo (66 mm de carrera continua).

En la mayoría de los casos se obtendrán satisfactoriamente los **testigos de roca** mediante la utilización de **sacatestigos giratorios de pared doble**, de un tamaño no menor al **H (70 mm)** de diámetro). Se podrán utilizar tamaños menores, como el **NX (55 mm)** de diámetro, sólo en la eventualidad de que se muestreen macizos rocosos de gran calidad. El diámetro a utilizar se deberá incrementar cuando se detecte que se trata de un macizo de baja calidad o alterado.

Cuando se proceda a muestrear **roca blanda, alterada o fracturada**, se deberá utilizar un **sacatestigo de pared triple**, donde el tubo interior se utiliza para ascender el testigo recuperado. Este tipo de sistema permite una manipulación más segura de la muestra obtenida, evitando así la posibilidad de dañarla durante las tareas de identificación y traslado (ver el artículo 4.4.12.5.).

Un esquema de los sacatestigos y coronas usuales se presenta en la Figura 4.4.9.

Figura 4.4.9. Esquema de sacatestigos y coronas usuales (en preparación).

4.4.10 Extracción de damas

Las damas son **muestras obtenidas manualmente** donde, en términos generales, se corta un paralelepípedo del estrato a investigar, que queda expuesto en las paredes y fondo de las excavaciones realizadas en **roca y suelos cohesivos**. Es una técnica utilizada cuando se desea obtener una muestra casi inalterada o cuando se precisa muestrear en una determinada dirección y sentido, con el fin de obtener una característica particular del manto (por ejemplo: diaclasas, fallas, etc.). En estos casos, la profundidad, dirección y sentido de dicha característica debe ser observada y registrada, previamente a la extracción de la dama.

La obtención de la dama, identificación, acondicionamiento y traslado al laboratorio insume importante cantidad de tiempo durante el cual se altera el contenido de la humedad natural, razón por la cual se deben adoptar las siguientes precauciones:

- (a) no permitir que la dama entre en contacto con agua de origen externo al de la muestra,
- (b) la muestra debe estar protegida contra los rayos solares y otras fuentes de calor (estufas, etc.) y contra el viento,
- (c) inmediatamente luego de su obtención, se la debe identificar, aclarando su orientación dentro del estrato investigado y se la debe recubrir de parafina o cera adecuada y paños de arpillera o geotextil (ver el artículo 4.4.12.6.).

4.4.11. Materiales, elementos, sistemas y metodologías no contempladas en el presente Reglamento

La utilización de nuevos materiales, elementos, sistemas y metodologías no especificados en este Reglamento, requieren la autorización expresa de la Autoridad Fiscalizadora con competencia en la jurisdicción del emplazamiento de la obra.

4.4.12. Manipulación e identificación de las muestras

4.4.12.1. Generalidades

Las muestras deben ser **manipuladas con sumo cuidado** por cuanto la validez de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio depende, entre otras cosas, de la calidad de las muestras al momento de ser ensayadas. Por esta razón es indispensable el establecimiento de un **sistema de identificación, protección, transporte y almacenamiento satisfactorio** que evite el deterioro de la muestra antes de ser ensayada y durante el período de almacenamiento, a posteriori de su uso por parte del laboratorio.

Las muestras ya envasadas, para su almacenamiento y transporte al laboratorio, deben ser protegidas de las temperaturas excesivas y del agua, por cuanto éstas pueden dañar la protección y, consecuentemente, alterar la muestra.

La **temperatura de almacenamiento y transporte** estará condicionada por las condiciones meteorológicas locales y las de la obra, las que deberán garantizar que las temperaturas de almacenamiento y transporte se ubiquen en los valores mínimos posibles, entre un rango de **2°C y 45°C**.

4.4.12.2. Identificación

Todas las muestras deberán ser **identificadas inmediatamente** luego de su extracción de la exploración, independientemente del método de exploración y sistema de muestreo.

Cuando se deban preservar las muestras con el contenido de humedad natural, simultáneamente se las identificará y guardará en envases apropiados o se las sellará con parafina o cera adecuada.

En la Figura 4.4.12.2. se presenta un ejemplo de **etiqueta de identificación para muestras** que no requieran conocer su orientación dentro de la exploración, las que deberán poseer un número identificador, correlativo e ir agrupadas por duplicado en un talonario de etiquetas de identificación.

N°:
Cliente:
Proyecto/Obra:
Ubicación: Fecha:
Exploración: Cota terreno natural:
Profundidad: desde hasta
Envase N°: Tipo de muestra:
Observaciones:
.....
.....
Firma del responsable:

Figura 4.4.12.2. Ejemplo de etiqueta de identificación

4.4.12.3. Muestras alteradas de suelo y especímenes de roca recogidos a mano

Cuando estas muestras y especímenes requieran ser utilizados en ensayos de laboratorio o preservados en buenas condiciones, se deberá proceder de la siguiente manera. Inmediatamente después de su obtención de la exploración realizada, la muestra deberá ser colocada dentro de un recipiente que soporte las condiciones de obra, transporte y acopio y que, como mínimo, pueda dar cabida a un espécimen de **0,5 kg** dejando un mínimo de espacio vacío. El recipiente deberá poseer un cierre hermético o, por lo menos, ser sellado con parafina o cera de adecuadas características a fin de mantener las condiciones de humedad natural de la muestra de suelo hasta su momento de ensayo en el laboratorio. En el caso eventual de muestras alteradas de suelo para ensayos que requieran un gran volumen de material, como los ensayos de Compactación Proctor o de Valor Soporte, la muestra deberá ser transportada y acopiada en recipientes resistentes o en bolsas plásticas.

En el caso de muestras de roca, las mismas deberán estar dispuestas en cajas de madera o de plástico, que permitan su transporte y acopio sin que sufran daño. Dichas cajas deberán estar identificadas con una etiqueta para tal fin (ver el artículo 4.4.12.2.) y los trozos de roca serán pintados, cuando sea posible, con el mismo número de la etiqueta de identificación.

4.4.12.4. Muestras obtenidas mediante un sacatestigo de tubo

Las recomendaciones que se establecen en este artículo son las mínimas que se deben cumplir durante el manipuleo y transporte de muestras y son de aplicación para aquellas obtenidas con sacatestigos de tubo (ver el artículo 4.4.5.3.) y sacatestigos de pared delgada como el de zapatas intercambiables (ver el artículo 4.4.5.5.). En casos especiales se deberán considerar mayores requerimientos.

Para el caso en que la muestra quede retenida dentro de un tubo porta-muestra, se seguirán las **recomendaciones (a)** mientras que para el resto de los casos, se deberán aplicar las **recomendaciones (b)**.

- a) Inmediatamente después de obtenida la muestra de la exploración, se procederá a retirar el material de ambos extremos hasta una profundidad mínima de **10 mm**, así como cualquier evidencia de suelo alterado o contaminado. Posteriormente se rellenarán ambas oquedades con parafina derretida hasta conformar sendos tapones de **10 mm** de espesor, retirando el excedente de parafina así como todo vestigio de suelo y parafina adherido a los laterales del tubo.
- b) Para aquellas muestras que no quedan retenidas dentro de un tubo porta-muestra, como consecuencia del método de muestreo realizado, las mismas, inmediatamente después de recuperadas del sacatestigo, serán cubiertas con varias capas de parafina derretida.

Asimismo, serán protegidas contra el congelamiento, excesivo calor, incidencia directa de los rayos solares y golpes durante su acopio en obra, previamente a su transporte, durante el transporte propiamente dicho y el acopio final con anterioridad a los ensayos correspondientes. Por esta razón, para determinadas muestras susceptibles de daño, es preferible realizar el ensayo en un laboratorio de obra.

4.4.12.5. Muestras obtenidas por rotación

Una vez extraído el tren de barras y el sacatestigos de la perforación, se deberán tomar todos los recaudos necesarios para **no alterar la calidad del testigo de roca** y almacenar una muestra de calidad lo más similar posible respecto de la recuperada.

En términos generales, y salvo en casos de macizos rocosos duros y sin fallas, los testigos de roca obtenidos por rotación son dañados, inevitablemente, durante las maniobras de extrusión, al ser removidos del interior del sacatestigos y ubicados en su posición final en la caja porta-testigo.

Para disminuir esta alteración, el testigo deberá ser extraído ubicando al sacatestigos en posición horizontal y firmemente apoyado en una bancada que no permita su deslizamiento mientras que el testigo deberá estar totalmente apoyado en dicha bancada a medida que es extraído del interior del sacatestigos.

El inconveniente de la extrusión y preservación de los testigos queda totalmente solucionado mediante la utilización de sacatestigos de pared triple.

La utilización de tubos internos del tipo bipartido es altamente recomendable por cuanto facilita la inspección de los testigos obtenidos sin riesgo de dañarlos.

En términos generales, los testigos se guardarán durante la totalidad de los trabajos constructivos, para una eventual inspección o ensayos complementarios, en cajas porta-testigos de madera o plástico de **1,0 m a 1,5 m** de largo y subdividida longitudinalmente a efectos de poder contener varios testigos. Los mismos serán identificados (ver el artículo 4.4.12.2.) e introducidos en dichas cajas conforme sean extraídos de la perforación, manteniendo el orden estratigráfico correspondiente.

4.4.12.6. Damas

Una vez identificada la muestra, se la deberá recubrir con varias capas de parafina y tela (arpillera, geotextil, etc.), se le colocará una nueva etiqueta de identificación, similar a la primera, y se la guardará en una caja porta-dama a efectos de ser transportada al laboratorio.

4.5. AGUA SUBTERRÁNEA

4.5.1. Generalidades

Antes del inicio de la tarea de campo se deberá recopilar toda la información disponible de los predios vecinos así como de los registros históricos locales.

La determinación de la presión hidrostática de la masa de suelo es de suma importancia por cuanto condiciona el comportamiento del perfil geotécnico durante la etapa constructiva y posteriormente, durante la vida útil de las construcciones.

Dentro de un mismo perfil geotécnico es posible encontrar estratos con diferente presión hidrostática, especialmente si están separados por mantos impermeables, pudiendo ser, algunos de ellos artesianos.

La **detección de estratos altamente permeables**, así como la **presión de poros** asociada, deberán ser medidas lo más exactamente posible por cuanto podrá ser necesario adoptar recaudos especiales durante la etapa constructiva, especialmente en obras de túneles y excavaciones profundas. A efectos de poder tomar mediciones precisas de la presión hidrostática, se utilizarán piezómetros.

4.5.2. Métodos para determinar la presión de agua

4.5.2.1. Tiempo de respuesta

Todos los métodos que se describen a continuación requieren que el agua fluya hacia o desde el dispositivo de medición hasta que se logre el equilibrio correspondiente a la real presión hidrostática.

Para el caso de excavaciones o pozos de monitoreo, se requiere de un gran volumen de agua que fluya hacia dicha exploración antes de llegar a la condición de equilibrio.

Por el contrario, existen piezómetros que, con una mínima variación de volumen de agua, son capaces de medir la presión con gran exactitud.

La relación en el tiempo con que el agua fluye hacia el dispositivo de medición se conoce como **permeabilidad** y se define como el **tiempo de respuesta** al intervalo de tiempo transcurrido para que un dispositivo de medición de presión hidrostática pueda medir con una cierta sensibilidad el valor real de dicha presión.

Este **tiempo de respuesta** está condicionado por el volumen de agua necesario para operar el dispositivo de medición y la permeabilidad del suelo. Por ende, el sistema seleccionado para una determinada obra, para medir con exactitud la presión hidrostática, estará condicionado, primordialmente, por el **tiempo de respuesta**.

4.5.2.2. Observaciones en perforaciones y excavaciones

El método más simple para determinar la **presión hidrostática** es la observación en perforaciones o excavaciones a cielo abierto. Este método contempla un tiempo de respuesta considerable, a menos que el suelo sea razonablemente permeable, y las lecturas se realicen frecuentemente, a intervalos regulares ya preestablecidos, con el fin de contemplar las variaciones de nivel y poder determinar la condición de equilibrio.

4.5.2.3. Piezómetros de base porosa

El **piezómetro de base porosa**, que se fija a una determinada profundidad dentro de la perforación realizada para tal fin, consiste en un tubo, generalmente de PVC, en cuyo extremo inferior se encuentra una piedra porosa, o donde la base ha sido ranurada y cubierta con un material filtrante.

El diámetro interior del tubo debe ser, como mínimo, de **12 mm** para que las burbujas de aire puedan subir libremente sin obstruirlo. El extremo superior debe ser accesible a efectos de sondear o medir directamente, en una escala graduada, la altura piezométrica. No obstante ello, también puede ser monitoreado en forma remota. Asimismo, deben contar con un sistema de venteo en la parte superior para permitir al ascenso del agua. El piezómetro de base porosa más frecuente es el **tipo Casagrande** (ver la Figura 4.5.2.3.).

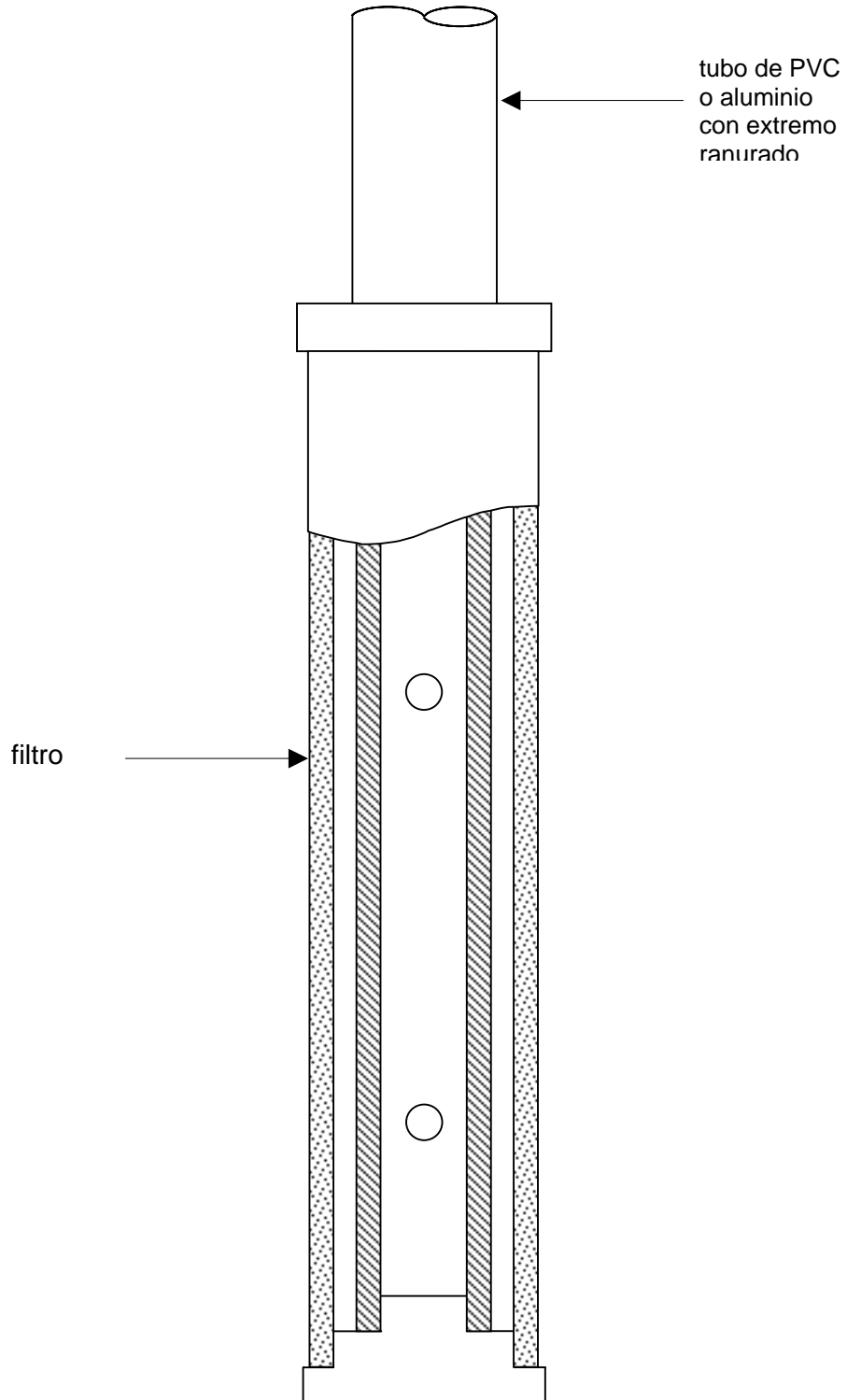


Figura 4.5.2.3. Piezómetro de Casagrande.

4.5.2.4. Piezómetros hidráulicos

En los **piezómetros hidráulicos**, la presión del agua se detecta por el extremo inferior y es conducida hasta la superficie por dentro de unos tubos de PVC de pequeño diámetro, interiores al piezómetro.

La **variación de presión** se registra mediante un manómetro de mercurio. A efectos de no obtener mediciones erróneas, se deberán purgar los tubos de PVC para extraerles el aire ocluido, razón por la cual se los deberán mantener permanentemente llenos de agua.

El **piezómetro hidráulico** más frecuentemente utilizado es el de los **tubos gemelos** (ver la Figura 4.5.2.4.) donde ambos tubos están interconectados permitiendo así el paso continuo de agua. Generalmente, este tipo de dispositivos es utilizado en trincheras o perforaciones.

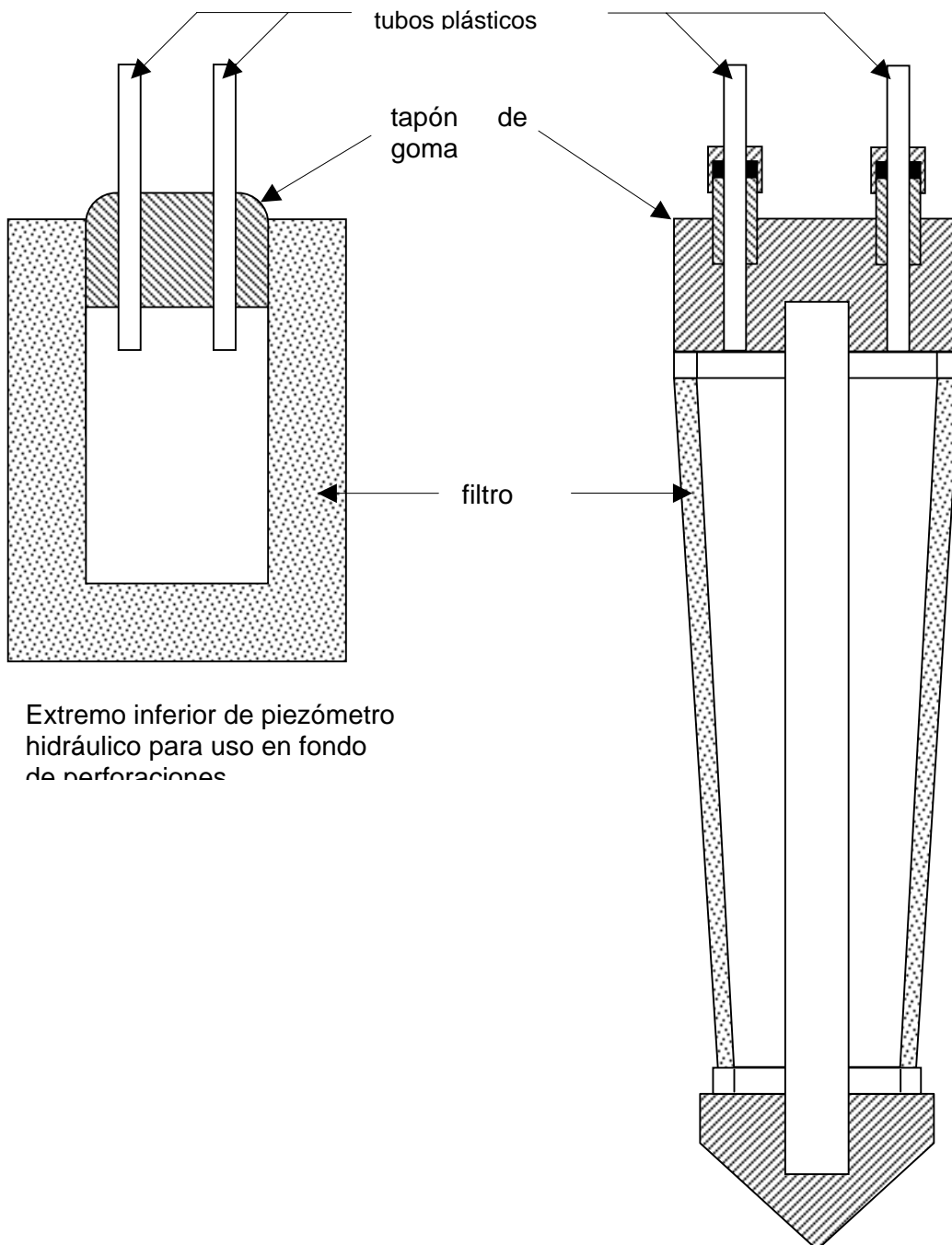


Figura 4.5.2.4. Piezómetro hidráulico

4.5.2.5. Piezómetros eléctricos

Este tipo de piezómetro posee un **transductor de presión** en cercanías del material poroso en correspondencia con el extremo inferior del dispositivo. Cuando la punta del piezómetro se encuentre purgada de aire se podrán obtener tiempos de respuesta muy pequeños. Si las determinaciones a realizar requieren de largos períodos de medición en condiciones de equilibrio hidrostático, o si las lecturas deben ser transmitidas a lo largo de grandes distancias, entonces se deberá utilizar un transductor de presión del tipo de cuerda vibrante.

4.5.2.6. Piezómetros neumáticos

Los **piezómetros neumáticos** consisten en dos tubos llenos de aire donde el dispositivo de medición se encuentra conectado a una válvula, en adyacencias del material poroso. Para que esta válvula trabaje correctamente, se requiere de un pequeño cambio volumétrico del material poroso, situación difícil de ocurrir cuando se está en presencia de suelos arcillosos de alta plasticidad.

4.5.2.7. Materiales, elementos, sistemas y metodologías no contempladas en el presente reglamento

El empleo de nuevos materiales, elementos, sistemas y metodologías no especificados en este Reglamento, requieren la autorización expresa de la Autoridad Fiscalizadora con competencia en la jurisdicción del emplazamiento de la obra.

4.5.2.8. Instalación de los piezómetros

El **grado de confiabilidad** de las mediciones de **presiones de poro** obtenidas mediante piezómetros se basa en el éxito de la correcta instalación, sellado e impermeabilización de los mismos. Los elementos porosos deberán estar saturados de agua, sin aire libre, previamente a la instalación del piezómetro.

En **suelos blandos**, el elemento poroso puede ser introducido mediante hincado o empuje estático del mismo, con la salvedad de adoptar todos los recaudos necesarios para no dañarlos. A tal efecto se deberá utilizar un piezómetro de hinca que posea un protector para dicho material.

En el caso de **arcillas**, este procedimiento remoldea por corte la matriz que caracteriza las propiedades de permeabilidad del estrato investigado, alterando las mediciones a realizar. Asimismo se deberá considerar que la hinca o empuje del piezómetro generará un exceso de presión de poro y, en suelos de baja permeabilidad, originará durante largo tiempo su disipación.

En presencia de **suelos duros**, el piezómetro es introducido dentro de una perforación realizada para tal fin, con el elemento poroso rodeado por una capa de arena bien graduada, con función de filtro. La parte superior de la perforación, hasta el nivel del terreno circundante, deberá ser rellenada con mortero cementicio.

4.5.2.9. Variaciones de la presión de agua subterránea

La **variación de la presión hidrostática** podrá estar producida por la variación de las mareas, causas estacionales, bombeo en las vecindades, etc. Cuando se deba monitorear dichos efectos, se deberán adecuar los períodos de lectura en los piezómetros a efectos de registrar dichas variaciones. En todos los casos, los períodos de medición en los piezómetros estarán regidos principalmente por las características del proyecto, objetivo perseguido en el monitoreo y características del instrumental utilizado.

4.5.3. Muestras de agua subterránea

Las muestras de agua obtenidas en profundidad deberán ser representativas del estrato muestreado. A tal efecto se deberán adoptar los recaudos necesarios para no contaminar la muestra obtenida con agua ubicada por encima del nivel de muestreo mientras ésta es retirada de la perforación, así como con cualquier otro material durante dicha maniobra.

Asimismo, se deberán adoptar las medidas necesarias a efectos de no contaminar la muestra de agua subterránea con el fluido de perforación utilizado.

Las muestras de agua se deberán recoger lo antes posible, luego de que se haya detectado el estrato a investigar. En la eventualidad de que dicho estrato se encuentre en la parte superior de la perforación, el mismo deberá ser encamisado inmediatamente. La muestra de agua mínima a recoger deberá ser de un litro y los recipientes a utilizar deberán ser de vidrio o de plástico esterilizados, específicamente confeccionados para tal fin.

4.6. ENSAYOS EN PERFORACIONES

4.6.1. Generalidades

Los artículos 4.6.2. a 4.6.7. inclusive describen los ensayos complementarios habituales que se deben desarrollar en profundidad cuando la investigación geotécnica se realiza mediante perforaciones.

4.6.2. Ensayo de penetración estándar

4.6.1. Generalidades

El **ensayo de penetración estándar**, conocido como SPT, es un ensayo de penetración dinámico (ver norma IRAM en preparación).

Cuando el ensayo se realice en **grava o roca alterada**, la zapata de corte puede ser remplazada por una punta ciega consistente en un cono de igual diámetro exterior al sacatestigo y con un ángulo al centro de **60°**.

Es fundamental llevar a cabo el ensayo según lo indica la norma IRAM correspondiente (en preparación), ya que la menor modificación en dicho procedimiento o en los elementos utilizados para realizarlo, alteran drásticamente los resultados obtenidos.

4.6.2.2. Preparación para realizar el ensayo

La primera acción a encarar será la limpieza del fondo de la perforación, que se podrá realizar con el elemento de limpieza (pala barreno, etc.) cuando se perfore en seco o mediante la inyección con recuperación si se trabaja con fluido de perforación.

4.6.2.3. Ventajas y limitaciones

La gran ventaja del **ensayo SPT** es su simpleza, rapidez y bajo costo de realización.

Los parámetros de resistencia del suelo investigado, obtenidos mediante dicho procedimiento, darán una somera idea de los reales parámetros de **resistencia al corte** medidos en laboratorio, no obstante lo cual, el ensayo de penetración constituirá una buena guía para comenzar a vislumbrar el **tipo de fundación** a esperar con relación al suelo explorado durante la etapa de investigaciones de campo y la fase de **Anteproyecto de la Obra**.

Dicho ensayo no deberá ser utilizado con exclusividad y sin el soporte de ensayos complementarios de laboratorio, para el diseño de las fundaciones o de cualquier otra estructura geotécnico-estructural, durante las etapas de **Proyecto o Proyecto Ejecutivo**.

Durante la etapa constructiva se podrán utilizar los **ensayos SPT** para verificar las condiciones locales.

4.6.2.4. Interpretación

Aunque la interpretación de los **ensayos SPT** excede el alcance del presente Reglamento, cabe indicar que una interpretación provisoria y condicionada a los resultados que se obtengan de los ensayos de Laboratorio, puede ser de gran utilidad al redactar los Informes Técnicos de Campo (ver el artículo 7.1.).

4.6.3. Ensayo "Vane", de paletas o scisometro

4.6.3.1. Generalidades

El dispositivo para el **ensayo "Vane"** consta de un disco circular metálico con paletas radiales unido a una varilla sólida que se utiliza para empujar y hacer penetrar el disco en la masa de suelo para luego rotarlo.

El esfuerzo de torque necesario para hacer rotar el dispositivo está asociado al esfuerzo de corte del suelo investigado (ver el artículo 5.7. y la norma IRAM en preparación).

4.3.3.2. Ventajas y limitaciones

La ventaja principal de este ensayo es que origina poca alteración del estrato ensayado y puede ser realizado por debajo de la cota del fondo de la perforación, lo que permite, en principio ensayar el estrato investigado en condiciones vírgenes.

4.6.4. Ensayo de permeabilidad o Lefranc

4.6.4.1. Generalidades

La determinación de la **permeabilidad in-situ** a través de un ensayo en una perforación, consiste en aplicar una presión hidráulica dentro de la exploración, diferente de la existente en el macizo, y medir el flujo de agua debido a esta diferencia.

Esta variación de presión puede ser generada mediante el bombeo de agua hacia el interior de la perforación, o bien mediante el bombeo al exterior del agua en la perforación. Ambos sistemas se denominan **ensayos de bombeo a carga variable**. Asimismo, se puede permitir mantener la presión constante durante el ensayo de bombeo a carga constante.

4.6.4.2. Preparación para realizar el ensayo

La preparación para el ensayo de permeabilidad in-situ más elemental consiste en limpiar el fondo de la perforación y posteriormente realizar las mediciones de la velocidad a la cual el flujo de agua ingresa o egresa de la perforación, a través del extremo inferior abierto de una camisa colocada en el interior de la exploración.

La perforación se podrá extender más allá del extremo inferior de la camisa, con lo cual se podrá obtener una mayor superficie permeable.

4.6.4.3. Ensayo a carga variable

En este ensayo, el primer paso consiste en llenar el caño camisa con agua (ensayo a carga variable decreciente) o extraer el agua de adentro del mismo (ensayo a carga variable creciente). Posteriormente se deberá dejar que el nivel del agua subterránea circundante al caño camisa se equilibre con aquella dentro del caño, mientras se realizan las mediciones de la posición del pelo libre de agua dentro de la camisa a intervalos preestablecidos (ver norma IRAM en preparación).

4.6.4.4. Ensayo a carga constante

Este tipo de ensayo se realiza, generalmente, mediante la metodología de bombear agua dentro del caño camisa mientras se mide la variación de la velocidad del flujo entrante a la masa de suelo, mientras la carga hidráulica se mantiene a un mismo nivel.

La condición indispensable es utilizar **agua limpia** y que el nivel de agua subterránea circundante al ensayo sea constante.

Cuando se prevea que el suelo puede poseer gran permeabilidad, se deberán utilizar dos caños camisa o piezómetros donde uno servirá al propósito de proveer agua, mientras que en el otro se realizarán las mediciones. De esta forma, la cantidad de agua entrante se ajusta hasta obtener una velocidad de flujo constante (ver norma IRAM en preparación).

4.6.4.5. Interpretación

Existen varios métodos de cálculo e interpretación para los ensayos de **permeabilidad "in-situ"**, la mayoría de los cuales se basa en condiciones empíricas.

Los de uso más frecuente corresponden a los **métodos de Hvorslev**, que se ajustan satisfactoriamente a la realidad para varias condiciones de ensayo, asumiendo que la compresibilidad de los suelos es despreciable.

Ante la eventualidad de encontrarse en presencia de suelos compresibles, se deberá recurrir al **método de Gibson** para la interpretación de los ensayos a carga constante.

4.6.4.6. Fórmulas para ensayos de permeabilidad en perforaciones

(en redacción).

4.6.4.7. Ventajas y limitaciones

Para la mayor parte de los suelos, los **ensayos de permeabilidad** realizados dentro de las perforaciones ofrecen resultados más precisos que aquellos llevados a cabo en el laboratorio, por cuanto se está ensayando una gran cantidad de material en sus condiciones naturales y no a partir de una muestra extraída con todos los inconvenientes derivados del remoldeo, la relajación de tensiones, y el hecho de ser un ensayo in-situ.

Para suelos de **alta permeabilidad (mayor de 10^{-3} m/s)**, la cantidad de agua fluyendo desde o hacia la perforación será grande, con la consiguiente caída de la carga hidráulica. En estos casos es recomendable llevar a cabo **ensayos de bombeo con distribución radial**, mediante perforaciones de inspección en líneas convergentes a la exploración central, donde la **distribución de la presión hidrostática** se pueda registrar mediante piezómetros, con el fin de obtener una permeabilidad más exacta del manto investigado (ver el artículo 5.2.).

4.6.5. Ensayo Lugeon o "Paker"

4.6.5.1. Generalidades

El **ensayo Lugeon o ensayo con dispositivo "paker"** proporciona una medida de la aceptación por parte del macizo rocoso, del agua a presión inyectada en él.

Básicamente consiste en medir el volumen de agua que escurre desde una perforación, en un tramo de ella sin caño camisa, en un determinado tiempo y bajo una determinada presión. El flujo así considerado queda confinado a profundidades prefijadas por medio de **"pakers" u obturadores**, de ahí el nombre del ensayo.

El ensayo puede ser conducido como **ensayo Lugeon simple**, donde el flujo de agua es confinado entre el fondo de la perforación y una profundidad determinada mediante un obturador, o como **ensayo Lugeon doble**, con la variante de utilizar dos obturadores a distintas profundidades.

4.6.5.2. Tipos de dispositivos de obturación

Los **dispositivos de obturación** se presentan de varios tipos, como por ejemplo los de tipo mecánico, manual con expansión mecánica, hidráulico, auto expansivo y neumático.

4.6.5.3. Aplicación y medición de la presión

La presión se deberá aplicar directamente mediante una bomba en aquellas perforaciones a rotación efectuadas con sacatestigos provistos con corona diamantada.

La máxima presión a aplicar deberá ser aquella que no produzca la rotura del sello del obturador en el caso de perforaciones profundas en un macizo rocoso débil. Dicha presión se deberá medir directamente mediante **manómetros** dispuestos en la cabeza de inyección o, si se requiere de **mayor precisión**, se deberá recurrir a un **sensor del tipo Bourdon**.

4.6.5.4. Mediciones de flujo

Las determinaciones de la **variación del flujo** se deberán medir con un caudalímetro o mediante la medición directa en un recipiente de dimensiones conocidas, que contendrá el agua a ser inyectada, con la ayuda de un sensor de profundidad o regla graduada.

Cuando se utilice un caudalímetro, el mismo deberá ser instalado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y se deberá realizar la verificación de su funcionamiento, antes de cada ensayo y durante la ejecución de éstos. Dicha tarea se deberá realizar mediante el cronometrado del tiempo que se requiere para llenar de agua un contenedor de volumen conocido.

Cuando el flujo saliente se mida en un recipiente de grandes dimensiones en planta y de poca caída de potencial, este método tenderá a producir determinaciones inexactas, siendo mucho más preciso la utilización de varios recipientes menores en vez de uno único.

4.6.5.5. Realización del ensayo

El ensayo podrá ser programado como ensayo simple o doble. El ensayo simple, en términos generales, se prefiere al segundo porque permite detectar algún tipo de filtración si esta llegar a ocurrir, mientras que si el obturador se encuentra a profundidades intermedias el agua caerá al fondo de la perforación.

4.6.5.6. Toma de registros y cálculo de la permeabilidad

En las Figuras 7.1.7. y 7.1.8. se presentan dos modelos de formulario para el informe de campo, en uno de los cuales se deberán registrar las mediciones obtenidas del ensayo Lugeon y en el otro se deberá describir el procedimiento de cálculo, a título de ejemplo.

4.6.6. Ensayo de placa

4.6.6.1. Generalidades

El **ensayo de placa** es un caso particular del **ensayo de carga vertical a compresión** (ver el artículo 5.6.1.), razón por la cual en este artículo sólo se describirán las condiciones para realizarlo dentro de una perforación.

Cuando sea posible, el **ensayo de carga con placa** se ejecutará dentro de una perforación de suficiente diámetro como para que pueda descender el Técnico encargado de realizarlo, limpiar el fondo de la perforación y ubicar la placa en el fondo de la misma

sobre suelo no alterado. Serán primordiales las condiciones de seguridad de trabajo del operador.

El procedimiento de ensayo difiere si se lo utiliza en perforaciones de pequeño o gran diámetro (ver el artículo 5.6.1. y la norma IRAM en preparación).

El diámetro de la placa deberá ser lo más cercano al diámetro de la perforación. No obstante ello, se deberán tomar los recaudos necesarios para eliminar la cohesión y la fricción lateral en todo el perímetro de la placa (ver la Figura 4.6.6.1.).

Cuando el diámetro de la placa sea muy inferior al de la perforación, la interpretación de los resultados del ensayo podrá presentar mayores dificultades.

A los fines de este Reglamento se considera que el diámetro de la placa es muy inferior al de la perforación cuando se verifica la relación (3).

$$\frac{D_p}{d_p} \geq \frac{3}{2} \quad (3)$$

siendo:

D_p el diámetro de la perforación,

d_p el diámetro de la placa.

Ante esta situación el ensayo de placa dejará de poseer las características de confinado en el fondo de la perforación para adoptar el comportamiento de una masa de suelo cargado verticalmente en su superficie libre (ver el artículo 5.6.1.).

Figura 4.6.6.1. (en preparación)

4.6.6.2. Limitaciones

Las limitaciones para este tipo de ensayo son las mismas que para el **caso del suelo cargado verticalmente en su superficie libre** (ver el artículo 5.6.1.). En esta circunstancia, también hay que tener en cuenta la dificultad que conlleva el posicionamiento de la placa de carga sobre el fondo de la perforación, ya sea porque el fondo no siempre se encuentra limpio, o porque el asiento de la misma no es horizontal, generando incertidumbre en los resultados obtenidos.

4.6.6.3. Preparación para realizar el ensayo

La perforación deberá ser **encamisada** (o entibada), cuando fuese necesario, con el fin de proporcionar estabilidad a las paredes de la misma e impermeabilizarla frente a eventuales filtraciones, cuando el nivel del agua subterránea se encuentre por encima del nivel de ensayo. El bombeo del agua desde el interior de la perforación se deberá realizar con cuidado por cuanto puede generar, en ciertos tipos de suelos, filtraciones desde el fondo de la perforación alterando el estado de tensiones y, por ende, su deformabilidad en forma negativa.

4.6.6.4.. Posicionamiento de la placa

En el caso de las **perforaciones de gran diámetro**, un Técnico deberá descender hasta el fondo de la misma y remover manualmente los detritos de perforación para luego posicionar la placa correctamente (ver el artículo 5.6.1.3.).

Por el contrario, si se estuviese en presencia de **perforaciones de pequeño diámetro**, la limpieza de la misma se deberá realizar mediante una pala barreno o herramienta de limpieza, diseñada para tal fin, sujeta al extremo inferior del tren de barras de perforación.

Posteriormente se deberá colocar una capa de mortero cementicio mediante un balde de fondo rebatible o con la técnica del hormigonado ascendente (tubo "*tremie*" o "*contractor*") presionando levemente la placa en dicho mortero. Este mortero también podrá ser dosificado en base de yeso o resinas.

4.6.6.5. Aplicación y medición de la carga

La placa será generalmente cargada a través de un caño de acero o hierro centrado con respecto a la misma, que emergerá de la perforación y sobre el cual se posicionará un gato hidráulico que reaccionará contra un sistema de transferencia de cargas constituido por pesos muertos, anclajes o pilotes de reacción.

4.6.6.6. Medición de las deformaciones

Habitualmente, las **deformaciones experimentadas por el suelo** se registran mediante flexímetros dispuestos a nivel de la boca de la perforación, conectados a la placa mediante una varilla de acero concéntrica e independiente del caño utilizado para aplicar la carga.

4.6.6.7. Realización del ensayo

Los tres procedimientos de ensayo se describen en el artículo 5.6.1.6. (ver norma IRAM en preparación).

4.6.6.8. Aplicaciones del ensayo

El **ensayo de placa**, cuando se aplica a las perforaciones de gran diámetro consiste en la determinación de las **condiciones de carga y deformación** asociadas al estrato de suelo investigado. También se utiliza para establecer las **cargas de servicio** en fundaciones (zapatas y pilotes) y, en presencia de **arenas**, como **celda de presión** en la eventualidad de que se produzca el levantamiento del fondo de la perforación.

4.6.7. Ensayo presiométrico

El ensayo presiométrico consiste en introducir dentro de una cavidad (cilíndrica, ranura plana o bolsillo) construida para tal fin, y por debajo del fondo de la perforación, un dispositivo constituido por dos placas metálicas paralelas y verticales unidas por una membrana que se expande lateralmente al ser inyectada con un gas comprimido (ver norma IRAM en preparación).

La presión aplicada y la deformación medida permitirán deducir las características de resistencia y deformabilidad del estrato de suelo investigado, ante el esfuerzo inducido.

El dispositivo más difundido es el del **tipo Ménard**, donde la carga lateral se aplica mediante la inyección de un gas o agua a presión, dependiendo del tipo de instrumento utilizado, en la celda central, mientras ésta se encuentra flanqueada por ambas placas que distribuyen uniformemente el esfuerzo inducido.

La presión aplicada y la deformación consecuente son medidas mediante instrumental para tal fin, en correspondencia con la boca de la perforación, siendo requisito la calibración del instrumental a utilizar.

El presiómetro Ménard se debe aplicar en **suelos y rocas blandas** pero no en macizos rocosos duros, por cuanto esto depende de la calibración del tubo central de inyección, siendo cuatro los tamaños usuales hasta **75 mm** de diámetro, operables hasta profundidades considerables.

4.7. FRECUENCIA DE MUESTREO Y DE ENSAYOS DENTRO DE LAS PERFORACIONES

4.7.1. Generalidades

La frecuencia de muestreo y de ensayos dentro de una perforación estará condicionada por la necesidad, en cantidad y en calidad, de obtener la información en virtud de las características técnicas de la investigación llevada a cabo, así como por la disponibilidad de información geotécnica previa del predio en cuestión.

En términos generales la investigación cubrirá tres aspectos, donde cada uno de ellos podrá requerir un programa de muestreo y ensayos distintos, y los que podrán estar desfasados dentro del cronograma general de la investigación geotécnica prevista.

Estos aspectos son los siguientes:

- (a) Determinación de las **características y estructura** de todos los mantos geotécnicos que afecten el comportamiento del proyecto.
- (b) Determinación de las **propiedades físico-químicas**, desde el punto de vista geotécnico, de los mantos detectados en (a) a través de técnicas de muestreo y de los ensayos convencionales y de rutina.
- (c) Utilización de **técnicas de muestreo y ensayos especiales**, donde la utilización de las técnicas convencionales y de rutina hayan arrojado (o se prevea que pueden hacerlo) resultados insatisfactorios.

La programación de las tareas de investigación geotécnica que llevarán al cumplimiento de los aspectos indicados deberá estar a cargo de un Ingeniero Civil con conocimiento y experiencia en la **planificación y dirección** de campañas geotécnicas (ver el artículo 3.9.2.).

4.7.2. Determinación de las características y estructura del perfil

El tipo y la frecuencia del muestreo estarán condicionados por la configuración del perfil; razón por la cual las tareas de campo de una investigación geotécnica deberán poder ser rectificables.

En términos generales, el muestreo deberá ser realizado en correspondencia con cada metro de avance de la perforación o en correspondencia con cada cambio de estrato, no obstante lo cual, la decisión de implementar un sistema de muestreo continuo o discreto estará condicionada por el perfil geotécnico y por las necesidades del proyecto.

4.7.3. Determinación de las características del perfil mediante técnicas usuales

Una vez identificados los mantos cuyas propiedades geotécnicas puedan ser relevantes a los fines del proyecto, éstas deberán ser medidas a través de técnicas de ensayo de utilización habitual y disponibles, o mediante técnicas especiales.

El programa de muestreo y ensayo deberá ser plausible de adecuación en función de los objetivos que persigue la investigación y de los equipos disponibles.

El siguiente programa presenta los **requerimientos mínimos de muestreo y ensayos** a realizar para una utilización genérica, mediante la metodología de perforación con equipo manual para suelo, con el sacamuestras de uso general combinado con el ensayo de penetración estándar; o a través de un macizo rocoso mediante perforación a rotación en diámetros de **55 mm** ó **70 mm**.

- (a) **Arena y grava**. Al comienzo de cada estrato y posteriormente a cada metro de avance de perforación, se deberá realizar el ensayo de penetración estándar y se deberán recuperar muestras representativas para su posterior ensayo.
- (b) **Suelo cohesivo**. Al comienzo de cada estrato y posteriormente a cada metro de avance de perforación, se deberá realizar el ensayo de penetración estándar y se deberán recuperar muestras representativas para su posterior ensayo; o se recuperarán muestras de **1,0 m** en forma continua con el sacatestigo de **100 mm** de diámetro. En la eventualidad de que éste no pueda ser introducido en el suelo,

o la muestra sea de calidad inadecuada, se deberá recurrir al primer procedimiento.

- (c) **Roca.** Se deberán recuperar testigos continuos. Si la calidad de la muestra no es adecuada o si la roca es blanda, se deberá utilizar el sacatestigo de tubo partido con el fin de recuperar un tramo menor de muestra apta para ensayar. Asimismo puede resultar conveniente, en ciertos casos, obtener muestras del fluido de perforación con recuperación de los detritos de la misma. No obstante lo indicado en este artículo y como alternativa para recuperar muestras de roca, el objetivo que se debe lograr es obtener **testigos continuos de buena calidad.**

4.8. ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y MUESTREO SIMULTÁNEO

4.8.1. Generalidades

Los ensayos de penetración consisten básicamente, en introducir desde la superficie del terreno una herramienta aguzada hasta llegar a los mantos resistentes.

Estos métodos son de gran utilidad para detectar estratos muy finos de material blando y para obtener un alto rendimiento en forma económica durante una investigación geotécnica.

En la actualidad se han desarrollado dispositivos altamente tecnificados, que permiten no sólo detectar los estratos más resistentes sino también medir la capacidad de carga a diferentes profundidades, así como obtener muestras de alta calidad, medir la presión de poros, etc.

Existen dos tipos distintos de metodologías, asociadas a la manera de hacer penetrar la herramienta de investigación. La primera consiste en la penetración por impacto de un martillo especial en la parte superior del dispositivo, denominada penetración dinámica, mientras que la segunda se basa en aplicar una presión estática para forzar la penetración a lo largo del perfil, y se la denomina **penetración estática.**

4.8.2. Penetración dinámica

El equipo necesario para llevar a cabo la penetración dinámica consiste, en términos generales, en una barra acoplable a un tren de barras en un extremo y por el otro a un cono de punta ciega cuya base es de diámetro un poco mayor que el correspondiente al tren de barras. La técnica de investigación consiste en hincar, mediante la ayuda de un martillo constituido por una masa constante que golpea el tren de barras en forma de caída libre desde una altura prefijada, sin la intervención del operador para realizar dicha tarea (ver norma IRAM en preparación).

El ensayo de penetración dinámica no se debe utilizar para el diseño de estructuras geotécnicas. Al igual que otros métodos de penetración, este puede brindar resultados que induzcan a una interpretación geotécnica equivocada si no se los corrobora con otros métodos de exploración, ante la posibilidad de encontrarse en presencia de suelos con gravas de gran tamaño o bloques, los cuales pueden ser confundidos con el techo de roca.

4.8.3. Penetración estática o ensayo de penetración de cono

4.8.3.1. Generalidades

El principio básico del **ensayo de penetración estática** consiste en introducir en el suelo una barra con un dispositivo que mide las resistencias por punta, friccional local y total a la penetración estática del dispositivo (ver norma IRAM en preparación).

La reacción necesaria para poder aplicar la presión en la barra se obtiene mediante pesos muertos, anclajes helicoidales o combinación de ambos.

El tipo de equipamiento utilizado se deberá registrar, dado que la interpretación de los resultados obtenidos depende de él.

4.8.3.2. Penetrómetro de cono holandés mecánico

Este sistema se utiliza principalmente para obtener la **prospección geotécnica con el objetivo del diseño de fundaciones**. Existen dos sistemas mecánicos, el **cono con manto** y el **cono deslizante para fricción** (ver la Figura 4.8.3.2.).

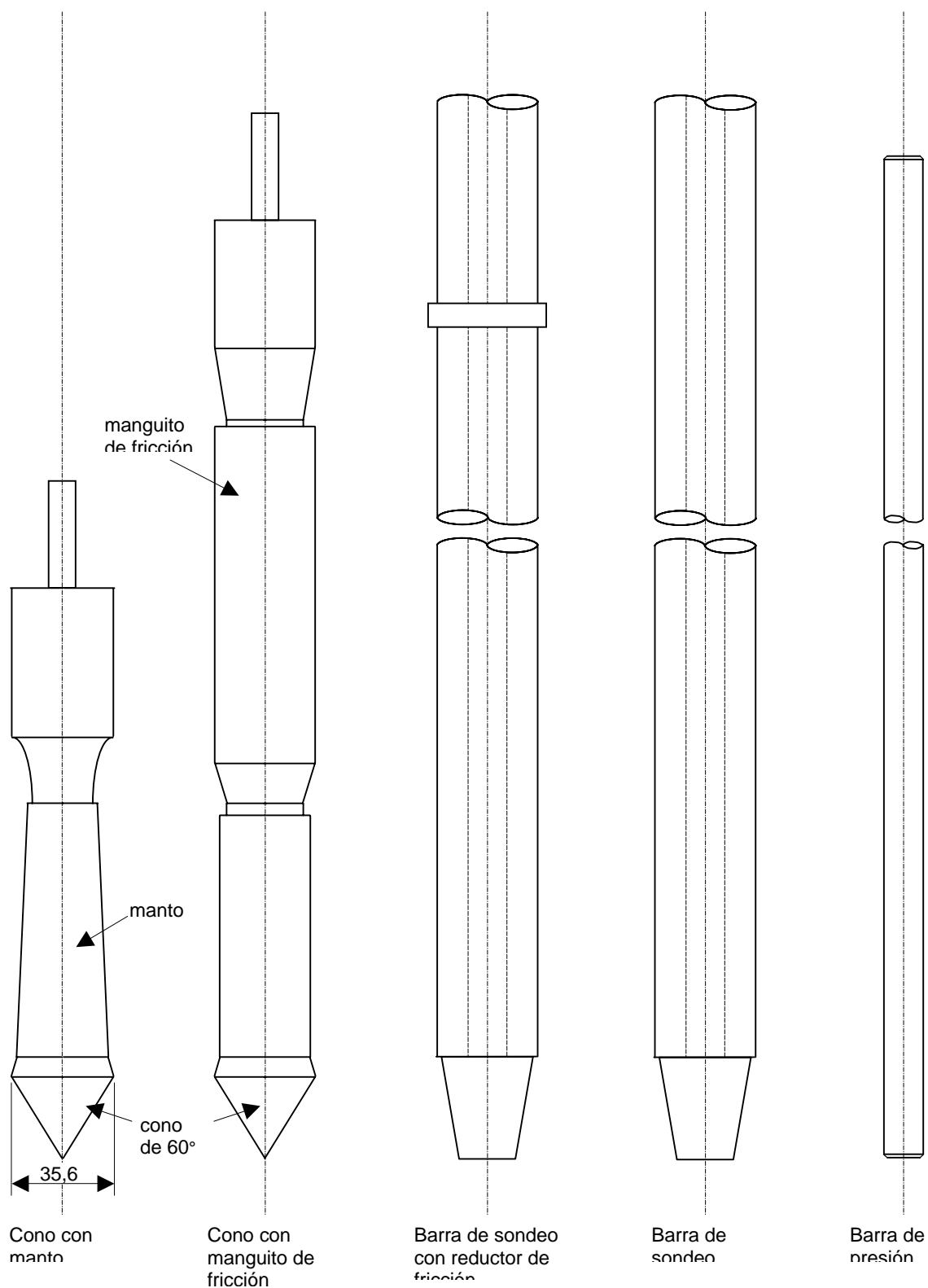


Figura 4.8.3.2. Penetrómetro de cono holandés mecánico (cono con manto y cono deslizante para fricción).

En ambos sistemas, el cono es introducido en el terreno mediante la aplicación de una presión estática vertical sobre la cabeza del tren de barras exterior.

En el caso del cono con manto, la fuerza ejercida por la punta del cono es medida por una celda de carga hidráulica dispuesta en el equipo a nivel del terreno natural mientras se aplica presión sobre las barras interiores, unidas solidariamente al cono, que deslizan libremente del tren de barras exterior.

En el caso del cono para fricción, la primera parte de la maniobra es similar a la anterior, mientras que en segunda instancia se desplaza el manguito encargado de medir la fricción local. Este procedimiento se repite a intervalos de **0,20 m** hasta llegar al fin de la exploración.

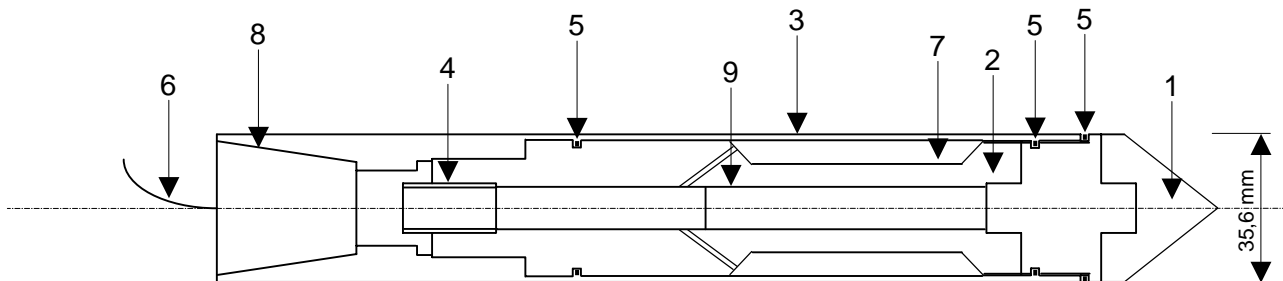
4.8.3.3. Penetrómetro de cono holandés electrónico

Bajo esta denominación existen varios tipos de sistemas que se basan, fundamentalmente, en la instrumentación del cono y del manguito con deformímetros de cuerda vibrante o resistivos para medir la resistencia de punta y por fricción (ver la Figura 4.8.3.3.).

Durante la exploración, el sistema es introducido en el suelo a una velocidad de penetración constante mientras los sensores registran las mediciones y son conducidos hasta la superficie por un sistema de cables que pasan por dentro del tren de barras exterior.

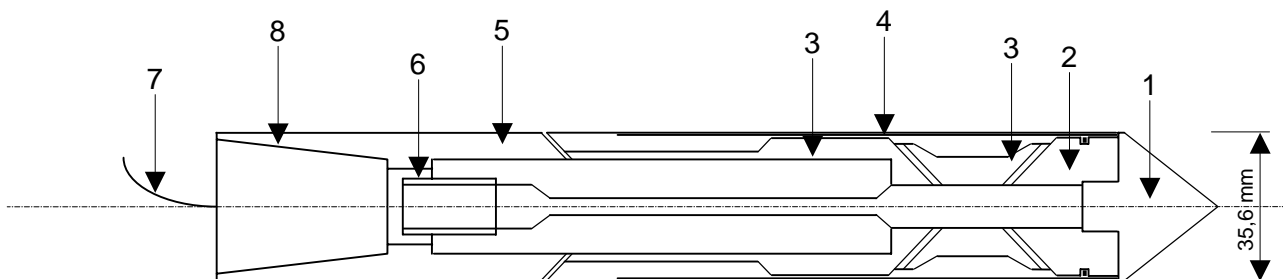
Estos valores son automáticamente graficados durante la ejecución del ensayo y guardados dentro del sistema de adquisición de datos (SAD) para un análisis posterior. De esta manera se pueden obtener los resultados inmediatamente después de la exploración.

Se recomienda disponer de un inclinómetro dentro del sistema de barras exteriores, con el fin de poder monitorear si éste se desvía de la vertical.



- | | | | |
|----|---------------------------|----|-------------------|
| 1. | Cono | 6. | Cable |
| 2. | Celda de carga | 7. | Strain gauge |
| 3. | Manto | 8. | Conexión a barras |
| 4. | Impermeabilizante | 9. | Inclinómetro |
| 5. | Aros selladores "O-rings" | | |

Cono eléctrico para medición de resistencia de punta e inclinación



- | | | | |
|----|----------------|----|-------------------|
| 1. | Cono | 5. | Aro de sujeción |
| 2. | Celda de carga | 6. | Impermeabilizante |
| 3. | Strain gauge | 7. | Cable |
| 4. | Manguito | 8. | Conexión a barras |

Cono eléctrico para medición de resistencia de punta y friccional

Figura 4.8.3.3. Penetrómetro de cono holandés electrónico.

4.8.3.4. Características de los equipos, precisión en medidores y velocidad de penetración

Las siguientes especificaciones son de aplicación tanto a los **penetrómetros de cono mecánico como eléctrico**:

- (a) La sección transversal del cono debe ser de **1000 mm²** y el ángulo central del mismo de **60°**,
- (b) El área exterior del manguito debe ser de **15000 mm²**,
- (c) La velocidad de penetración será de **20mm/s (±5mm/s)**,
- (d) La medición de la fuerza aplicada debe ser realizada con una sensibilidad del **5 %**

4.8.3.5. Ventajas y limitaciones

El **penetrómetro de cono holandés** es un método exploratorio rápido y económico, comparado con los procedimientos convencionales de perforación, muestreo y ensayos de laboratorio, siendo la mejor herramienta disponible para el diseño de fundaciones profundas, por cuanto puede medir la resistencia por punta y fuste.

Asimismo es de gran utilidad para obtener parámetros en forma continua que caractericen el perfil geotécnico, mediante la relación entre la resistencia por punta y friccional. No obstante, se recomienda tomar muestras representativas con el fin de determinar las propiedades de los estratos atravesados.

4.8.3.6. Presentación de resultados

Los resultados obtenidos de las mediciones de resistencia por punta, fricción local, fricción total, resistencia total y el cociente entre resistencia friccional y por punta deberán ser graficados en función de la profundidad y se los deberá acompañar de las correspondientes tablas de valores medidos.

4.8.4. Penetración estática- dinámica

4.8.4.1. Generalidades

El ensayo de penetración estándar es un ensayo poco preciso en el caso de los materiales sueltos y tiende a dar resultados no representativos de la real compacidad relativa en suelos cohesivos, especialmente cuando se está trabajando por debajo del nivel de aguas subterráneas.

Por otro lado, la utilización del ensayo de cono holandés queda limitado por la presencia de limos y arcillas muy duros, gravas densas, bloques o rocas.

El ensayo de penetración estático-dinámico combina los métodos antedichos, tratando de suplir sus limitaciones.

4.8.4.2. Características de los equipos

El equipo utilizado durante la **parte estática del ensayo** es el **cono holandés** (ver el artículo 4.8.3.), que se debe introducir en el suelo de igual manera que durante el ensayo de penetración estático. Durante la etapa dinámica, el cono junto al tren de barras se deberá hincar mediante el empleo de un martillo de caída libre conforme al ensayo de penetración estándar (ver el artículo 4.6.2.). Debido a que las barras exteriores utilizadas para el ensayo de cono no soportan el efecto dinámico, las mismas deberán ser reemplazadas por barras de **35 mm** de diámetro exterior y con una calidad de acero similar a las utilizadas para el ensayo estándar de penetración, que serán empleadas conjuntamente con las barras interiores del ensayo estático.

4.8.4.3. Procedimiento del ensayo

El penetrómetro es hincado directamente en el terreno, en tramos de **75 mm** y el número de golpes impuesto se deberá registrar para cada intervalo. Una vez alcanzada la profundidad de **300 mm** se deberá realizar un ensayo estático de cono (ver norma IRAM en preparación). Posteriormente se deberán repetir las maniobras hasta alcanzar la profundidad deseada.

4.8.4.4. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos durante el ensayo estático deberán ser interpretados de igual manera que en un ensayo de penetración estática convencional (ver el artículo 4.8.3.6.) mientras que los registros obtenidos de la hincada podrán ser correlacionados con el número de golpes obtenido de los ensayos estándar de penetración realizados cerca de los de penetración estática-dinámica.