

Toma de muestras en sondeos de reconocimiento geotécnico en España

Por EDUARDO ALONSO

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

1. PRESENTACION

Dentro del marco de la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones se creó, a raíz de la celebración del IX Congreso en Tokyo en 1977, el Subcomité de muestreo del terreno, que recibió el encargo de recoger información sobre las prácticas habituales en cada país y confeccionar un Manual de Toma de Muestras para diversos tipos de suelos. Este trabajo, que se realiza por encargo del Subcomité mencionado trata de dar respuesta para nuestro país al primero de los objetivos mencionados y se basa fundamentalmente en una encuesta enviada a la mayor parte de las Instituciones o empresas españolas relacionadas directa o indirectamente con el reconocimiento del terreno con fines geotécnicos. El cuestionario fue enviado a 40 organizaciones (27 empresas privadas y 13 organismos oficiales) y fue contestado por 13 organizaciones (siete empresas privadas y seis organismos oficiales) que, dado su volumen e importancia en la práctica de la Geotecnia en nuestro país, constituye, creemos, una muestra suficientemente representativa del total. Se invita, sin embargo, a cualquier empresa u organismo, tanto si sus opiniones han sido o no recogidas mediante la encuesta, a enviar sus comentarios al presente trabajo con el fin de alcanzar un grado de objetividad mayor en este tema.

El cuestionario fue dirigido a organizaciones de ámbito y especialización marcadamente diferentes. Así, se han integrado las opiniones de grandes empresas que disponen de material propio y cubren toda la gama del proyecto geotécnico, desde el estudio previo hasta su realización práctica con la de empresas u organismos especializados en el estudio o análisis de datos suministrados en gran parte por terceros. Algunas de las organizaciones consultados (aproximadamente un 60-70 por 100 del total) ejercen su actividad en todo el territorio nacional, mientras que otras están fundamentalmente confinadas a regiones concretas. Los efectos de esta «heterogeneidad» son difíciles de estimar, sobre todo teniendo en cuenta el «tamaño de la muestra». Aún así, en determinados índices o relaciones que se han confeccionado, se ha introducido el volumen o importancia de cada organización a través del correspondiente «peso» (función, por ejemplo, del número total de metros perforados). Sin embargo, muchas de las cuestiones suscitadas son esencialmente cualitativas y reflejan una experiencia u opinión para la que no existen, en principio, moti-

vos para asignar pesos de este tipo. Por consiguiente, excepto en los casos en que se indica expresamente lo contrario, en la confección de tendencias o estados de opinión generales se asigna la misma representatividad a todas las organizaciones consultadas.

En las tablas y cuadros que se incluyen se han recogido sin variaciones las contestaciones recibidas, lo que puede dar lugar en ocasiones a una cierta heterogeneidad en cuanto a la extensión o enfoque de determinadas cuestiones. Se ha preferido mantener este criterio para evitar los riesgos de subjetividad que puede introducir una homogeneización «a posteriori».

En la presentación de la encuesta se insistió en el carácter «documental» de la misma y, por consiguiente, se invitaba a responder, no con reglas o prácticas admitidas en normas o publicaciones conocidas, sino con los procedimientos reales puestos en práctica en cada organización. Esperamos que esta actitud haya prevalecido en las contestaciones. En el trabajo se han incluido también algunos comentarios y resultados que propiamente no son consecuencia directa de las contestaciones a la encuesta, sino más bien sugeridos por ellas. Con ellos se quiere conseguir una cierta aportación al complejo panorama actual de las prácticas de reconocimiento y muestreo del terreno en nuestro país.

Por último, en el artículo se incluye también algunos resultados que sobre la alteración inducida por el muestreo se han obtenido en el Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona y los que se han podido encontrar el algún otro trabajo realizado en España.

2. ASPECTOS GENERALES. NORMATIVA Y ESTADISTICAS DEL RECONOCIMIENTO GEOTECNICO

La tabla 1 recoge los criterios de tipo general (número de puntos de reconocimiento a efectuar, número de sondeos, profundidad, número y localización de muestras extraídas, etc.) que se utilizan por los diferentes organismos o empresas consultadas que en lo sucesivo vienen identificadas por un número comprendido entre 1 y 13. Si reunimos las columnas a) y c) que vienen a representar fundamentalmente un criterio basado en la propia experiencia, encontramos que en un 64 por 100 de los

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTÉCNICOS EN ESPAÑA

casos, éste es el criterio seguido. Las normas oficiales específicas, que son dos y afectan exclusivamente a obras de edificación y carreteras, son seguidas en un 24 por 100 de los casos. El predominio de criterios basados en la experiencia propia puede explicarse, por un lado, en la amplia experiencia y conocimiento previo del terreno que poseen determinadas empresas de gran volumen de trabajo. Por otra parte, se advierte una cierta crítica a la norma NTE-CEG que regula los estudios

geotécnicos de obras de edificación que es considerada poco competitiva. Debe aclararse que estas normas deben conocerse por las personas que tengan asignada la responsabilidad de la planificación o de la realización de las actuaciones contenidas en ellas, pero pueden adoptarse soluciones distintas a las recomendadas, que deberán ser justificadas en cada caso. El uso de las normas, si se cita expresamente, es suficiente para justificar la idoneidad de la solución adoptada.

TABLA 1.— *Criterios de tipo general en la planificación de trabajos de reconocimiento.*

Organismo, Empresa	O P C I O N E S					Observaciones
	a) Las que indica el técnico encargado	b) Norma oficial NTE-CEG (Edificación)	c) Experiencia propia (concreta o no en normas)	d) Norma específica	e) Otras	
1		X		X	Las contenidas en texto como el de J. Hvorslev, etcétera	
2	X (Estrictamente en obras oficiales)	X (Apoyatura geológica)				Amplia experiencia permite reducir sensiblemente el reconocimiento
3	X					
4			X			
5			X			
6					X (Énfasis en Geología. Respetan pliegos de condiciones)	
7	X	X				
8	X		X			
9				X (*)		
10			X (**)			
11	X	X	X (**)			
12	X		X			Seguir la norma oficial b) significa falta de competitividad
13	X		X			

(*) "Recomendaciones para el estudio geotécnico del trazado de autopistas y carreteras importantes". División de Materiales de Carreteras (M.O.P.U.). Madrid, junio de 1970.

(**) Normativa concretada con algún detalle.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

En la tabla A-1 (Anejo A) se presenta en forma resumida la norma NTE-CEG con objeto de que pueda ser comprobada con alguna de las conclusiones que se deducen de la consulta llevada a cabo. La Norma, que es quizá excesivamente minuciosa describiendo algunos aspectos como puede ser la profundidad a alcanzar por los sondeos de reconocimiento distingue hasta cuatro tipos de campaña, para las que fija el número de puntos a reconocer, la profundidad a alcanzar, las técnicas de reconocimiento a emplear, número y tipo de muestras a extraer y ensayos de laboratorio e «in situ» a efectuar. Sorprende que en Campaña de tipo 2, que, de acuerdo con su definición, tiende a tener una aplicación grande, no se contemplen más que pozos o calicatas (con fuertes limitaciones) y sondeos mecánicos como técnicas de reconocimiento a emplear. En la Norma se distinguen cuatro tipos de muestra (ver notas de la tabla A-1), según una clasificación similar a la adoptada por el Comité Alemán para la mejora de equipo y métodos de perforación y toma de muestras (Idel et al., 1969). No existe, sin embargo, en la actualidad evidencia experimental que permita diferenciar los procedimientos de muestreo de los tipos I y II. De acuerdo con Rowe (1972) son probablemente la permeabilidad y el coeficiente de consolidación los parámetros más difíciles de preservar y los que pueden ayudar a distinguir entre una muestra de tipo I (buena muestra inalterada) de una de tipo II (cierto grado de alteración fundamentalmente de borde). De esta forma, el tipo I exigiría tomamuestras de pared delgada, fundamentalmente de pistón, y en las de tipo II cabría utilizar los tomamuestras de pared gruesa a partir de un determinado diámetro. Pese a la falta de competitividad que los usuarios potenciales de la Norma puedan ver en ella y sin entrar en contradicción con esta apreciación, es aparente en algunas ocasiones su conservadurismo. Así, los únicos ensayos mecánicos de laboratorio que se mencionan son los de compresión simple y edométrico y en cuanto a los ensayos «in situ» sólo tienen cabida los ensayos de penetración y el de placa de carga.

El resto de normas específicas o propias de algunas empresas son extraordinariamente más simples y flexibles en su planteamiento hasta el punto de que difícilmente puede pensarse en ellas como «norma». Se trata más bien de recomendaciones que aspiran a definir «el orden de magnitud» de los grandes números, que puedan definir un reconocimiento geotécnico.

Puede observarse cómo, para la gran mayoría de la obra civil, la normativa, bien oficial o privada, es inexistente. Sin entrar en la conveniencia de que se llegue a confeccionar tal normativa sí cabe apuntar la opinión generalizada de que el reconocimiento del terreno en obras civiles se presta en general a un planteamiento más racional y científico y, sobre todo, con más probabilidad de que

puede ser llevado a cabo, que en las obras de edificación.

En la tabla 2 se han reunido algunos datos numéricos sobre longitudes de perforación, número de sondeos y porcentaje de muestras sometidas a diferentes tipos de ensayos. Es interesante confeccionar algunos índices medios con estos datos:

$$r_1 = \frac{\text{Total m. l. en suelo (grandes ciudades)}}{\text{Total m. l. perforados (grandes ciudades)}} = \frac{b_1}{a_1} = 72,1 \text{ por } 100$$

$$r_2 = \frac{\text{Total m. l. en suelo (medio no urbano)}}{\text{Total m. l. perforados (medio no urbano)}} = \frac{b_2}{a_2} = 68,8 \text{ por } 100$$

$$r_3 = \frac{\text{Total m. l. perforados (grandes ciudades)}}{\text{Total m. l. perforados}} = \frac{a_1}{a_1 + a_2} = 69,8 \text{ por } 100$$

$$r_4 = \frac{\text{Total m. l. perforados en suelo}}{\text{Total m. l. perforados}} = \frac{b_1 + b_2}{a_1 + a_2} = 69,8 \text{ por } 100$$

El índice r_1 (que oscila entre 0,55 y 1 con predominio de los valores próximos a la unidad) representa la importancia del «suelo» (como contrapartida a «roca») en el subsuelo (de interés geotécnico) de las grandes ciudades españolas (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, Zaragoza). Vemos que se trata de un porcentaje alto que unido

al índice r_3 justifica el estudio más a fondo, lógicamente a iniciativa de instituciones de carácter público, del subsuelo de las grandes ciudades. Estos trabajos cuyo fin debe ser la confección de una cartografía geotécnica de detalle permitirían, entre otros aspectos positivos, incrementar la fiabilidad y reducir el coste de los reconocimientos geotécnicos habituales emprendidos en las grandes ciudades. En medio no urbano el porcentaje de perforación en «suelo» es asimismo muy alto ($r_2 = 68,8$ por 100) con índices particulares que oscilan entre 0,35 y 1. De acuerdo con la encuesta, el 70 por 100 de la longitud total de sondeo perforada en España, con fines geotécnicos, se hace a través de suelo

(índice r_4).

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 2. — *Estadística sobre sondeos y muestras extraídas.*

Organismo, Empresa	1	2 (*)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a.1) Total m. l. sondeo en ciudades (> 500.000 habitantes).	—	2.700	—	—	—	—	—	—	49	451	7.245	1.924	190
a.2) Total m. l. sondeo en área no urbana.	2.016	11.000	—	—	600	570	—	—	626	472	7.666	6.368	625
b.1) Metros lineales de sondeo en suelo en ciudades (> 500.000 habitantes).	—	2.500	—	—	—	—	—	—	49	451	3.976	1.908	180
b.2) Metros lineales de sondeo en suelo en área no urbana.	1.778	8.000	—	—	600	300	—	900	500	418	2.649	3.187	350
c.1) Número total de sondeos en ciudades (> 500.000 habitant.)	—	180	—	—	—	—	—	—	2	27	615	102	20
c.2) Número total de sondeos en área no urbana.	119	550	—	—	—	42	—	60	32	59	431	321	45
d.1) Número total de muestras inalteradas extraídas.	66	3.100	—	—	86	33	—	240	167	103	1.732	1.374	365
e.1) Tanto por ciento de muestras sometidas a ensayos de identificación.	100 %	80 %	—	—	60 %	80 %	90 %	—	100 %	74 %	80 %	17 %	60 %
e.2) Tanto por ciento de muestras sometidas a ensayos mecánic.	100 %	50 %	—	—	20 %	53 %	80 %	—	60 %	16 %	25 %	61 %	10 %
e.3) Tanto por ciento de muestras no ensayadas.	0 %	5 %	—	—	40 %	—	10 %	—	—	21 %	20 %	22 %	40 %

(*) Datos referidos a 1976.

Podría asimismo hablarse, con ciertas limitaciones, del «aprovechamiento del sondeo» como el cociente:

$$r_s = \frac{\text{Número total muestras inalteradas extraídas}}{\text{Total m. l. perforados en suelos}}$$

Este índice tiene un valor medio de 0,253 m. l. por muestra (una muestra inalterada cada 4 m. l. de sondeo) que refleja, tanto las prácticas habituales de «densidad» del reconocimiento, como la incidencia de formaciones no muestreables con las técnicas utilizadas. Este índice, sin embargo, varía muy notablemente de unos casos a otros. Las organizaciones con gran volumen de perforación tienen índices r_s en el rango 0,25-0,30 y son ellas, debido a su «peso» las que llevan este índice a su valor medio mencionado. Son frecuentes, sin embargo, índices superiores a una muestra cada 6 m. l. de sondeo, lo que es poco explicable dentro de cualquier norma o regla de buena práctica.

Índices del «aprovechamiento de la muestra» pueden confeccionarse a partir de los datos suministrados sobre los porcentajes sometidos a diferentes ensayos. En la media (corrigiendo los índices particulares con el número total de muestras extraídas) el porcentaje de muestras sometido a:

Ensayos de identific. es de 78,6 % (rango 60-100 %)
 Ensayos mecánicos es de 43,6 % (rango 10-100 %)
 Ningún ensayo es de 14,3 % (rango 0- 40 %)

Estos índices son sensiblemente inferiores a los que marca la Norma NTE-CEG (tabla A-1) especialmente en lo que se refiere a los ensayos mecánicos. La dispersión de estos porcentajes es, sin duda, excesiva.

Un aspecto importante del espaciamiento entre muestras sucesivas de un sondeo es el porcentaje de taladro que es examinado y ensayado con cierto detenimiento.

Si admitimos que los ensayos de identificación conducen a una descripción suficientemente precisa del perfil estratigráfico del sondeo, el espaciamiento medio mencionado anteriormente y el porcentaje de muestras sometidas a ensayos de identificación conducen a que una muestra cada cinco metros es examinada con algún detalle. Dando a estas muestras una longitud media de 600 mm resulta que únicamente el 11,8 por 100 de la longitud del sondeo es descrita con precisión. Si la práctica habitual es que sea el sondista el que describa con sus partes de obra el terreno reconocido, la información que ofrecen las muestras exclusivamente es, en general, muy escasa. Si no hay presente continuamente en el sondeo un técnico que reconozca con facilidad el terreno, interprete los pequeños detalles estratigráficos, tan importantes en ocasiones, y se procede con una metodología adecuada, la mayor parte del sondeo es conocido únicamente en primera aproximación.

Por último, la tabla 2 permite calcular las longitudes medias de los sondeos, que resultan ser:

En grandes ciudades: 13,3 m (rango 9,5 - 18,8 m)
 En medios no urbano: 16,4 m (rango 8,0 - 20,0 m)
 Media global: 15,3 m

La información disponible sobre los diámetros de muestras extraídas por las diferentes organizaciones se ha sintetizado en la figura 1. Puede observarse que la práctica totalidad de las muestras obtenidas en nuestro país tiene diámetros inferiores a 100 mm y la mitad de ellas tiene diámetros inferiores a 70 mm. Esta situación es muy poco satisfactoria. En general, este tamaño de muestras no permite la obtención de parámetros fiables del suelo, quizá con la excepción de arcillas uniformes, poco sensitivas, desprovistas de cualquier tipo de heterogeneidad o discontinuidad. Y este tipo de suelos son más bien la excepción que la regla. Todo progreso real en el reconocimiento del terreno debe tender a desplazar este histograma hacia valores más elevados de los diámetros de muestras.

Existía interés en conocer el tipo de maquinaria empleada en sondeos de reconocimiento en suelos y deducir alguna tendencia general que incluso pudiera ser utilizada en el futuro para examinar la evolución sufrida. En la tabla 3 se ha clasificado la maquinaria empleada por cada organización atendiendo a su frecuencia de utilización.

Destaca el gran predominio de la perforación por rotación, concentrada fundamentalmente en un par de fabricantes. Es también destacable la tendencia a fabricar equipos propios cuando el tamaño de la empresa lo permite.

El intervalo entre muestras sucesivas a lo largo de un sondeo es muy variable de unas organizaciones a otras como indica la tabla 4 y la figura 2,

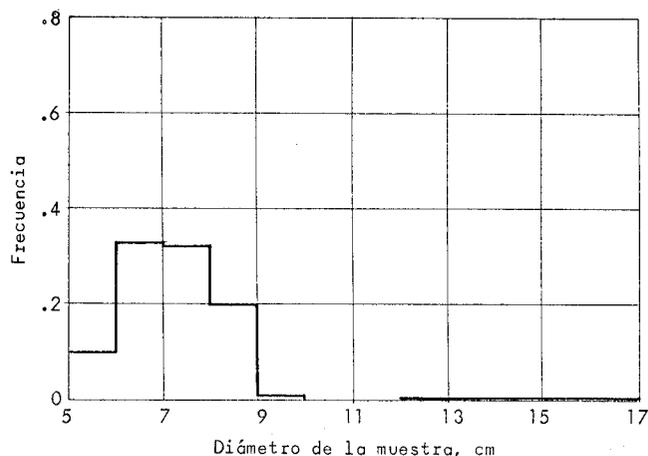


Fig. 1.—Diámetro de las muestras extraídas en España. Histograma de frecuencias.

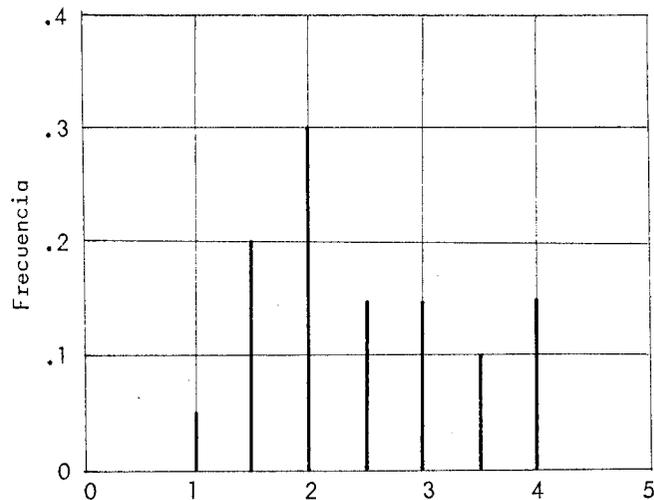


Fig. 2.—Intervalo entre toma de muestras sucesivas. Histograma de frecuencias.

confeccionada a partir de ella. Debe indicarse que esta tabla refleja una normativa interna independiente de la posibilidad de tomar las muestras correspondientes. La media es de una muestra cada 2,72 metros sensiblemente superior a lo que indica la norma NTE-CEG para obras de edificación. La dispersión es asimismo grande. Llama la atención la práctica de algunas organizaciones de incluir sistemáticamente un ensayo SPT entre cada dos muestras «inalteradas», sobre todo si están bastante espaciadas, práctica de justificación dudosa.

Por otra parte, las tendencias que se desprenden de los comentarios hechos son contradictorias incluso entre empresas u organismos con cierta afinidad. Algunos son partidarios de aumentar indiscriminadamente la frecuencia de muestreo,

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 3.— *Tipo de maquinaria y características fundamentales.*

Organismo, Empresa	1	2	3	4	5	6	7
Frecuencia de utilización muy alta.	Craelius Atlas Copco (patines). Rotación percusión.	Craelius XC-90 (D-750 y D-1000), fabricado por Atlas Copco e ISSA. Rotación: 200 metros.			Craelius (patines). Buen manejo y alcance hasta 50-60 metros. Gran versatilidad. La más aceptada y solicitada.		N-1200 ISSA. Rotación hınca: 400 metros.
Frecuencia de utilización alta.	Neptuno-1200. Rotación percusión.	Mobile-Drill sobre camión. Atlas Copco e ISSA (*). A rotación y hélice. Permite penetración estática.			Mobile-Drill sobre camión. Más convenientes que Craelius. Rotación-percusión (difícil) 50-60 metros.		Atlas Copco XC-90 H Rot. hınca: 400 m. D-750, 400 m. versátil. D-1000, 400 metros no versátil.
Frecuencia de utilización media.	Wirth. Trabaja por sistema duplex. Perfil + revestimiento. Todas direcciones.	Craelius XC-42. Atlas Copco. Menos potencia que XC-90.			Cibeles (ISSA) como Mobile-Drill.		Atlas Copco. Mobile-Drill. Rotación hınca: 300 m. no versátil.
Frecuencia de utilización baja.	Sonda Highway sobre camión. Sondeos calicata \varnothing 60 cm, L = 60 m. Sonda manual Stihl.	Vibrocore. Trabajos marítimos. Percusión: 8 m.					
Comentarios.		Equipos sobre camión ya instalados. Se va a rotación.		Se subcontratan habitualmente máquinas a rotación. En contadas ocasiones percusión.			Máquinas más potentes para el campo minero.

(*) ISSA: Industrias de Sondeos, S. A.

mientras que otros son partidarios de disminuir el número de muestras tomadas en la actualidad bien por conocer ya el terreno, y/o por razones de coste. Se critica en una ocasión la necesidad o conveniencia del testigo continuo, y se sugiere también la posibilidad de sustituirlo por diagráfias.

De acuerdo con la tabla 5, es muy rara la extracción de muestra continua. Las escasas ocasiones en que se hace responden a casos muy especiales (se menciona el caso de la estratigrafía muy fina y contraste de compacidades alto) teniendo en cuenta que la extracción de muestra continua es prácticamente la única posibilidad de conocer la macroestructura (o macrofábrica como la denomina

Rowe, 1972) del terreno, importante en gran número de ocasiones, especialmente cuando deban estudiarse con cierta precisión los intervalos de consolidación o los regímenes hidráulicos inducidos por operaciones de drenaje de excavaciones. Si es habitual, sin embargo, la extracción de testigo continuo (que se ha confundido en ocasiones con la toma de muestra inalterada continua) cuando se trabaja a rotación. Si se trata de rocas blandas o suelos de cierta consistencia es una práctica relativamente habitual parafinar algún testigo para su envío al Laboratorio. Más adelante se examina este procedimiento de toma de muestras en determinadas formaciones.

Los diámetros mínimos más usados y máximos

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

8	9	10	11	12	13
Craelius D-500. Rotación: 550 metros.	Sondeo rotativo de carro desplazable. N-1200 ISSA. Rotación.	Craelius XC-424. Craelius XC-904. Neptuno 1200 ISSA. 50-450 metros.	R.M.R. sobre camión (propio). Percusión: 50 m. Rotación: 150 m. muy versátil.	Craelius XC-90. Craelius XC-42. (Rotación). Alcance: ~ 200 m.	Craelius XC-90. (Rotación).
Craelius D-750. Rotación: 700 metros.		Highway Trailer HCBMS sobre camión. Muy móvil, poca profundidad. Utilizada en estudios de trazas donde no es necesario muestras inalterada.	R.M. (propio). Percusión: 50 m. terrenos sueltos.	Intena (similar a XC-42 Cross). (Rotación). Alcance: ~ 50 m.	Neptuno ISSA. (Rotación).
			Mobile-Drill. Explorar B-40. (Atlas Copco). Rotación a 50 m. Suelos cohesivos y blandos. Helicoidales.		
			Boyles-10. Long Year-44. Craelius XC-90. SR-2 (propia). A-B II Svenska. Percusión rotación mecánica con avance sensitivo manual.		
			Orientados hacia la construcción de equipos propios (1.º prior.).		Trabajos subcontratados.

utilizados en sondeos de reconocimiento se indican, en función de la profundidad, en la figura 3. Se ha representado el «sondeo medio» correspondiente a los 30 primeros metros y una medida de la dispersión entre diversos organismos o empresas mediante contornos correspondientes a una desviación estándar. Se observa en las respuestas proporcionadas una escasísima normalización de diámetros. Por otra parte, los diámetros máximos (figura 3) acusan una dispersión muy notable. Algunas empresas (pocas) tienden a normalizar los diámetros de sondeos entre 85 y 115 mm en toda su longitud, lo que les permite tomar muestras entre 70 y 100 mm (en función de útil empleado). Parece detectada (tabla 6) una tendencia al aumen-

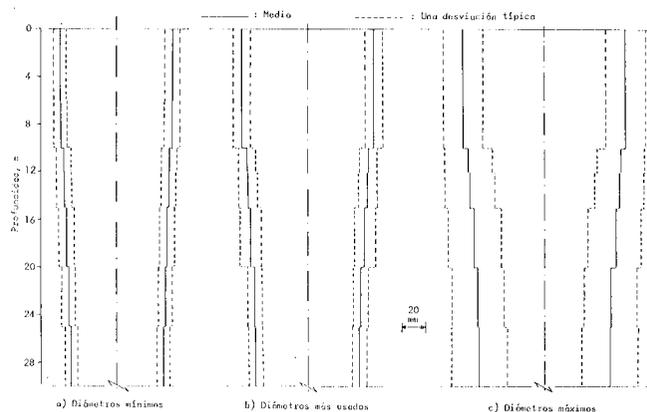


Fig. 3.—Diámetros usados en sondeos de reconocimiento. Treinta metros iniciales

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 4.— *Distribución del muestreo a lo largo de un sondeo de reconocimiento.*

Organ., Empres.	Muestra inalterada cada	¿Muestra continua?	Otros	Comentario y tendencia
1	1,5 - 2 metros	X (¿Testigo?)	—	SPT en arenas cada un metro. Muestras allí por decantación detritus.
2	3 - 4 metros (¿Se intercala SPT?)	Testigo continuo	Se parafina testigo en terreno compacto inmediatamente después de tomado.	En suelos blandos aumenta la frecuencia del muestreo (cada 1,50 o menos). Adecuar tipo de tomamuestra en función del terreno detectado.
3	2 metros y cambio de estrato (depende de lo que se esté buscando).			
4	1,5 m. o cambio estrato.			
5	1 - 2 metros			Se extrae muestra inalterada cada 2 m. y se realiza STP a continuación.
6	2,5 metros	En algunos casos, particularmente en roca.		
7	3 metros			Tendencia a extraer cada vez menos testigos y a realizar diagrafías.
8	2 a 3 metros	X (¿Testigo?)		
9	1,5 metros	(¿Testigo?)		Mayor número de muestras inalteradas.
10	2 metros combinado con SPT que se parafina.	En rocas		
11	4 m. intercalando o sustituyendo con SPT.	Normalmente no		Tendencia a disminuir muestras inalteradas: a) Por poseer ya información. b) Por reducir los costos.
12		Testigo continuo		
13	1 - 1,5 m. (según normas del ingeniero encargad.).			

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 5.— *Extracción de muestra continua.*

Organis., Empresa	Ocasiones en las que se extrae muestra continua
1	Testigo continuo (comentan que quizá es pérdida de tiempo y dinero-controvertido). (Se conserva en cajas hasta que finaliza la obra.)
2	En terrenos donde existen lentejones de poco espesor de características portantes muy diferentes al resto de los estratos se extrae muestra inalterada continua. En roca testigo continuo (batería doble).
3	En roca. Se parafinan testigos/2 m. si son rocas blandas (marga, pizarra), también en tosca y peñuela (Madrid).
4	No en todo el sondeo. A veces en zona concreta si especial, etc.
5	Testigo C siempre. No para Laboratorio. Ciertos tramos se emplean como muestra para ensayos. El resto se conserva y se acaba tirando.
6	En cimentaciones delicadas.
7	Testigo C con batería doble tipo T.
8	Normalmente (¿Testigo? ¿Alterada?).
9	Siempre (¿Testigo? ¿Alterada?).
10	Si con testigos.
11	En casos muy especiales.
12	Nunca prácticamente.
13	Raras ocasiones (si son necesarias muchas muestras para ensayos o no es posible realizar más sondeos).

TABLA 6.— *Diámetros de sondeos y muestras corrientemente utilizados en el reconocimiento de suelos.*

Organis., Empresa	Tendencias, aumento, disminución y observaciones
1	No se observa tendencia en los últimos diez años. Obras importantes: perforar con el mayor diámetro posible (muestras de mejor calidad).
2	Diámetros entre 85 y 100 mm. descartándose $\varnothing < 65$ mm. para fines geotécnicos. Si obra importante no se perfora con menos de 86 mm.
3	Se utiliza un diámetro de muestra único ($\varnothing = 61,3$ mm.), lo que condiciona el sondeo (\varnothing min.).
4	En suelos el diámetro máximo de testigo es de 102 mm. y el mínimo de 48 mm. en todas las ocasiones.
5	Tendencia a normalizar el diámetro de 88.5 mm. para muestras.
6	No se observan tendencias en los últimos diez años. Si obra importante, empleo del sistema "wire line".
7	Tendencia al aumento al máximo de diámetros. A obra más importante corresponden mayores diámetros.
8	Tendencia a aumentar diámetros.
9	Tendencia a aumentar diámetros.
10	No se utilizan diámetros inferiores a 86 mm. en perforación debido al tamaño del tomamuestras utilizado ($\varnothing = 82,6$ mm.).

to de diámetros en los últimos diez años, aunque no es, desde luego, general. Si parece claro que las obras «importantes» suelen reconocerse con diámetros mayores. Los diámetros medios de sondeos de reconocimiento (111 15 mm en superficie, 97 18 mm a 15 metros de profundidad y 88 12 milímetros a 30 metros de profundidad, figura 3-B) responden aproximadamente a los diámetros medios de muestra extraídos (fig. 1), aunque probablemente permiten la toma de muestras de diámetro algo superior.

Se interrogó finalmente a los encuestados, dentro de este apartado sobre aspectos generales, sobre la utilización, en alguna circunstancia especial, de algún procedimiento para orientar las muestras. En general, la única orientación señalada es la superior-inferior. Se menciona en un caso la posibilidad de examen directo de la pared del sondeo por cámara de TV propia del organismo que, sin embargo, no se ha utilizado en ninguna ocasión.

3. TOMAMUESTRAS Y TUBOS TESTIGO

Tomamuestras de tubo abierto. — En la tabla 7 se han reunido los datos obtenidos. Los aspectos sobresalientes se comentan a continuación:

Los tomamuestras de pared gruesa representan un porcentaje muy alto del total de tomamuestras de tubo abierto. Este porcentaje oscila entre un 75 y un 95 por 100 y la media es del 85 por 100. El resto corresponde a tomamuestras tipo Shelby o de pistón. Esta situación da una idea de la consistencia (compacidad) y heterogeneidad de los suelos que aparecen en general en España. Aún así no parece ser práctica generalizada la utilización de tomamuestras de pared fina cuando sea posible (por ejemplo, dentro de algunas capas blandas de un sondeo cuando en el resto no se puede utilizar). En relación con esto alguna organización apunta a que la tendencia futura debe ser la adecuación del tomamuestras al tipo de terreno en cualquier circunstancia. De hecho todas las organizaciones consultadas disponen de tomamuestras de pared delgada, bien de tipo «Shelby» o de pistón.

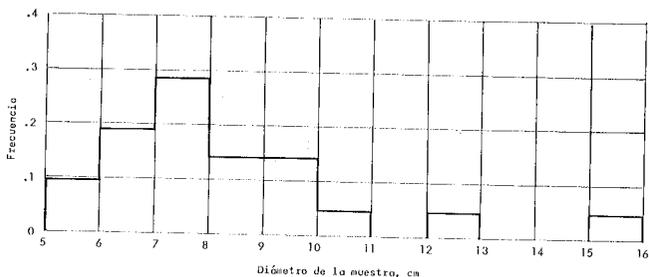


Fig. 4.- Diámetro de muestras extraídas con tomamuestras de pared gruesa. Histograma de frecuencias.

La frecuencia de utilización de diferentes diámetros (internos), que aparece en la figura 4, es coherente con el histograma global de diámetros de muestras extraídas (fig. 1) y conduce a la misma conclusión: las muestras extraídas tienen en su gran mayoría diámetros que podemos considerar pequeños, con una amplia cola de la distribución hacia diámetros «grandes» (> 100 mm) que son utilizados muy marginalmente.

La relación de áreas de estos tomamuestras de pared gruesa es prácticamente siempre superior al 25 por 100 y en algunos casos llega hasta el 83 por 100. En la mayoría de los casos el coeficiente de entrada es prácticamente cero (o una pequeña magnitud: 1-3 por 100). El coeficiente de salida es también nulo en la práctica totalidad de los casos.

Las longitudes de penetración del tubo oscilan casi siempre entre 500 y 600 mm, excepto en una organización que en alguno de sus modelos llega a los 800 mm de penetración. Con estas longitudes de «hinca» y las longitudes (internas) de los tubos las distancias «de guarda» sobre la muestra oscilan entre 0 y 30 cm. Algunas prácticas de hinca son, pues, algo peligrosas, por lo que pueden suponer de compresión de la muestra.

El ángulo de corte de la zapata se indica muy pocas veces (¿no interesa?). En los tomamuestras de pared gruesa oscila entre 10-12° y 80°. Abundan los ángulos de 45° y 60° a todas luces excesivos. En general, los tomamuestras de pared gruesa se hincan mediante golpeo repetido. Pocos indican, sin embargo, la posibilidad de hinca continua a presión utilizando el equipo mecánico o hidráulico de la máquina cuando el suelo sea suficientemente blando. Pesos de maza y alturas de caída varían ampliamente. En efecto, se citan las siguientes combinaciones:

63,5 Kg	50 Kg	100 Kg	63,5 Kg (65,0 Kg)
Altura variable	75 cm	45 cm	75 cm (76,2 cm)
65 Kg	65 Kg	120 Kg	Variable
65 cm	50 cm	40 cm	

La energía transmitida por el golpe varía en 50 por 100 de unos casos a otros. Existe un empleo frecuente de la maza y altura de caída del SPT en todo tipo de tomamuestras, lo que quizá sea poco adecuado (en particular, por lo que se refiere al peso de la maza) para tomamuestras de diámetros medios. En todo caso, la escasa normalización en este sentido hace muy difícilmente comparables los resultados de hinca de tomamuestras obtenidos por diferentes organizaciones, especialmente a la vista de la gran repercusión que las condiciones del ensayo tiene sobre los resultados del SPT (ver, por ejemplo, De Mello, 1971), ensayo que, a pesar

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 7. — Tomamuestras de tubo abierto.

Organ. Empresa	Denominac. y fabricante	D _s (mm)	Coef. entra.	Coef. salida	Relac. áreas	Long. Penet. (mm)	Ang. corte zapata	Sistema hinca	Datos hinca	Camisa	Tipo de suelo (2)	Tipo recon. (3)	Frecuencia	Observaciones	
1	Tom seccionado (I).	106	0	0	24,9	525		b) Movim. continuo a presión	Presión manual	PVC	Arcillas	c)		Todos se utilizan en casos muy aislados. Habitualmente rotación (tubo doble de diámetro 101 mm u 86 mm). Todos los ensayos.)	
	Tom bipartito (S).	86	0	0	24,9	525			63,5 Kp. altura var. Tubo o Zn	PVC Zn PVC					
	Tom bipartito (S).	106	0	0	24,9	525									
	Zapata cortante (A).	71	0	0	37,8	525		a) Golpeo							
	Shelby.	69	0	0	10,6	400		Movimiento continuo y golpeo							
2	Secc.-ISSA. GMPV.	71	0	0	24,9	525		a)	50 Kg 75 cm	PVC	7.2, 7.3, 7.4	c)	15 %	Menos uso por deterioro fácil en suelos medios. Mucha alteración en terrenos blandos o tixotrópicos. Todos los ensayos en todos.	
	Bipart.-ISSA. GMTE.	71	0	0	24,9	525		a)		PVC	7.2, 7.3, 7.4	a)	60 %		
	Shelby-ISSA. GMTH-67.	66,5	0,3	0	9,85	560		b)	Pres. const.	Acero Bronce Latón	7.4	a) y b)	15 %		
3	Abierto pared gruesa.	95	0	0	27	550	100 % y en ext. 200 %	a)	100 Kg 0,45 m	PVC o metal	Relat. duros y semiduros	Todos	80 %	De pared gruesa se suele utilizar hasta D _s = 85 limitando a 6 mm espesor pared. Poco recomendable. Se pide D _s = 100, pero con frecuencia es inferior (~95). Todos los ensayos en todos.	
	Shelby pared delgada	85	—	—	7,0 %	550	—	b) A veces a) Si duros	Si a) Maza alt. SPT		Blandos o semiduros	Todos	—		
4	Tubo forjado/DyM.	61,29	0	0	81,4 %	600	80°	a)	63,5 Kg 0,75 m	Anillos metálicos	Todo tipo suelos y rocas blandas	Todos	—	Todos ensayos.	
	Tipo U-1.	61,29	0	0	81,4 %	600	Variable entre 75°	a)	63,5 Kg	Anillos metálicos	Idem. con grava	Todos	—		
	Id. tipo U-2.	61,29	0	0	81,4 %	600	30°	a)	63,5 Kg	Anillos metálicos	Idem. Idem	Todos	—		
	Id. tipo U-3.	61,29	0	—0,23	7,3 %	600	45°	g) y b)	0,75 m Idem El de la máquina	Anillos metálicos	Suelos blandos sin grava	Todos	—		
5	Shelby.	—	—	—	—	450		a)	65 Kg 65 cm	PVC o Zn	Arcillos arenosos	a) y b)	50 %	Utilización incrementándose. Todos ensayos.	

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

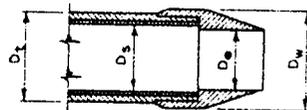
Organ. Empresa	Denominac. y fabricante	D _s (mm)	Coef. entra.	Coef. salida	Relac. áreas	Long. Penet. (mm)	Ang. corte zapata	Sistema hinca	Datos hinca	Camisa	Tipo de suelo (2)	Tipo recon. (3)	Frecuencia	Observaciones	
6	Shelby. No se sabe.	88,5	6,3 %	—	23,3	—	—	a)	65 Kg 50 cm	—	7,1 7,4	a)	100 %	Todos ensayos.	
7	Bipartito pared gruesa. ISSA.	59	0	0	45,0 %	600	60° (?)	a)	63,6 Kg 76,2 cm	PVC	7,1, 7,2, 7,3, 7,4, 7,5, 1., 7,6, 1, 7,9, 1, 7,9, 3, 7,12, 2, 7,12, 3.	a) b) c)	90 %	Todos ensayos (demanda exterior).	
		66,3	0	0	14,6 %	600	60° (?)	a)	63,6 Kg 76,2 cm	Acero	7,1, 7,2, 7,3, 7,4, 7,5, 1, 7,6, 1, 7,9, 1, 7,12, 2, 7,12, 3	a) b)	50 %	Todos ensayos (demanda exterior).	
		46,5	0	0	20,3 %	600	60° (?)	a)	63,6 Kg 76,2 cm	Cinc	7,7	a) b) c)	90 %	Clasificación, humedad. Peso específico nat. (dem. exterior).	
		—	—	—	10,0 %	500	—	b)	—	—	—	—	a) y b)	—	Ensayos a) b) c) d), dificultad de hinca.
8	De pared delgada (Shelby). De pared gruesa ISSA, GMTH De pared gruesa ISSA, GMPV Standard 2" ISSA.	—	—	—	25,0 %	500	—	a)	Variable	Cinc	Cuando es posible su hinca Cuando no se pueda hincar el de pared delg.	a) y b)	—	a) y b), a) b) c), a veces d).	
		—	—	—	25,0 %	500	—	a)	Variable	PVC	Cualquiera	a) y b)	Norm.	—	
		—	—	—	—	—	—	a)	63,5 Kg 76,2 cm	Cinc	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	a)	—	—	—	—	—	—	—
9	Seccionado con tubo de plástico ISSA, GMPV Shelby. ISSA-GMTM Bipartido americano.	71	0	0	43,3	525 (?)	—	a)	63,6 Kg 76,2 cm	PVC	Arcillosos limosos	a) y b)	90 %	Todo tipo de ensayos.	
		58,8	0	0	54,13	525 (?)	—	a)	—	PVC	Arcillosos limosos	a) y b)	6 %	Menos utilización debido a menor Ø.	
		67,5	—	—	10,6 %	600	—	b)	A presión	Acero	Suelos blandos	a) y b)	2 %	Sólo en suelos blandos recuperación de muestras difícil.	
		34,9	—	—	—	—	—	—	63,6 Kg 76,2 cm	Cinc	Todos	a) y b)	—	Todos los ensayos, excepto mecánicos.	
10	Bipartido ISSA, GMTE "96,4". Id. "86,4". Pared delgada GMTE ISSA (89). Idem. (77). Bipartido SPT 2"	97	13	—	38,8	665 (2)	—	a) y b)	63,5 Kg 75 cm	Cinc	Arcillas y arcillas arenosas con dist. grados consolidac.	a)	50 %	Ensayos mecánicos e identificación.	
		71	16,7	—	54	665 (?) (525)	—	a) y b)	A presión con hidrosonda	Cinc	Suelos blandos arcillosos y arenas arc.	a)	10 %	Identificación y mecánicos.	
		88,5	2,56	—	9	560	—	b)	A presión	Cinc (?)	—	—	—	—	
		76,5	0,65	—	8,5 y	560	—	—	63,5 Kg 75 cm	Cinc	Arenas sueltas y aren. arc.	a)	40 %	Identificación (difícil. en arena bajo N.F.).	

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

11	Tomamuestras propio.	159 135 86 74 56	1,3 % 1,5 % 2,4 % 2,8 % 3,7 %	0 0 0 0 0	31,4 35,8 53,3 63,3 68	600 600 600 600 600	60° 60° 60° 60° 60°	a)	120 Kg 0,4 m	Cinc o PVC	7,1, 7,2, 7,3, 7,8, 7,9, 7,10	a) y b)	31 %	Todo tipo de ensayos en todos.
	Tomamuestras propio.	100 85 80	1,0 % 1,2 % 1,3 %	0 0 0	28,0 % 33,3 % 35,6 %	800 800 600	20° 20° 20°	a)	120 Kg 0,4 m (presión)	Cinc o PVC	7,3, 7,4, 7,5, 7,6, 7,9, 7,10	a) y b) c)	31 %	Tres tipos zapata. Uno normal, suelos coherentes (a perc.). Dos con ciapetas. Suelos incoherentes (a perc.). Tres acop. tubo pared fina. Tipo Shelby. 500 mm a pres. o lig. percus.
12	Tipo Shelby	86 47	—	—	7,1 % 14,1 %	465 400	—	a) o pres.	Ligera perc. gatos mec.	Camisa acero	7,4, 7,5, 7,9,2, 7,9,3	a) b) c)	2-3 %	Clasificación y humedad.
	Standard.	—	—	—	—	—	—	—	65 Kg 0,75	Cinc	7,5, 7,6, 7,7	a) b) c)	34 %	—
13	Tubo abierto 80 cm. SPT. Tipo Shelby.	—	—	—	—	—	—	—	65 Kg 76 cm	—	—	—	—	Se habla de camisas de plástico en tomas muestras de pistón. (?)
	Tom tipo V fab. propia. Tom tip. TW	61 61	0 0	— -0,23	83,0 % 8,0 %	600 750	45° 45°	a) b)	65 Kg 75 cm 65 Kg 75 cm	Anill. de la Tm de 1" de altura y 0,05 espes.	Todos Cohesivos	Todos Todos	95 % 5 %	Cualquier ensayo. Al mismo tomam. se le puede acoplar zapata normal con ciapetas o bien una prolongada de tipo "thin-wall".

- (1) Reconocimientos habituales en obras de edificación y obras públicas de "pequeña-mediana" importancia.
 b) Reconocimientos en obras de "gran importancia".
 c) Circunstancias muy especiales y cuando así se exige por cliente consultor, etc.

- (1) Coeficiente de entrada $C_i = (D_s - D_e)/D_e$.
 Coeficiente de salida $C_o = (D_w - D_l)/D_l$.
 Relación de áreas $C_a = (D_w^2 - D_e^2)/D_e^2$.



- (2) Ver apartado 8.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

de ser criticado por su escasa normalización, no puede compararse en este aspecto con las prácticas extremadamente variables de hincas de tomamuestras.

Los materiales más comúnmente utilizados para el revestimiento de las muestras son el PVC y el cinc, aproximadamente a partes iguales. En relación con el revestimiento de PVC que con el tiempo ha ido ganando popularidad, hemos de señalar las dificultades que existen, en ocasiones, para adaptar tubos comerciales de PVC como camisas de revestimiento especialmente por la imposibilidad de estos materiales para ser «rectificados» a fin de evitar estrechamientos en la pared cilíndrica interior (que debe ser continua) del tomamuestras.

En algunos tipos especiales de tomamuestras la camisa está formada por una serie de anillos de latón de 25 mm de altura, adaptados a la ejecución directa del ensayo edométrico, pero que obligan siempre a la extrusión de la muestra para la realización de otros tipos de ensayo.

De acuerdo con la tabla 7 los tomamuestras de pared gruesa se utilizan en la práctica totalidad de los suelos reconocibles mediante muestreo. Muchas instituciones mencionan explícitamente los suelos blandos y turba. Con ellos se intenta asimismo el muestreo de arenas por encima del nivel freático.

Una gran mayoría de las organizaciones consultadas están dispuestas a utilizar los tomamuestras de pared gruesa en todo tipo de reconocimientos, incluyendo obras de «gran importancia» y circunscritas muy especiales. Algunos reservan para este tipo de reconocimiento tomamuestras que, aun siendo de pared gruesa (espesores mayores de unos seis milímetros), presentan relaciones de áreas reducidas. Es curioso observar cómo para alguna organización lo «normal» es reconocer el suelo mediante tubos testigo y únicamente en casos «muy especiales» están dispuestos a utilizar tomamuestras de tubo abierto. Esta situación claramente anómala es, sin duda, una excepción y quizá puede estar motivada por los tipos y consistencia de los suelos que aparecen en el ámbito de actuación de este organismo.

Por último, cabe señalar que sobre las muestras extraídas con este tipo de tubos se está dispuesto a realizar todo tipo de ensayos. Es obvio que la mayoría de estas muestras, dado, en particular, las relaciones de áreas que poseen los tomamuestras comúnmente utilizados, no entran dentro de la categoría de muestras inalteradas de gran calidad (por ejemplo, las que se denominan tipo I en la Norma NTE-CEG, ver apéndice A) y por consiguiente es muy cuestionable la fiabilidad de los parámetros mecánicos y otros como son el coeficiente de consolidación y la permeabilidad, que se obtengan a partir de estas muestras. Esta situación debe

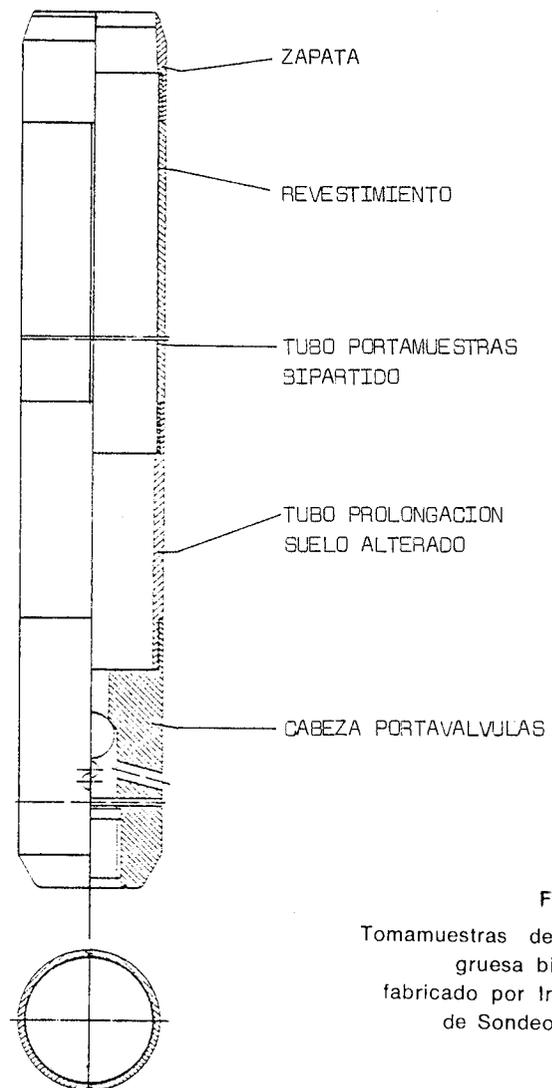


Figura 5.
Tomamuestras de pared gruesa bipartido, fabricado por Industrial de Sondeos, S. A.

considerarse especialmente preocupante dada la altísima frecuencia de utilización de estos tomamuestras. En las figuras 5 y 6 aparecen dos tipos de tomamuestras de pared gruesa usados en nuestro país. El primero (fig. 5) es un tomamuestras bipartido, lo que permite la cómoda extracción de la muestra y el segundo (fig. 6) de ámbito de aplicación más reducido dispone de camisas constituidas por una serie de anillos adaptadas a su utilización directa en el ensayo edométrico. Estos tomamuestras pueden ser dotados de zapatas con clapetas para la retención de muestras poco coherentes y de tubos-prolongación de pared delgada para disminuir la alteración en terrenos lo suficientemente poco consistentes como para permitir la hincas.

Los diámetros interiores utilizados en el *tomamuestras de «pared delgada»* y tubo abierto se indican en forma de histograma de frecuencias en la figura 7. De nuevo, los diámetros utilizados, que en ningún caso superan los 90 mm pueden consi-

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

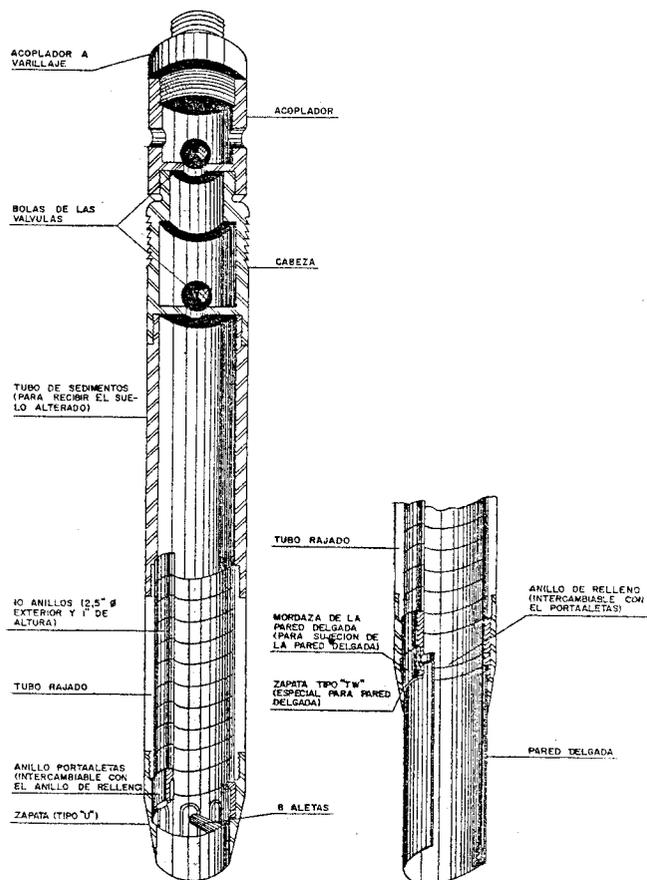


Fig. 6.—Tomamuestras de pared gruesa tipo "U" (Dames y Moore) y prolongación con tubo de pared delgada.

derarse «pequeños» inadecuados para proporcionar muestras, no ya de gran calidad, sino poco aptas para el tallado de un número significativo (3) de muestras para el ensayo triaxial en un mismo nivel. Las relaciones de áreas de estos tomamuestras oscilan entre el 7 y el 13 por 100 con predominio de valores próximos al 10 por 100. Algunos de estos tomamuestras, considerados de pared delgada se escapan, pues, de los límites comúnmente admitidos ($C_a < 100\%$) para la relación de áreas. Los coeficientes de salida de los tomamuestras dotados de prolongación en tubo delgado (figura 6) son negativos, lo que puede originar dificultades en la hincas a menos que se trate de suelos francamente blandos. Tanto los sistemas de hincas a presión como a golpes se utilizan indistintamente en algunos casos sin que pueda decirse que un sistema domine sobre otro. Parece poco lógico, sin embargo, que en algún caso se adopte el sistema de hincas por golpeo como único procedimiento. Las camisas (el propio tubo) son normalmente de acero aunque algún fabricante suministra los tubos en bronce o latón para evitar problemas de corrosión tras un largo almacenaje.

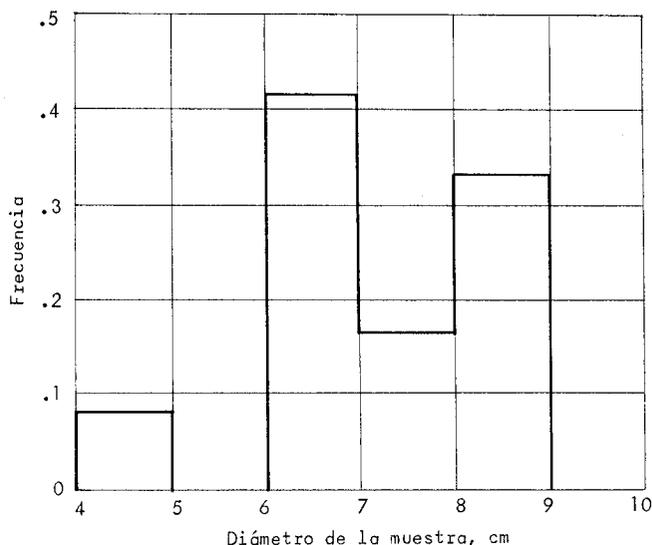


Fig. 7.—Diámetro de muestras extraídas con tomamuestras de pared delgada (tipo Shelby). Histograma de frecuencias.

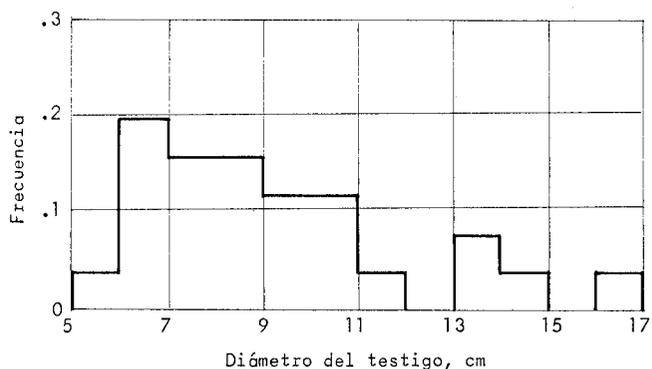


Fig. 8.—Diámetro de testigos obtenidos con batería simple. Histograma de frecuencias.

Tomamuestras de pistón.—Únicamente siete organizaciones (tabla 8) manifiestan disponer de tomamuestras de pistón (cuya frecuencia de utilización es muy baja), que generalmente son hidráulicos o mecánicos pero de pistón fijo. Los diámetros más utilizados son los de 66, 86 y 100 mm y la relación de áreas oscila entre 7 y 15 por 100, pero manteniéndose en las inmediaciones de 10 por 100 en la mayoría de los casos. En general, se hincan mediante movimiento continuo a presión (velocidades de hincas de 15-30 cm/seg. se citan en un caso) aunque también se menciona en otro caso la hincas por golpeo repetido, práctica bastante alejada de las normas habituales de hincas de un tomamuestras de pistón. Se emplea en arcillas blandas y también aparentemente en arenas sueltas y medianamente densas tanto por encima como por debajo del nivel freático. La gran mayoría de los usuarios de este tipo de tomamuestras lo emplean en obras

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 8. — Tomamuestras de pistón (1).

Organis. Empresa	Denominación y fabricante	D _s (mm)	Coef. entr.	Coef. salida	Relac. áreas	Long. pen. (mm)	Ang. corte zapata	Sistema hinca	Datos hinca	Camisa	Tipo de suelo	Tipo de reconocim.	Frec. utiliz.	Observaciones
1	No utiliza.													
2	Pistón fijo (ISSA-GMLF)	66,5	—	—	9,85	518	—	b) Movim. continuo	Presión o velocidad constante	Acero Bronce o Latón	7.4	b)	10 %	Todos los ensayos.
3	Hidráulico (ISSA)	85	—	—	7 %	600	—	b)			Blandos	Especial	—	Todos los ensayos.
4	Pistón (propio).					450		b)	Hidráulica	Metálica	Blandos (mínima alteración)	Especial	—	Todos los ensayos.
5	No utiliza.													
6	No utiliza.													
7	Pistón fijo (ISSA)	66,3	0	0	14,6 %	600	60° (?)	a)	63,6 Kg 76,2 cm	Acero	7.5.2, 7.6.2	c)	2 %	Todos los ensayos dificultades prácticas. Demanda exterior.
8	Pistón fijo (ISHA-GMPF)	—	—	—	10 %	500		b)			Suelos muy blandos	b)		Todos los ensayos.
9	Pistón hidrául. ISSA	99			32,5 %	—	—	b)	Presión por bomba independ.	Acero	Suelos blandos	a) y b)	2 %	Todos los ensayos. Dificultades de manejo. Limitado a suelos blandos.
10	No utiliza.													
11	Normal mecán. hidráulico.	86 86			10 % 7,6 %	500 500		Gatos hidráulicos Bomba de agua	Velocidad 15-30 cm/s $\sigma_{min} = 20 \text{ Kg/cm}^2$ Q = 103 l por seg. Vel. 15-30 cm/seg.	Camisa de acero	7.4, 7.5, 7.9.2, 7.9.3	a) b) c)	23 %	Todos los ensayos.

(1) Ver notas al final de la tabla 7.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 9. — Tubos sacatestigos utilizados en el reconocimiento de suelos.

Organis. Empresa	Denominación y fabricante	Diám. sondeo (mm)	Diám. testigo (mm)	Longit. testigo (m)	Fluido perforado	Formaciones en las que se utiliza (1)	Frecuencia utilización	Tipo de reconocimiento (2)	Ensayos sobre muestra (3)	Observaciones						
1	Doble tipo T/ Craelius ISSA	SG-101	52 a 98	1.500 a 3.000	Agua y lodos	Todas.	50 %	a) Habitual pequeña-med. importancia a) Idem.	a) Clasif.	Ss extrae el testigo y se parafina inmediatamente. Siempre en rocas blandas y suelos duros.						
											Todas.	50 %	a) Clasif.			
														Arcillas y arcillas margosas.	Casos aislados	a) Clasif.
2	Doble/ISSA GMT	85	102	Variable	Agua (a veces con bentonita)	Suelos duros. Tosco y peñuela de Madrid en ocasiones. Idem.	—	a) y b)	Si el terreno "se presenta" todo tipo de ensayos Idem.	Toscos plásticos en carreras cortas salen bien. Sacar en seguida, raspar película reblandecida y parafinar rápidamente. Con diámetros inferiores, que se utilizan a veces, la calidad de los testigos decrece rápidamente.						
											85	Variable	Agua (a veces, pocas, bentonita)	50 % (?)	a) y b)	a) b) c) d)
3	Doble	100	110	Mínimo 300	Agua o bentonita	Arcillosas y arenosas.	90 % (?)	a) b) c)	a) b) c) d)	Demanda exterior.						
											7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	40 % (?)	b) y c)	c) y d)	Demanda exterior y limitaciones.	
4	No posee.	100	85	Variable	Agua (a veces, pocas, bentonita)	Idem.	30 %	d) Junta Energía Nuclear	a)	Demanda exterior y limitaciones.						
											75.8	Batería Wire Line tipo n 9/Long Year Iberica				
5	Shelby (?)	115	110	Mínimo 300	Agua o bentonita	Arcillosas y arenosas.	90 % (?)	a) b) c)	a) b) c) d)	Demanda exterior.						
											7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	40 % (?)	b) y c)	c) y d)	Demanda exterior y limitaciones.	
6	No utiliza	101	84	3.000	Agua	7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	90 % (?)	a) b) c)	a) b) c) d)	Demanda exterior.						
											86	72	3.000	Agua	7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	40 % (?)
7	Doble tipo T/ ISSA	86	73	3.000	Agua	7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	40 % (?)	b) y c)	c) y d)	Demanda exterior y limitaciones.						
											76	63	3.000	Agua	7.1, 7.6.1 7.2, 7.6.2 7.3, 7.7 7.4, 7.8 7.5.1, 7.9.3 7.5.2., 7.9.4, 7.12.1 7.12.2 7.8, 7.9.5 7.9.4, 7.10.1 7.9.5, 7.12.3 7.10.2, 7.13 7.12.1 Del 7.1 al 7.13	40 % (?)
8	Batería Wire Line tipo n 9/Long Year Iberica	75.8	47.6	3.000	Agua	Del 7.1 al 7.13	30 %	d) Junta Energía Nuclear	a)	Demanda exterior y limitaciones.						
											76	53	3.000	Agua	Del 7.1 al 7.13	30 %

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 9.— Tubos sacatestigos utilizados en el reconocimiento de suelos. (Continuación.)

Organismo	Denominación y fabricante	Diám. sondeo (mm)	Diám. testigo (mm)	Longit. testigo (m)	Fluido perforado	Formaciones en las que se utiliza (1)	Frecuencia utilización	Tipo de reconocimiento (2)	Ensayos sobre muestra (3)	Observaciones	
8	(Simple) tipo B ISSA Atlas Copco (Doble) tipo T ISSA Atlas Copco Triple ISSA Atlas Copco	146 a	132 a	3.000	Agua	Arcillosas consistentes. Todo tipo.	50 %	a)	a)		
		176	62	500							
		146 a	117 a	3.000	Agua		45 %	b)			
9	Doble Standard europ. ISSA-GMT. Doble Standard europ. ISSA-GMT. Doble Standard europ. ISSA-GMT. Senc. ISSA-GMT. Senc. ISSA-GMT. Senc. ISSA-GMT. Senc. ISSA-GMT.	116	87	1.500	Agua	Todas.	5 %	c) Circ. espec.	a) b) c) d)		
		101	72	1.500	Agua	Todas.	20 %	a) habituales	a) b) c) d)		
		86	62	1.500	Agua	Roca blanda.	1 %	c) Rec. espec.	a) y d)		
10	Doble (100) ISSA GMG 100. Doble (85) ISSA GMG 85. Sencillo (100) ISSA. Sencillo (85) ISSA	101	72	500	Agua	Todos menos rocas blandas.	10 %	c) Rec. espec.	a) b) c) d)		
		101	87	1.500	Agua	Todos.	60 %	a) Habitual	a) b) c) d)		
		86	72	1.500	Agua	Roca blanda.	4 %	c) Específico	a) y d)		
11	Sencillo (modelo propio). Doble tipo T Craelius. Doble Craelius tipo K 3. Triple Soletanche Pitcher (Mazier).	175	165	500	Agua y/o lodos	7.1, 7.2, 7.3, 7.9.4	20-30 %	a) y b)	a) b) c) d)		
		145	135	1.000	Agua	7.1, 7.2, 7.3, 7.9.4	20 %	a) y b)	a) b) c) d)		
		130	120	1.500	Agua y aire	7.1, 7.2, 7.3, 7.9.4	30 %	a) y b)	a) b) c) d)		
12	No da información	76	66	3.000	Agua y aire	7.1	30 %	a) y b)	a) b) c) d)		
		101	84	1.500	Agua y/o lodos	Cohesivos rocas blandas y duras.	45 %	Cualquier tipo con terreno apropiado	a)		
		86	72	3.000	Agua y/o lodos	Idem.	40 %	Idem.	a) b) c) d)		
12	No da información	131	101	1.500	Lodos	Sedimentarios y friables que requieren barrido con lodos.	5 %	a) b) c)	a) b) c) d)		
		116	86	3.000	Agua y/o lodos	Arcillas, limos, arenas, limo arcilloso, margas y calizas blandas.	10 %	a) b) c) d) Centrales Nucleares	a) b) c) d)	Se obtienen muestras inalteradas por punzonamiento.	
		101	86	1.000							

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

13	Sencilla (función de subcontratista)	90 a 115	60 a 100	Máxima 600	En seco cuando hay prob. de síf. se añade bentonita.	Suelos.	60 %	No dep. del tipo de trabajo sino de las características del terreno	Identificac.
	Doble	90 a 100	60 a 85	Máxima 1.000	agua y muy ocasionalm. bentonita	Arcillas compactas y rocas blandas.	40 %	Idem.	Identificac. y mecán. cuando no se pueden tomar muestras

- (1) Ver apartado 8.
- (3) a) Clasificación.
 b) Humedad.
 c) Peso específico natural.
 d) Mecánicos.
- (2) a) Reconocimientos habituales en obras de edificación y obras públicas de pequeña y mediana importancia.
 b) Reconocimientos en obras de "gran" importancia.
 c) Circunstancias muy especiales y cuando así se exija por el cliente.
 d) Otros (especificar).

de gran importancia o situaciones muy especiales. Uno exclusivamente menciona su utilización en reconocimientos «normales». Nos consta, por otra parte, que en algún caso aún disponiendo de estos tomamuestras nunca han sido utilizados. Cabe indicar, sin embargo, que en alguna ocasión los comentarios sobre este tomamuestras son negativos en el sentido de que su utilización se juzga difícil.

Tubos sacatestigos. — Los tubos sacatestigos se utilizan con frecuencia en el reconocimiento de suelos compactos y consistentes y en una serie de materiales que constituyen la transición suelo-roca y que suelen englobarse con la denominación de roca blanda. Sin entrar en una distinción precisa entre suelo y roca, por lo demás estéril a efectos de muestreo, se pidieron datos que permitieran establecer hasta qué punto y en qué circunstancias se utilizaban los tubos sacatestigos en el reconocimiento de las formaciones antes citadas.

Las respuestas recogidas se han reunido en la tabla 9 y se comentan seguidamente.

Los diámetros de testigo extraídos con tubos sencillos muestran una notable dispersión como se refleja en la figura 8. Este histograma tiende, sin embargo, a destacar los valores extremos, pues algunos organismos mencionaron exclusivamente el rango de diámetros utilizados. Las longitudes de testigo extraídas varían entre 0,5 y 3 m. El fluido de perforación es fundamentalmente agua. Algunas organizaciones utilizan, alternativamente, lodos. En un caso se menciona agua y aire.

La totalidad de suelos de consistencia alta y rocas blandas se reconocen con tubos simples. Algunos reservan para las rocas blandas los diámetros más pequeños. En un número significativo de casos, sin embargo, se emplea el tubo simple en todo tipo de suelos incluidos los blandos y las arenas (?). En suelos compactos y rocas blandas es práctica relativamente habitual parafinar los trozos de testigos más «enteros» después de eliminar una película superficial reblandecida, para su envío al Laboratorio. Más adelante se volverá sobre este procedimiento de extraer muestras en determinadas formaciones. La filosofía de utilización de estos tubos en suelos o rocas blandas varía ampliamente. Tres de los nueve organismos que emplean estos útiles declaran que su empleo se limita únicamente a reconocimientos habituales y obras de edificación y obras públicas de pequeña y mediana importancia. Dos lo extienden a obras de gran importancia y el resto lo utiliza también en circunstancias muy especiales con tal de que el terreno se preste a ello. Esta diferencia de criterios se agudiza al examinar el tipo de ensayos que se está dispuesto a realizar sobre los testigos extraídos. Aproximadamente la mitad de los encuestados sólo está dispuesto a realizar ensayos de identificación

sobre los testigos extraídos. Aún concediendo que los testigos pueden variar considerablemente en cuanto a su calidad esta caótica situación debe encontrar una respuesta que fije criterios apoyados en una amplia labor comparativa experimental hoy por hoy inexistente. Más adelante, dentro del tema de investigación, se vuelve sobre este aspecto.

Los tubos dobles se utilizan con una frecuencia muy similar a la de los tubos sencillos (55 por 100 los tubos sencillos y 45 por 100 los tubos dobles con una utilización marginal de los triples), pero sus diámetros (de testigo) son sensiblemente inferiores como queda indicado en la figura 9. La media de esta distribución (73,9 mm) es inferior en casi 20 mm a la media de los diámetros de testigo obtenidos con tubo sencillo (91,6 mm). Prácticamente las mismas formaciones que se mencionan como reconocibles con tubo sencillo se reconocen asimismo con tubo doble sin que puedan observarse tendencias. En un caso se menciona la utilización de lodos en conexión con tubos dobles para el reconocimiento de formaciones erosionables. De nuevo, la filosofía de utilización del tubo doble en el reconocimiento de suelos es muy variable y oscila entre los mismos límites que los señalados para el tubo sencillo. En cuanto a los tipos de ensayos a realizar sobre los testigos extraídos, existe aquí una amplia mayoría que está dispuesta a realizar todo tipo de ensayos aunque los hay que excluyen todo ensayo que no sea de simple identificación. Parece, pues, existir un consenso en que la calidad de la muestra obtenida en formaciones «tipo suelo» es mayor en tubo doble que en tubo sencillo. En nuestra opinión esta apreciación no está quizá muy justificada. Por una parte, los diámetros de testigo extraídos con tubo doble son realmente pequeños, lo que conduce a muestras de dudosa calidad. Por otra parte, los suelos (compactos) pero heterogéneos con presencia de nódulos, gravillas o gravas, etc., tan abundantes en amplias zonas de nuestro país son con frecuencia triturados con los tubos dobles mientras que la utilización de tubos sencillos en seco y en carreras cortas (< 0,5 m) permite la obtención de testigos.

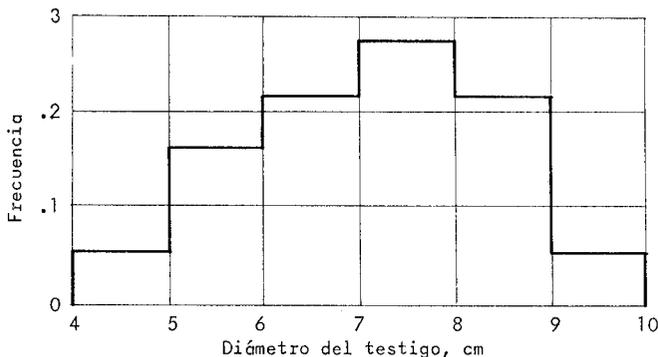


Fig. 9.—Diámetro del testigo obtenido con batería doble. Histograma de frecuencias.

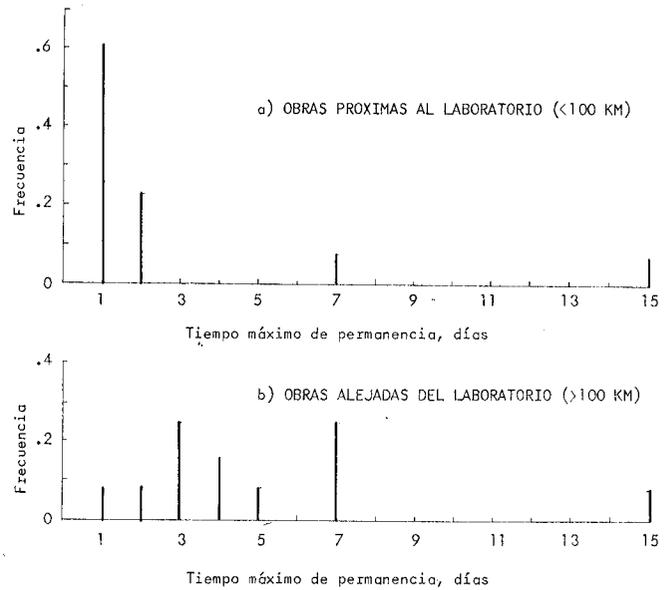


Fig. 10.—Tiempos máximos de permanencia en obra. Histograma de frecuencias.

Únicamente tres de las organizaciones consultadas disponen o han utilizado tubos triples en el reconocimiento de suelos. Por consiguiente, es muy escasa la representatividad (estadística) de cualquier conclusión que se pretenda extraer. Los diámetros de testigo utilizados oscilan entre 67 y 77 mm (pequeños si se buscan muestras realmente inalteradas) y con ellos se reconocen arcillas, arcillas margosas, arcillas limosas, arenas limoarcillosas, margas y calizas blandas. Dentro de las organizaciones que los poseen su frecuencia de utilización no es despreciable (15-10 por 100). Estos tubos se utilizan normalmente en circunstancias muy especiales aunque también se mencionan en un caso reconocimientos más comunes. De nuevo existe una fuerte discrepancia por lo que ese refiere a los tipos de ensayo a someter a la muestra extraída. Debe, sin embargo, aclararse que uno de los tipos de tubo triple empleado en una de las organizaciones consultadas, es de tipo «Pitcher», caracterizado por un tubo interior (tomamuestras propiamente dicho) que sobresale por fuera del nivel de la corona de la batería y se hinca a presión en el terreno. Las muestras así obtenidas son consideradas verdaderamente inalteradas a juzgar por los ensayos que sobre ellas se ejecutan.

Registro de los datos de hinca y su utilización.
La mayoría de organismos consultados registran las tandas de golpes necesarios para la hinca de 15 a 20 cm de tomamuestra en el terreno (tabla 10) y lo utilizan fundamentalmente como una estimación cualitativa de la consistencia o densidad relativa del terreno. Se han buscado asimismo correlaciones entre estos valores y los obtenidos en el

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 10. — Registro de los datos de hincas y su utilización.

Organis. Empresa	Tipo de tomamuest.	Registro	Utilización
1	—	No se registran.	No se tiene en cuenta.
2	De hincas por golpeo repetido	Golpes cada 15 cm. Si se necesitan más de 50 golpes para 15 cm o menos se indica rechazo y se da por terminada.	Existen correlaciones de golpes/30 cm centrales de muestra (60 cm hincas total) con SPT. Correlación que varía con el terreno y se deduce de proyectos similares. Aproximación grosera: $50 \text{ a } 70 \% \times N_{\text{hincas}} = N_{\text{SPT}}$ (Utilizan maza 50 Kg desde 75 cm). Los datos de penetración de tomamuestras se emplean entre otros para previsión de hincas de pilotes y tablestacas.
3		Golpes cada 20 cm. Presiones en manómetro.	Como valor relativo.
4		Golpes cada 15 cm. Presiones en manómetro.	En terrenos granulares correlación con el SPT. En cohesivos no se suele hacer utilización práctica a no ser una somera estimación de la resistencia al corte no drenada (maza 63,5 Kg desde 0,75 m).
5		Cada 15 cm (marcas en varilla a ras del suelo). Se dan por separado los conjuntos de hincas hasta la longitud total hincada (tres intervalos). Presión en el manómetro.	Se suelen contrastar con los del SPT en el mismo nivel y con los de la penetración dinámica si se lleva a cabo.
6		Golpes cada 15 cm.	Para conocer la carga que se puede aplicar en kilogramos por centímetro cuadrado (?).
7		Presiones en manómetro (sondeos o rotación).	Para conocer el rendimiento del sondeo.
8		Golpes de penetración. Registro presión.	Como un dato más de consistencia o capacidad.
9		Conteo de número de golpes de forma similar a la práctica del SPT cuando se trata de tomamuestras de tubo partido. Registro de presión (Shelby).	Se contrastan con el SPT más próximo realizado.
10		Conteo de golpes/15 cm. Tres intervalos.	— Como índice de calidad de la muestra obtenida. — Como dato cualitativo de la capacidad del terreno. — Para correlación aprox. con otros valores: SPT, etc.
11	De hincas De pistón mecánico. De pistón	Golpes/20 cm. Tres intervalos. Presión para conseguir velocidad de hincas entre 15 y 20 cm/seg. Presión (mínima 20 Kg/cm ²).	— Para conseguir la compacidad del terreno. — Para servir de ayuda para elegir las muestras que conviene someter a ensayos de Laboratorio. — Los hincas centrales son con reservas, comparables a los valores del SPT (120 Kg, 0,40 m).
12		Golpes/15 cm.	En forma cualit. para obtener inform. de carac. terreno.
13		Golpes/15 cm cuatro valores hasta alcanzar longitud de 60 cm.	En suelos granulares correlación con D _r . En cohesivos un simple valor orientativo.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

tomamuestras estándar (SPT). En dos casos se sugieren las siguientes relaciones (con muchas reservas):

$$N_{\text{SPT}} \approx 0,50 \text{ a } 0,70 N_{\text{Muestra}}$$

(Maza de 50 Kg desde 75cm)

$$N_{\text{SPT}} \approx N_{\text{Muestra}}$$

20 cm centrales

(Maza de 120 Kg desde 40 cm)

Conocida la gran variación existente entre los procedimientos de hinca de los tomamuestras es lógico considerar estas relaciones con una gran reserva. Es, sin duda, práctica más concreta tratar de llegar a correlaciones locales preferentemente dentro de una misma obra reconocida tanto mediante sondeos y toma de muestras inalteradas como por la realización de ensayos de penetración que en un número apreciable de casos se localicen en la inmediata proximidad de los puntos de extracción de muestras. Como se cita en una ocasión, un aspecto interesante de estos registros de hinca es la posibilidad que ofrecen de elegir con algún criterio las muestras que vayan a ser sometidas a ensayo en el Laboratorio.

4. TOMA DE MUESTRAS EN BLOQUE

Las motivaciones para la toma de muestras en bloque están claras en la tabla 11. Teniendo en cuenta la facilidad y rapidez con que en la actualidad es posible realizar calicatas de cuatro a seis metros de profundidad en gran número de terrenos, incluso en los poco coherentes por encima del nivel freático, y la calidad y volumen de las muestras bloque obtenidas quizá sea este un procedimiento que deba formar parte, con más frecuencia, de los reconocimientos geotécnicos.

En cuanto al procedimiento de extracción, los consultados se definieron así:

- Cinco siguen la norma oficial NLT-203 (*).
- Cinco siguen normas de «buena práctica», no necesariamente la norma oficial para la extracción de un bloque aproximadamente cúbico entre 18 y 30 cm de lado.
- Dos hincan en el terreno un tubo a presión de pared delgada, retirando posteriormente

(*) En esta Norma se contempla la extracción de muestras cúbicas (20 a 30 cm de lado) o cilíndricas (13 cm \varnothing y 13 cm de altura). Las primeras se tallan a partir de una zanja perimetral, se protegen con capas alternadas de parafina y venda (hasta 3 mm de espesor) y se introducen con el correspondiente material amortiguador en un cajón donde quepa la muestra holgadamente. Las muestras cilíndricas se obtienen a partir de la hinca en el terreno de un tubo con las dimensiones indicadas y bordes cortantes retirando para evitar rozamientos el terreno del exterior. Conseguida la hinca total se parafinan los extremos.

el terreno a su alrededor. (La calidad de las muestras así obtenidas se aproximará a las extraídas con tomamuestras de pared delgada en un sondeo.)

- Uno con otros procedimientos (sonda helicoidal) (¿muestra alterada?).

5. MANIPULACION DE LAS MUESTRAS EXTRAIDAS

Tal y como indica la tabla 12, el sellado de muestras en obra se hace en general de forma satisfactoria. Entre los procedimientos descritos son quizá los que utilizan tapas de goma o plástico en los extremos de la muestra con posterior parafinado los más satisfactorios, sobre todo si las muestras han de permanecer tiempos considerables (varios meses) en almacenamiento en la cámara húmeda. En efecto, Hvorslev (1949) pone de manifiesto que las muestras selladas exclusivamente con parafina pueden, en el transcurso de un tiempo prolongado de almacenamiento, experimentar alteraciones en el contenido de agua debido a la aparición de grietas y orificios en la parafina. Por otra parte, la parafina, en el curso de su solidificación, experimenta contracciones que pueden conducir a la existencia de grietas desde el primer momento. A este respecto la utilización de vendaje es una precaución mínima. La práctica de prescindir de parafinado y recurrir a dos protecciones sucesivas mediante bolsas y/o tubos de plástico puede ser adecuada si se consigue un sellado perfecto de las mismas.

La figura 10 recoge los histogramas de frecuencia del máximo número de días de permanencia en obra de las muestras cuando aquella se encuentra próxima (< 100 Km) o alejada (> 100 Km) del Laboratorio. Con un buen sellado de muestras estos tiempos son sin duda aceptables. Cabe citar que la práctica de no enviar las muestras al Laboratorio hasta completar una caja con un número de muestras dado (10 a 20) es utilizada por unos y criticada por otros como origen de retrasos en la disponibilidad de las muestras en el Laboratorio. De hecho esta práctica específica es la que utiliza la organización que tarda quince días de enviar las muestras al Laboratorio.

En cuanto al transporte de las muestras al Laboratorio destaca el gran cuidado ejercido por algunas organizaciones (con cajas y material de amortiguamiento estandarizado) en contraste con una cierta improvisación que denotan algunas prácticas (hierba, paja, etc., como material de amortiguamiento y el transporte de muestras sueltas) que aunque no necesariamente conducen a resultados peores, sí pueden contener un mayor riesgo de alteración en la media. En el transporte a largas distancias destaca por su frecuencia la utilización del

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 11.—Toma de muestras en bloque.

Organ. Empres.	Obra o circunstancia en que se extraen	Procedimientos de extracción. Dimensiones. ¿Norma?
1	En ocasiones, cuando se efectúan calicatas.	Calicatas mediante cámara sonda helicoidal. Excepcionalmente a mano. Identificación sobre muestras extraídas con la sonda helicoidal.
2	Siempre que es posible. Especialmente si el terreno que condiciona comportamiento geotécnico es accesible mediante calicata. También en terrenos tixotrópicos para evitar influencia de la toma (margas azules de Sevilla).	Normas Laboratorio Transporte Bloques de 30 × 30 × 30 con capas alternativas de venda y parafina.
3	Siempre que el nivel pueda ser representativo. Principalmente en obras de carreteras y urbanizaciones.	Normas NLT.
4	Imprescindible en obras de movimiento de tierras en las que hay que realizar ensayos Proctor. Como complemento a una campaña de sondeos. Cuando sustrato rocoso accesible.	Hincando a presión zapata tipo "thin wall" (para Proctor bolsa de 50 Kg).
5	Cuando se desea más información "de visu". Para disponer de muestra suficiente para ensayos.	A piquete cúbicos entre 18 × 18 × 18 y 30 × 30 × 30. No se sigue ninguna norma espec. para su extracción.
6	Solamente cuando son necesarias características superficiales. Cimentaciones de escasa importancia o reconocimiento de préstamos o graveras en aluviales de poco espesor.	No se sigue norma concreta. Se toma el volumen necesario para efectuar los ensayos que se hayan determinado.
7	"Cuando no sean muy profundos".	NLT 203/72.
8	En estudio de firmes. Cuando se conocen las capas profundas.	Bloques 30 × 30 × 30. Picos, palas y sierras.
9	Cuando se han de realizar ensayos triaxiales o de corte directo.	En un talud de la excavación se extrae muestra de 0,50 × 0,40 × 0,30 m. Se recubre con algodón y se parafina para el transporte.
10	En cortes de terreno ya excavados o realizados "ex profeso" que dejen a la vista un horizonte estratigráfico que interesa investigar.	Manualmente dimensiones de 20 a 30 cm de lado. NLT 203/64.
11	Fondo de calicatas o zanjas. Cuando se requieren ensayos de alta fiabilidad. En terrenos en los que ya se posee una determinada información.	A mano según normas buena práctica 20 × 20 × 20 ó 30 × 30 × 30. No se siguen normas oficiales.
12	Para estudio de taludes o de edificaciones de pequeña significación (una-dos plantas).	Norma NLT 203.
13	Siempre que es necesario conocer las características del terreno en su parte superior.	Se hinca en posición vertical un tubo de pared delgada (60,96 \varnothing interior) retirando posteriormente el terreno de alrededor.

ferrocarril en régimen de equipaje. Al tiempo de permanencia en obra hay que añadir seguramente dos-tres días en transporte, lo que arroja en la media una semana de intervalo entre el momento de extracción y de llegada al Laboratorio de las muestras.

El procedimiento de extracción de muestras en

Laboratorio con sus ventajas e inconvenientes se refleja en la tabla 13. Las muestras contenidas en camisas de cinc, seccionadas a lo largo de una generatriz, no ofrecen problemas para su extracción: se abre la camisa. Se señala en algún caso (3) la falta de estanqueidad de este corte, lo que puede conducir a alteraciones del grado de humedad.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 12. — Sellado, tiempo en obra y transporte de muestras.

Organis. Empresa	Sellado de muestras	Tiempo en obra		Transporte	
		a) Próximos al Laborat.	b) Alejados 100 Km	a) Próximos al Laboratorio	b) Alejados del Laboratorio
1	Tapa de goma, parafinado y precintado con cinta adhesiva.	Se envían el mismo día de la extracción 24 h.	2-3 días	Vehículo todo terreno.	Vehículos todo terreno.
2	Tapón de plástico y parafinado.	Mismo día máx. 2 d. (En obra se guardan en lugares sombreados y ligeramente húmedos)	2-3 días	En cajas embaladas con viruta o similar que amortigüe el golpe.	Mismo sistema + ferrocarril.
3	Varias capas de venda de malla abierta y parafina alternadas.	Normalmente 48 h. Se solicita envío rápido. Surge problema cuando se extraen pocas, pues no se hace el envío hasta rellenar la caja con siete u ocho.	Dos días	Se coloca hierba, paja o porexpan entre las muestras, se meten en un cajón y se envían en un vehículo.	Idem + envío en el transporte público más rápido.
4	Muestra en anillos metálicos se introduce en bolsa de plástico y posteriormente en un tubo de plástico endurecido que se cierra con dos tapas plásticas. Si tomamuestras de pistón se parafinan extremos o se introduce la muestra con extractor en anillos metálicos. Idem anterior.	Al terminar la jornada diaria 24 h.	En general, diariamente salvo urgencia, se envían al completar caja con diez muestras.	Los botes con muestra se dejan en caja metálica que se llevan al Laboratorio por supervisor del sondeo.	Ferrocarril (régimen equipaje).
5	Vendaje y parafinado.	15 días	15 días	Siempre automóvil o camión.	Siempre automóvil o camión.
		Se envían remesas al Laboratorio a medida que se dispone un número mínimo de ellas (15 ó 20), pero nunca están en obra > 15 d. Además del sellado se mantienen bajo techo.			
6	Sellado con parafina.	Semanalmente como máximo	Semanalmente	En cajas apropiadas y cualquier tipo de automóvil.	En embalaje protegidos y por ferrocarril (Reg. de Equip.).
7	Parafinado y vendas.	Diariamente	Semanalmente	En embalajes por vehículo de la obra o el Laboratorio.	En embalajes por ferrocarril (régimen de equipaje y a veces por transportes terrestres).
8	Tres capas de venda y parafina en los bloques. Tapones y parafina en las cilíndricas.	Medio día	Variable	Embalaje en cajón con paja coche propio.	

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

Organis. Empresa	Sellado de muestras	Tiempo en obra		Transporte	
		a) Próximos al Laborat.	b) Alejados 100 Km	a) Próximos al Laboratorio	b) Alejados del Laboratorio
9	Si contenidas en tubos de PVC, se ponen tapas de goma y se llenan con cinta adhesiva.	Un día	Cinco días	Cajas de 1 × 0,5 × 0,6 con vehículo todo terreno.	En cajas de 1 × 0,5 × 0,6 en vehículo todo terreno.
10	Cinta adhesiva en la generatriz abierta del estuche de cinc y parafinado posterior de dicha cinta y de los extremos del cilindro.	Un día	Tres días	Por carretera con protección contra vibraciones con elementos amortiguadores como esteras o sacos.	Por carreteras con protección contra vibraciones con elementos amortiguadores como esteras o sacos
11	Cerrar estuches con cinta aislante y parafinar el conjunto exteriormente.	Un día	3 a 4 días	Por carretera en vehículos ligeros propios. Las muestras van sueltas.	Embalajes de madera con materiales de amortiguación. 70 % por ferrocarril (régimen de equipaje). 30 % Agencia de Transp.
12	Parafinado.	1-2 días	2-4 días	Vehículo particular.	Ferrocarril (Reg. de Equip.) o Agencia de Transportes.
13	Tanto tubo pared delgada como tubo conjunto de anillos se introducen en bote de plástico y a su vez en otro con dos tapas que se sellan con cinta adhesiva.	Cada día	Una semana	Los botes con las muestras se colocan en cajas metálicas de 10 unidades, aisladas entre sí y de la caja con goma espuma gruesa. Transporte en vehículo del técnico que supervise el sondeo. Eventualmente en tren (paquete exprés).	Los botes con las muestras se colocan en cajas metálicas de 10 unid., aisladas entre sí y de la caja con goma espuma gruesa. Transporte en vehículo del técnico que supervise el sondeo. Eventualmente en tren (paquete exprés).

Se habla también (10) de efectos de cizalladura de la muestra contenida en camisas de este tipo, a lo largo de la generatriz.

Si las muestras están contenidas en camisas «continuas» (tubo de PVC generalmente y con menos de frecuencia de cinc) los procedimientos son muy variables. Se utiliza extractor en un número apreciable de casos (2, 3, 5, 7, 8, 9, 12), en otros (7, 11) se sierra la camisa a lo largo de una generatriz y en otros, por fin, se corta la muestra en secciones (3).

Con frecuencia se señala la perturbación (algunos la asocian exclusivamente a los bordes) que sufre la muestra y la gran resistencia que ofrecen muestras «duras» a ser extraídas mediante pistón. Puede, en ocasiones, ser necesario recurrir a la rotura o corte del tubo. Más adelante se vuelve sobre este tema de la alteración de muestras al ser extraídas mediante extractor. Por otra parte, la apertura de camisas a lo largo de la generatriz conduce a veces a la rotura de la muestra (se pega a las paredes) (11).

Otro tipo de tomamuestras (los integrados por

anillos) no necesitan la extracción para determinados ensayos (edómetros, corte). Esta modalidad evita la manipulación de las muestras siempre que se disponga de aparatos de ensayo adecuados a las dimensiones de los anillos. A la vista de este panorama se aprecia la necesidad de definir el procedimiento más conveniente entre varias alternativas para extraer muestras en Laboratorio. Estos criterios deberán tener, sin duda, en cuenta el tipo de suelo.

La cámara húmeda con temperaturas próximas a 20° y humedades cercanas a saturación es utilizada preferentemente para almacenar las muestras (generalmente en posición horizontal) en Laboratorio (tabla 14). En otros casos (4, 11) se mantienen en estanterías a humedad y temperatura ambiente (confiando en la estanqueidad conseguida) (*). Aun-

(*) A este respecto debe advertirse que según el estudio de eficiencia de varios métodos de sellado de muestras llevado a cabo por Hvorslev (1949) (tabla 13 de esta referencia) un tubo sellado con parafina por ambos extremos y almacenado en estanterías a humedad y temperatura ambiente puede experimentar pérdidas significativas de humedad a partir de los cuatro meses de almacenamiento.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 13.— *Extracción de muestras en el Laboratorio.*

Orga Empr	Tipo de tomamuestras	Procedimientos	Ventajas e inconvenientes
1	Tipo seccionado. Tipo bipartido. Tipo bipartido con zapata cortante. Tipo Shelby.	Desenroscar cabezas tubo y zapata. Abrir. Desenroscar cabeza y zapata. Empujar la muestra.	El más cómodo. Puede alterar apreciablem. la muestra.
2	Shelby, bipartido y seccionado. Muestra en camisa de cinc. A rotación parafinada.	Gato hidráulico. Se quita parafina y se abren las camisas de cinc. Se cortan las vendas y parafinas con cuchillos.	Rapidez. Perturbación de borde en la muestra. La muestra se altera poco. Lento.
3	Abierto con camisa partida. Con camisa sin partir. Shelby.	Se sierra en secciones o se usa un extractor. Con extractor. A veces son difíciles de sacar. Hay que sellar lo que resulta caro.	Fácil de abrir. Estanquidad de la junta longitudinal suele ser mala. El serrado y extracción son molestos y perturbadores. La estanquidad buena. El serrado y extracción son molestos y perturbadores. La estanquidad buena.
4	Tubo abierto con anillos.	Con extractor manual (si ensayo edométrico o corte directo no es necesaria extracción).	
5	Testigo parafinado inalterado en tubo de PVC.	Rotura de vendajes. Extrusión mecánica.	Perturbación en bordes.
6	Shelby.	Mediante pistón.	Se origina una cierta alteración.
7	Bipartido de pared gruesa con tubo de plástico. Fijo (pistón). Shelby. SPT. Batería tipo B y T.	Con extractor y serrando el plástico. Extractor. Extractor. Separando el envase. Quitando el parafinado.	
8	Todos (?).	Presión estática continua.	
9	Seccionado con tubo de plástico. Shelby.	Extractor mecánico (pistón con extracción horizontal).	Ventajas: Casi todos. Inconvenientes: En muestras duras es difícil la extracción debido al rozamiento. La resistencia es muy alta, por lo que hay que sacarla a veces en condiciones poco favorables.
10	Bipartido.	Apertura por la generatriz de la camisa de cinc.	Algunas muestras aparecen cizalladas a lo largo de una generatriz.
11	General. Shelby o pistón. Triple tubo (funda de latón o plástico).	Abriendo estuche por una generatriz. Extractor de pistón. Cortando el conjunto en rodajas de las que se extrae el trozo de muestra a ensayar.	Se ve la muestra, lo que permite elegir las zonas más idóneas para ensayos. A veces la muestra está pegada al estuche. La muestra se comprime siempre. A veces hay que abrir el estuche con torno o fresa. En general, da los mejores resultados aunque tiene el inconveniente de no ver la muestra "a priori".
12	Todos (?).	Extractor hidráulico.	
13	Tomamuestra propio (tubo abierto de anillos o pared delgada).	Si pared delgada extractor para introducción en anillos. Si anillos se ensayan directamente.	No existe manipulación directa de las muestras en esta fase.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 14. — Almacenamiento y distribución de ensayos en muestras (Laboratorio).

Organs. Empresa	ALMACENAMIENTO				Práctica habitual de distribución de ensayos a lo largo de la muestra
	Lugar	Posición	Humedad	Temperat.	
1	Cámara húmeda (C. H.)	Horizontal	—	—	Parte "mejor conservada" para realizar con ella los ensayos mecánicos (compresión simple, triaxial, directo, edométrico).
2	C. H.	Horizontal	95 %	20-22°	(Semisaturados se almacenan en seco si interesa mantener el grado de humedad).
3	C. H.	Horizontal Vertical	—	Ambiente	Se evita utilización de parte superior que pueda quedar alterada.
4	Cajas de cartón y estanterías	Misma posición terreno	Ambiental	Ambiental	(Se comienza inmediatamente el programa de ensayos. Se almacenan aquellas sobre las que no se realizan ensayos). Triaxial y C. S. requieren la totalidad de la muestra. Edómetro y humedad: anillo central. Para identificar totalidad de la muestra.
5	C. H.	Horizontal o conservando posición en terreno	—	—	—
6	C. H.	Horizontal	Próxima a saturación	20°	Tercio central: mecánicos. El resto identificación.
7	C. H.	—	95 %	20 ± 1°	Tercio central: triaxial... (mecánicos). El resto identificación. Humedad: depende estado muestra (si hay duda, tercio central).
8	C. H.	—	—	—	Variable.
9	C. H.	Horizontal	98 %	20 ± 4°	Parte menos alterada para ensayos mecánicos. En ellos también identificación y químicos.
10	C. H.	Horizontal	95 %	20 ± 1°	Si compacidad baja o media se suelen desprestigiar partes superior e inferior. Ensayos mecánicos en parte central. Identificados en parte superior o inferior o bien central tras la realización de ensayo mecánico. También en función del estado general de la muestra, de sus dimensiones, naturaleza del terreno y tipo de ensayo mecánico.
11	C. H.	Horizontal	95 %	A 21 %	La más sana para ensayos mecánicos. Humedad y densidades de varias zonas coincidiendo con posición de ensayos mecánicos.
12	C. H.	Horizontal	—	—	Muestra extraída a presión mediante gato hidráulico. Se quitan varios centímetros del extremo. En el resto mecánicos e identificación.
13	Cajas cartón (10 U.) en estant.	Vertical	Ambiente	Ambiente	Triaxial y C. S.: Casi toda la muestra extraída mediante émbolo. Edómetro: directamente anillo. Idem identificación. Humedad y densidad, con otro anillo. Resto granulométrico y límites.

que se trate de un pequeño detalle es de gran importancia que se utilicen para marcar e identificar las muestras procedimientos que eviten el deterioro de marcas y rótulos como ocurre con desgraciada frecuencia.

Poco se comenta específicamente sobre el suelo no saturado. En una ocasión (2) el suelo no saturado se almacena «en seco» (que se interpreta como a humedad y temperatura ambiente) si interesa mantener el grado de humedad. Esta práctica

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

no parece muy recomendable. El hecho de que la presión de vapor de equilibrio del agua varía poco con la succión significa que un suelo no saturado estará «dispuesto» a perder agua incluso en ambientes no muy alejados de saturación.

Los criterios para repartir los ensayos a lo largo de la muestra (tabla 14) varían entre elegir la parte más sana o mejor conservada para ensayos mecánicos o bien efectuar estos sistemáticamente sobre el tercio central dejando en ambos casos toda la muestra para ensayos de identificación básica. El primer criterio puede indudablemente conducir a un cierto error sistemático en función de la opinión y concepto que el operador tenga de lo «más sano», lo «mejor conservado» o lo «menos alterado». Parece más probable que se tienda a elegir la porción de muestra «más trabajable» o que, en definitiva, ofrezca menos dificultades para su tallado y posterior ensayo.

6. CONTROL

El control de la ejecución de los sondeos en obra se lleva a cabo con criterios que varían ampliamente de una organización a otra. Es cierto, tal y como indica la tabla 15 y la figura 11 —confeccionada a partir de ella— que muy pocas confían exclusivamente en la formación adecuada del sondista. Sin embargo, la permanencia continuada de técnicos de grado superior o medio, las visitas regulares de los técnicos responsables del trabajo y las instrucciones precisas comunicadas al sondista son criterios que se utilizan todos con cierta frecuencia. Destaca como criterio preponderante las visitas regulares de técnicos encargados seguido de la presencia continuada de estos técnicos, especialmente si se trata de trabajos de gran volumen o importancia. En ocasiones, las organizaciones que ejercen un mayor control utilizan estos dos criterios conjuntamente. Con frecuencia, también se confía la presencia continua a un técnico especializado que no necesariamente ha de tener una titulación superior o media. La titulación, sin embargo, de acuerdo con las respuestas, es un requisito que se tiene en cuenta. Aunque es indudable que una titulación universitaria no implica necesariamente un conocimiento de las prácticas adecuadas de reconocimiento sí es cierto en general que el informe, proyecto o estudio posterior está en manos de técnicos superiores o medios. Es precisamente esta faceta la que puede dar a estos individuos en un momento determinado, unos elementos de juicio que se escapan a las normas básicas o convencionales, no necesariamente en contradicción con ellas, que en algún caso puede ser esencial. Por último, y en relación con este aspecto del control, cabe mencionar que alguna organización considera injustificada la presencia continuada de técnicos superiores o medios al pie del sondeo en

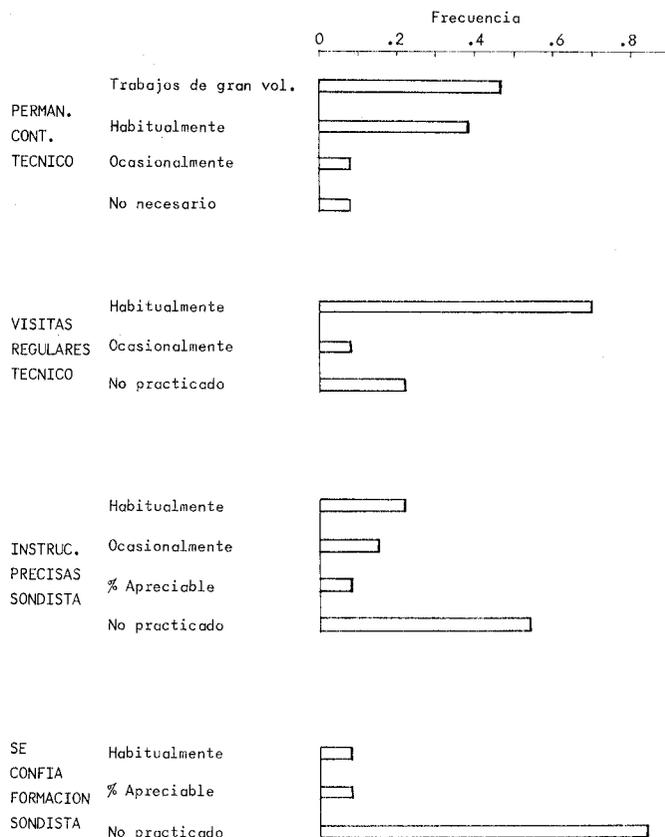


Fig. 11.—Control de sondeos a pie de obra.

cualquier ocasión. Creemos que esta opinión se aleja considerablemente de los criterios y tendencias que en esta faceta importante del control se utilizan en muchos países en la actualidad.

Con relación a la comprobación del grado de alteración experimentado por la muestra desde su extracción en el sondeo, cabe indicar (tabla 16) que en la mayoría de los casos o no se comprueba o se recurre simplemente a una inspección visual con objeto de estimar la alteración con criterios poco claros. Esta inspección la realiza a veces el ingeniero o técnico encargado de analizar posteriormente los resultados de los ensayos y el reconocimiento en definitiva. En algunos casos se señalan algunas pruebas «objetivas» de tipo mecánico como pueden ser la utilización del vane y penetrómetro (de Laboratorio) al extraer la muestra en el campo y posteriormente en Laboratorio, comprobación que lógicamente se refiere a los extremos exclusivamente y que lógicamente tiene un valor muy relativo. Otros procedimientos mencionados son quizá de menor utilidad.

Sorprende quizá un poco esta ausencia generalizada de control ante la relativa facilidad y poco coste con que determinadas pruebas pueden llevarse a cabo. En efecto, cabe medir la longitud de

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 15. — Control sobre el terreno.

Organis. Empresa	Permanencia continua Técnico Superior o Medio	Visitas regulares	Instruccio- nes preci- sas a sondistas	Se confía en formac. sondista	C o m e n t a r i o s
1	No se considera justificada la permanencia continuada de un técnico titulado a pie de sonda salvo casos muy excepcionales.	X	X		Se dan siempre instrucciones precisas por escrito al sondista, acompañadas de explicación verbal. Los técnicos responsables siguen la evolución de los trabajos mediante visitas diarias (lugares próximos) o telefónicamente (distantes) (acompañada de visita semanal).
2	(4) Conjuntamente (4)				Un técnico de grado medio (experiencia mínima, tres años) permanece de forma continuada a pie de máquina. Ingeniero superior realiza visitas regulares (una por semana como mínimo).
3	(4) Conjuntamente (4)				El técnico que permanece en obra está bien adiestrado, pero no necesariamente con titulación media o superior.
4	(4)				En ciertas ocasiones el técnico de grado superior y medio es suplido por un "técnico de campo". Este posee un conocimiento amplio y experimentado de las técnicas de sondeos y de los diferentes tipos de suelos y sus clasificaciones. En oficina es un técnico en el Laboratorio de suelos.
5	(4)				El sondeo es una investigación cara, pero de tal importancia que justifica la presencia continuada de un técnico superior al pie de los mismos.
6	(1)	(4)	(4)		
7	(1) y (5)	(2)	(4) y (5)	(4)	
8	A veces (2)	(4)	—	—	—
9	(1)	(4)	(2)	—	—
10	(1)	(4)	(2)	—	La forma habitual es una combinación de los casos a) y b), salvo que la permanencia continuada en obra corresponde a un técnico auxiliar (ayudante de obra) y las visitas regulares a técnicos superiores y medios.
11	(1) y (5)	(4)	(3)	(3)	
12	(1) y (5)	(4)	—	—	
13					

(1) Trabajos de gran volumen y especialmente importantes.

(2) Ocasionalmente.

(3) Porcentaje apreciable de casos.

(4) De forma habitual.

(5) Si así se pide por cliente o propiedad.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 16. — *Comprobación del grado de alteración de las muestras.*

Organie. Empresa	Procedimiento de comprobación	Estudio específico realizado
1	Observación visual (sistemáticamente).	No
2	Se observan las muestras en Laboratorio. Se indica si se observa alguna alteración, si hay fisuras o roturas por planos de estratificación. En casos excepcionales se ejerce algún control mediante el grado de saturación y con ensayos para determinar el grado de susceptibilidad y comparación con ensayos vane "in situ". (En ensayos mecánicos se indica sistemáticamente la forma de rotura, lo que permite en ciertos casos concluir si la rotura ha sido ocasionada por alguna alteración de la muestra.)	La experiencia acumulada ha llevado a adoptar pocos tomamuestras distintos y una praxis de trabajo para cada tipo determinado de suelo.
3	No. Si el operario observa algo anormal al abrir la muestra se lo comunica al técnico encargado. (Con frecuencia el ingeniero encargado del trabajo o informe examina todas las muestras y juzga sobre la calidad y confiabilidad de las mismas.)	Sí, en alguna ocasión (ver apartado 7. Investigación).
4	No	No
5	No	No
6	Se realiza comprobación visual.	No
7	Sí, al preparar las muestras para la realización de ensayos en las secciones correspondientes. Algunas veces se observan por Rayos X.	—
8	—	—
9	Son seleccionadas después de extraídas en el Laboratorio aquellas que presentan mejores condiciones para ser ensayadas. No se suele realizar ninguna comprobación.	No
10	Se examina la muestra antes de ensayarla y se deduce su grado de alteración teniendo en cuenta su estado y el proceso seguido para su extracción (golpes de hinca, compacidad del terreno, etc.).	No
11	Sí, en suelos cohesivos se efectúan ensayos con el penetrómetro de bolsillo Soiltest, en obra al extraer la muestra y en el Laboratorio al abrirla.	A veces se han utilizado diversos tomamuestras en un mismo terreno, pero no se ha realizado un estudio representativo.
12	Al abrir la muestra se analiza siempre su grado de alteración.	—
13	La apertura de muestras la realiza el ingeniero encargado del trabajo junto con el ingeniero de campo que registró el sondeo. Ambos observan su estado.	No

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 17. — Normativa y control sobre aparatos tomamuestras.

Organis. Empresa	Normativa (?)	Líneas maestras normativa	Control de aparatos tomamuestras. Criterios de reposición y vida media
1	Util disponer de orientaciones o recomendaciones. Inadecuado una normativa estricta.	—	Inspección y cambio de equipos cuando se aprecian defectos o desgaste
2	Sí	<ul style="list-style-type: none"> — Todos los trabajos controlados o dirigidos por técnicos especializados. — Debe permanecer a pie de máquina de forma constante (o días por semana como mínimo si condición económica) un técnico de grado medio con experiencia. Su labor: controlar longitudes, toma de muestras, tratamiento de éstas, realizar un registro "in situ" inmediatamente después de sacado el testigo. — En sondeos: Exigir extracción de testigo continuo y diámetros mínimos de 86 mm para sondeos de hasta 30 m. — Debe existir una tendencia a ejecutar sondeos a rotación con tubo doble en suelos y rocas blandas. 	Se realizan controles geométricos y mecánicos someros que permiten observar si el tomamuestras se encuentra en buenas condiciones (abolladuras, bordes mellados, etcétera). (Sin un riguroso control es fácil concluir si el tomamuestras se encuentra en buenas condiciones.)
3	Sí, pero amplio y flexible. Más que normativa serían preferibles recomendaciones o si acaso fijar obligatoriamente un mínimo de condiciones.		
4			Se reponen las piezas del equipo de muestreo cuando se aprecia deterioro (holgura de roscas, pérdida del filo de la zapata, deformaciones, etc.). Las vidas medias de las diferentes partes son distintas. Las zapatas son los elementos de menor vida. Los equipos de "tubo rajado" duran, en la media de uno a dos años. La vida media del tomamuestras de pistón es bastante mayor.
5	Condiciones básicas y generales, sí.	<p>Según obra a ejecutar:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Un mínimo de investigaciones, bien sondeos, calicatas o penetraciones dinámicas por unidad de superficie. Se fijará según magnitud del proyecto. — Profundidad mín. de investigación. — Núm. mín. de muestras inalteradas. — Número mínimo ensayos SPT. — Ensayos de placa de carga (optat.). — Especificaciones sobre núm. y tipo de ensayos de Laboratorio fijando unos con prioridad. 	Corresponde a la casa de sondeos contratada.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 17.— *Normativa y control sobre aparatos tomamuestras. (Continuación.)*

Organis. Empresa	Normativa (?)	Líneas maestras normativa	Control de aparatos tomamuestras. Criterios de reposición y vida media
6	Sí. En edificación su estable cimiento es sencillo y sin problemas especiales. En obras públicas el problema es distinto, dada la gran variabilidad de las condiciones del terreno.	Debido a gran variabilidad de las condiciones del terreno la normativa puede optar por ser excesivamente prolija o muy general y flexible para que el proyectista pueda adaptarla a casos concretos. La normativa no debe establecerse únicamente en función del tipo de obra a realizar, sino considerar los problemas específicos puestos de manifiesto por un estudio geológico detallado (que ha de ser previo). La normativa debe regular una serie de supuestos teóricos derivados de tal estudio.	La realización de sondeos y toma de muestras se subcontrata.
7	Sí	Las del Ministerio de la Vivienda NTE, CEG (diciembre de 1975).	Maquinaria: Se reponen o arreglan las partes afectadas. Ocho a diez años de vida media. Sacatestigos-tomamuestras de hinca se reponen partes afectadas. Ocho a diez años de vida media. — Tubos sacatestigos, se reponen completos. Un sondeo de vida media generalmente.
8	—	—	Alteración de sus dimensiones.
9	Se estima muy conveniente.	— Tipo de sondeos a realizar y núm. aproximado en función de la obra. — Otros reconocimientos complementarios y número aproximado. — Criterios de profundidad de dichos sondeos. — Criterios en la toma de muestras y espaciamiento entre las mismas. — Otros ensayos "in situ".	Cuando se pierden algunas de las propiedades que caracterizan al tomamuestras (bisel, zapata, etc.).
10	Sí, por las grandes ventajas que aportaría a la hora de establecer comparaciones entre resultados de diferentes trabajos y la posibilidad de tener datos estadísticos homogéneos.	Sistematización de los métodos de reconocimiento teniendo en cuenta el nivel o alcance del estudio y los distintos tipos de suelos.	Criterio propio del técnico encargado del control de los trabajos a la vista del estado del material.
11	Sería conveniente.	Recomendaciones prácticas para aprovechar al máximo las posibilidades de las diversas técnicas y aumentar la calidad evitando que los sondeos se conviertan en simples agujeros. Destacar campos de aplicación y limitaciones de cada técnica.	Tolerancias en las características geométricas de los aparatos.
12	—	—	El equipo propiamente dicho tiene una duración elevada (incluso de años) siendo únicamente necesario reponer frecuentemente (uno a dos años) las zapatas del tomamuestras.
13	Es difícil recoger en una normativa todos los aspectos relativos a un estudio geotécnico y cualquier norma que pretenda aplicarse a todos los casos resultará forzosamente conservadora como lo es la NTE-CEG, del Ministerio de la Vivienda.	—	En el equipo tomamuestras sólo se desgastan las zapatas y los anillos interiores. Las zapatas se mellan por golpeo y se van reafilando según se considere necesario hasta que pierden su conicidad y se desechan. Los anillos se desechan cuando se abollan o se ovalan.

hinca y compararla con la longitud real de muestra (la fiabilidad de esta comparación a efectos de alterabilidad es, sin embargo, escasa, pero en algunos suelos puede dar indicaciones valiosas) los cambios de contenido de agua, volumen y ensayos mecánicos (simples) a pie de obra y el Laboratorio y la inspección detallada en Laboratorio de la «macrofábrica» de la muestra a partir de secciones en las que se haga visible (mediante secado parcial por ejemplo) la estratificación fina y su correspondiente distorsión, que pueden ser fotografiadas. Esta última técnica, ya recomendada por Hvorslev (1949), es, por otra parte, muy útil para conocer otros aspectos del comportamiento del terreno y ha sido llevada en la práctica extensamente (Rowe, año 1972) mediante el empleo (relativamente barato) de la macrofotografía. En todo caso, las comprobaciones mencionadas requieren un mínimo equipo en obra que en muchas ocasiones puede estar justificado.

Muy pocas investigaciones sobre la alteración de muestras han sido aparentemente llevadas a cabo en nuestro país. Nos remitimos en este punto al apartado sobre investigación.

Existía un cierto interés en conocer si se consideraba necesario llegar a definir una normativa para el reconocimiento geotécnico en general y a qué puntos debía prestar especial atención. La tabla 17 reúne las respuestas recibidas. Prácticamente la totalidad de encuestados se inclina por la necesidad de que exista una normativa. Pero muchos señalan que ha de ser amplia y flexible y que debe huir de una especificación sistemática de todos los casos posibles. Se matiza por algunos que en edificación sería posible (aunque se acusa de conservadora la normativa actual NTE-CEG) mientras que en obras públicas el problema es quizá más complejo. Sin embargo, debería quizá apreciarse que en la obra civil y dado el volumen y la íntima relación de muchas de estas obras con el terreno, en general bien entendida por los técnicos que las proyectan y construyen, se dispone de una oportunidad mejor para llevar a cabo un reconocimiento y una toma de muestras de gran calidad y precisión. En todo caso, los aspectos señalados como necesarios en la normativa, se resumen en los siguientes puntos:

1. Los de control de los trabajos de campo y de permanencia en obra de técnicos especializados. Definir sus funciones.

2. Sistematización y estandarización de los métodos de reconocimiento, tipo de maquinaria y equipo, y procedimientos de extracción de muestras y testigos.

3. En función del tipo de obra señalar mínimos en cuanto a número y tipo de puntos de reconocimiento, profundidad, diámetro de sondeos y muestras, frecuencia y número de extracción de mues-

tras y número y tipo de otros ensayos de reconocimiento (geofísica, ensayos «in situ»).

4. Introducir condicionamientos basados no únicamente en la importancia de la obra, sino en el tipo de terreno esperado, en función de un reconocimiento geológico previo (y, cabría añadir, en función de una cartografía geotécnica si se dispone de ella).

5. Destacar los campos de aplicación y limitaciones de cada técnica.

Por último (tabla 17) el control de los aparatos tomamuestras no se realiza generalmente de forma sistemática y periódica. Se confía en una inspección visual en busca de deterioros visibles. Para tomamuestras de tubo partido y zapatas se citan medias mínimas de uno a dos años, aunque otras organizaciones hablan de períodos de renovación mucho mayores (ocho a diez años). Se afirma en una ocasión y esta parece ser la filosofía que acompaña a la mayoría de respuestas, que para concluir si un tomamuestras se encuentra en buenas condiciones no hace falta un riguroso control.

7. INVESTIGACION

Los aspectos que a juicio de los consultados se deben mejorar o investigar aparecen en la tabla 18. Resumiendo y sintetizando las respuestas dadas, se considera deseable investigar sobre los puntos siguientes:

1. Toma de muestras en suelos granulares, especialmente si son sueltos y por debajo del nivel freático.

2. Toma de muestras en terrenos intermedios entre suelo y roca (margas, terrenos arcillo-arenosos duros, rocas meteorizadas, facies flysh...).

3. Alteración inducida por el muestreo.

4. Desarrollo de maquinaria y equipo versátil y universal para el reconocimiento de cualquier tipo de formación. En el momento presente, información (y difusión) sobre la maquinaria, aparatos y métodos más adecuados a cada formación.

5. Toma de muestras en terrenos blandos y orgánicos.

6. Extracción de muestras en el Laboratorio.

7. Alternativas a la hinca por percusión.

8. Correlación entre datos de hinca de tomamuestras y características mecánicas del terreno.

9. Limpieza (métodos) del sondeo con anterioridad a la toma de muestras inalteradas.

10. Automatización y sistematización de los mecanismos de hinca de tomamuestras.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 18.— *Investigación en toma de muestras.*

Empresa Organism.	Aspectos a mejorar o investigar	Investigación llevada a cabo
1	La toma de muestras en suelos granulares, sobre todo en arenas.	No
2	— La toma de muestras inalteradas en suelos arenosos. — Las correlaciones entre los golpes obtenidos en la hinca de tomamuestras y las características mecánicas de los distintos materiales.	—
3	Las mayores dificultades surgen en los terrenos intermedios entre suelo y roca como, por ejemplo, el flysch con capas duras y blandas, algunos tipos de margas, rocas meteorizadas, etc. Es cierto que existen ciertos tipos de tomamuestras como el Pitcher, el tubo triple, etc., pero no hay experiencia sobre su uso en España.	— Escario, V. (1968): "Muestras inalteradas". Boletín del LTMS, núm. 66, págs. 64-91. — Uriel, S., y Oteo, C. S. (1976): "Propiedades geotécnicas de las margas azules de Sevilla". Simposio Nacional sobre Rocas Blandas. Madrid. — Uriel, S., y Oteo, C. S. (1979): "Measurements in an experimental tunnel bored in the Sevilla blue marls and recommendations for the subway design". IV Congreso Internacional de Mecánica de Rocas de Montreux (Suiza).
4	—	—
5	La toma de muestras inalteradas, la limpieza de los sondeos, antes de extraer dichas muestras y la orientación de los testigos.	No
6	Buscar procedimientos que impidan las alteraciones de las muestras inalteradas de forma que se consigan los resultados más fidedignos en el ensayo.	No
7	Deben mejorarse las tomas de muestras de arcillas blandas y terrenos orgánicos que normalmente vienen en diversas condiciones de alteración, se producen resultados dispersos.	—
8	A perfeccionar los ensayos "in situ".	—
9	En el campo: evitar en lo posible la toma de muestras a percusión. En el Laboratorio: la extracción de las mismas.	Se confeccionó aparato para la toma de 12 muestras para ensayo triaxial a la misma profundidad. No puede usarse a grandes profundidades y ha de utilizarse en excavaciones existentes o hechas al efecto.
10	Automatización y sistematización de mecanismos de hinca. Toma de muestras en terrenos areno-arcilloso duros. Toma de muestras en terrenos sueltos baja N.F.	—
11	No existe una máquina versátil y universal para reconocer cualquier tipo de terreno. La maquinaria y los aparatos se aplican a cada caso particular basándose en la experiencia propia, pero falta recopilación de información al respecto.	Sí, sobre aspectos muy particulares relacionados con casos difíciles. No han sido publicados.
12	—	—
13	No es posible abandonar a la experiencia del sondista el registro de los sondeos y la decisión de cómo y cuándo deben tomarse muestras. Tampoco pueden darse normas concretas sobre este aspecto. Debe ser responsabilidad del técnico a pie de máquina la toma de muestras, que irá espaciando en función de las características de las capas de terreno atravesadas.	No

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

Probablemente, y teniendo en cuenta la situación actual de la toma de muestras en España, son los cuatro primeros puntos señalados anteriormente los que necesitan una atención preponderante. La investigación llevada a cabo es prácticamente inexistente sobre técnicas de muestreo. Se ha realizado, sin embargo, alguna investigación aplicada sobre la alteración inducida por la toma de muestras (referencias indicadas en la tabla 18). Por otra parte, y en conexión con determinados estudios de reconocimiento del terreno, en el Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona se han llevado a cabo un cierto número de ensayos destinados a conocer la alteración que, en módulos de deformación, se produce como consecuencia del muestreo utilizando técnicas alternativas. Los resultados sobresalientes de todos estos trabajos se indican a continuación.

En un estudio sobre las propiedades geotécnicas de las margas azules de Sevilla, Uriel y Oteo (años 1976, 1979) comparan (fig. 12) la resistencia a la compresión simple la obtenida en probetas (37,5 mm \varnothing) talladas a partir de muestras en bloque, muestras cilíndricas y tubo sacatestigas triple tipo Mazier (cuyo diámetro no se indica). Las denominadas «margas azules», según estos autores,

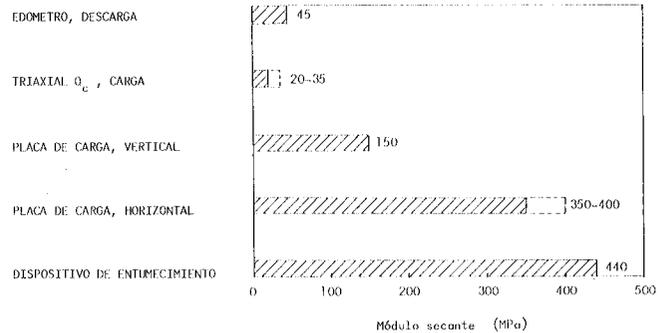


Fig. 13.—Módulos de deformación medidos en las margas azules de Sevilla (Jiménez Salas, 1977).

pueden definirse como arcillas margosas gris azuladas, fisuradas horizontalmente con delgadas interestratificaciones limo-arenosas, igualmente horizontales. Son de origen mioceno (depósitos marinos), su clasificación según Casagrande CL o CH, el contenido en carbonatos oscila entre un 20 y un 30 por 100, su índice de poros e_0 entre 0,6 y 0,8 y se encuentran saturadas con humedades próximas al límite plástico. No se indica su grado de sobreconsolidación. De la comparación de resistencias a compresión simple en función de la profundidad parece deducirse que las muestras bloque proporcionan la mejor calidad, mientras que las obtenidas con el tubo Mazier, quizá debido a un posible reblandecimiento del terreno como consecuencia de la inyección de agua, consiguen resistencias a compresión más bajas. Por su parte, Jiménez Salas (año 1977) (fig. 13) compara los módulos de deformación obtenidos en ensayos de consolidación, triaxiales CU, placas de carga en sentido vertical y horizontal y un dispositivo de entumecimiento capaz de medir la deformación vertical de las margas a medida que se descargaban por excavación. Los ensayos de Laboratorio conducen a módulos aproximadamente un orden de magnitud menores que los ensayos «in situ».

En el curso de los trabajos de reconocimiento de los terrenos de emplazamiento de las futuras Facultades de Ciencias Geológicas y Físicas de la Universidad Central de Barcelona se efectuaron estudios comparados de la deformabilidad de un estrato superficial de la típica «arcilla roja» barcelonesa. Esta formación cuaternaria antigua, depositada en medio árido, puede definirse como una arcilla limosa rojiza con numerosos nódulos de carbonato (\varnothing 1 a 4 cm) y alguna grava pizarrea en ocasiones. Su clasificación, según Casagrande, es CL, su índice de poros e_0 oscila entre 0,5 y 0,6. Se trata de un suelo no saturado ($S_r = 0,5$ a 0,8) con humedad próxima, pero normalmente por debajo del límite plástico y fuertemente sobreconsolidada por desecación. La presencia de nódulos y, en ocasiones, una auténtica estructura carbonatada, hace

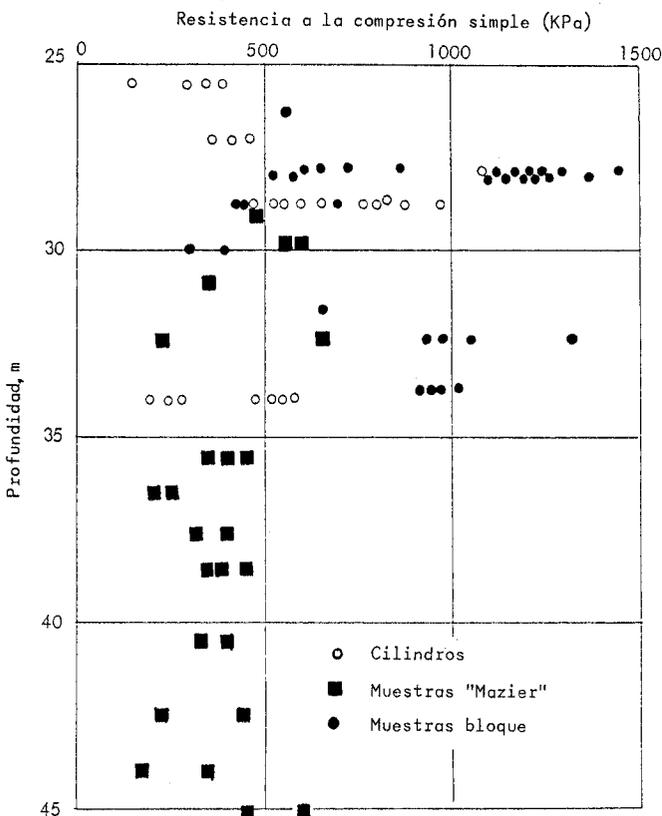


Fig. 12.—Variación de la resistencia a la compresión simple con la profundidad. Margas azules de Sevilla. (Uriel y Oteo, 1979).

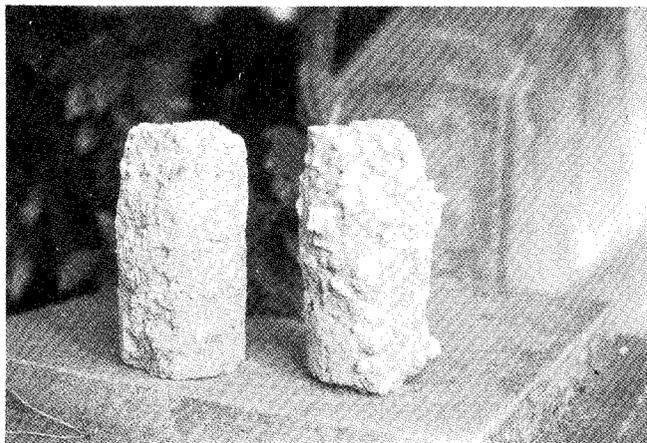


Fig. 14.—Muestras de arcilla roja carbonatada de Barcelona.

que sea extremadamente difícil tallar probetas en este suelo (fig. 14). En este terreno se extrajeron testigos mediante baterías simples (\varnothing int.: 170 y 100 mm) y carreras relativamente cortas (500 milímetros) con ausencia total de agua de inyección (testigo parafinado), mediante tubo partido abierto de pared gruesa (\varnothing int. = 58 mm), hincado a presión; mediante tomamuestras mecánicos de pistón (\varnothing int. = 76,5 mm y 100 mm), y, por último, tres muestras en bloque. Se realizaron asimismo ensayos de placa de carga circular ($\varnothing = 30$ cm, $\varnothing = 70$ cm). En las figuras 15 y 16 se comparan los módulos de deformación obtenidos en ensayos triaxiales por tensión controlada (siguiendo un camino de tensiones análogo al de un punto del terreno en el eje d e la placa de 70 cm de diámetro y a 1,5 radios de profundidad cuando la placa alcanza una tensión supuesta uniforme, de dos kilogramos por centímetro cuadrado) y los calculados por teoría elástica, a partir de ambas placas de carga tomando la deformación existente a los diez minutos. Estos ensayos triaxiales se realizaron siempre sobre probetas de 50 mm de diámetro y sin permitir cambios de humedad. Se ha representado también el módulo obtenido a partir de la curva virgen para el rango apropiado de tensiones, de un ensayo edométrico ($\varnothing = 70$ mm) sobre la muestra obtenida con tubo simple ($\varnothing = 100$ mm). Se indican los valores «instantáneos» (lecturas a los diez segundos) y «diferidos» (diez minutos) (cese aparente de la deformación). Es bien visible la gran diferencia entre los resultados del Laboratorio y los obtenidos a partir de la placa de carga. De nuevo, y a «grosso modo», puede hablarse de diferencias de un orden de magnitud sin que quepa «clasificar» los procedimientos de muestreo (es, sin embargo, muy escaso el número de muestras ensayadas), sobre todo a la vista de la figura 14, donde se han representado los módulos obtenidos en una rama de descarga-carga vertical efectuada cuando se alcanzó el nivel de tensión mencionado

anteriormente. Independientemente de que las «tendencias» en ambas figuras no coinciden, la rama de recarga conduce a módulos mucho más comparables entre Laboratorio y ensayos «in situ». En la media, la rama de recarga de los ensayos triaxiales de Laboratorio conduce a módulos de aproximadamente la mitad de los obtenidos en la placa de carga.

Puede observarse que en estas figuras no aparecen las muestras obtenidas con tomamuestras de pistón. La figura 17 da una explicación. Se trata de la fotografía de una muestra inmediatamente después de extraída del tubo mediante un extractor hidráulico. Las fuertes tensiones inducidas en el curso de la extracción en este suelo consistente se relajaban a medida que la muestra dejaba el tubo, conduciendo a una nueva estructura «lamina-da» del terreno con abundantes planos de discontinuidad horizontal. Este es quizá un caso extremo

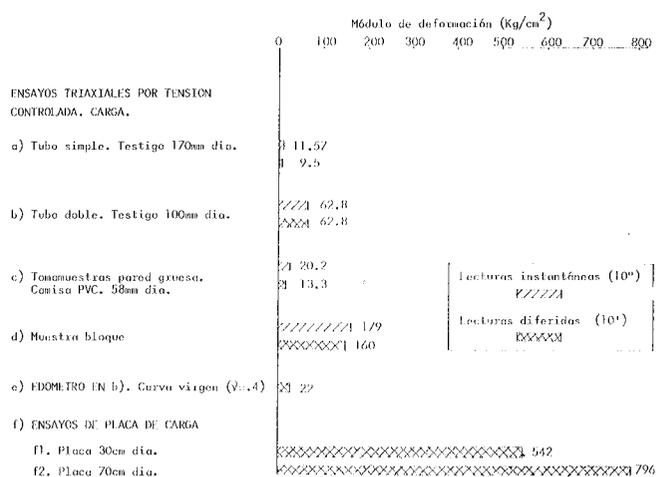


Fig. 15.—Módulos de deformación medidos en arcillas rojas de Barcelona. Curvas de carga.

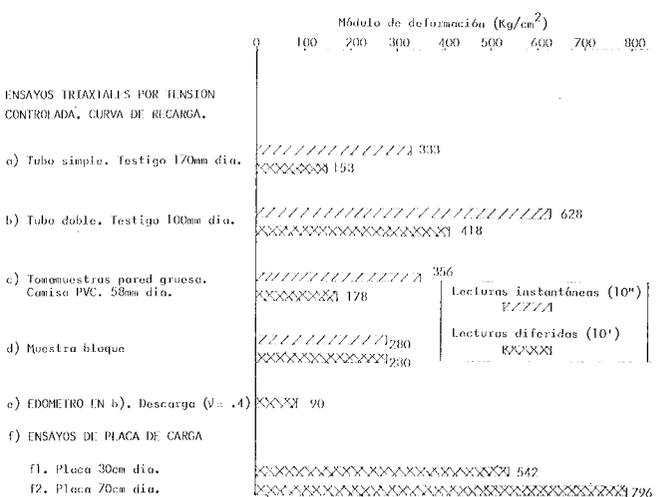


Fig. 16.—Módulos de deformación medidos en arcillas rojas de Barcelona. Curvas de recarga.

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

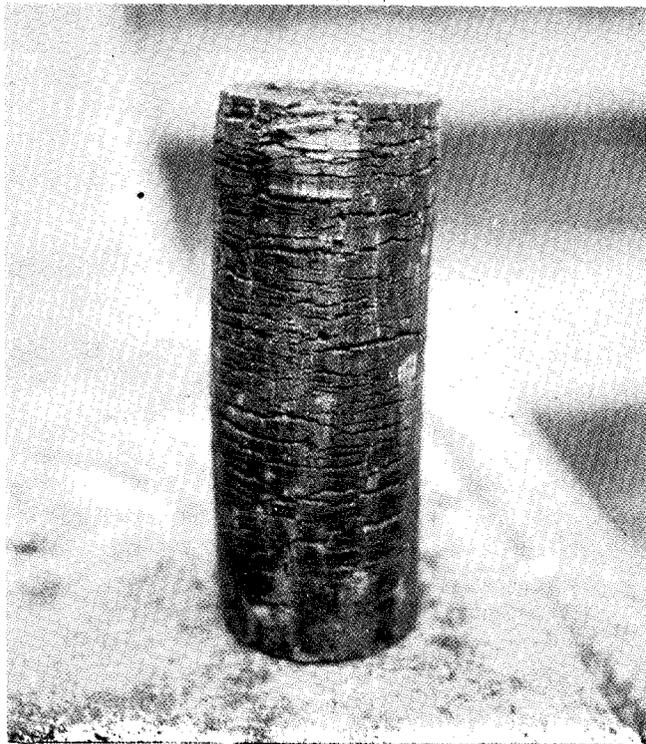


Fig. 17.—Aspecto de una muestra de arcilla roja de Barcelona inmediatamente después de extraída de un tomamuestras de pistón.

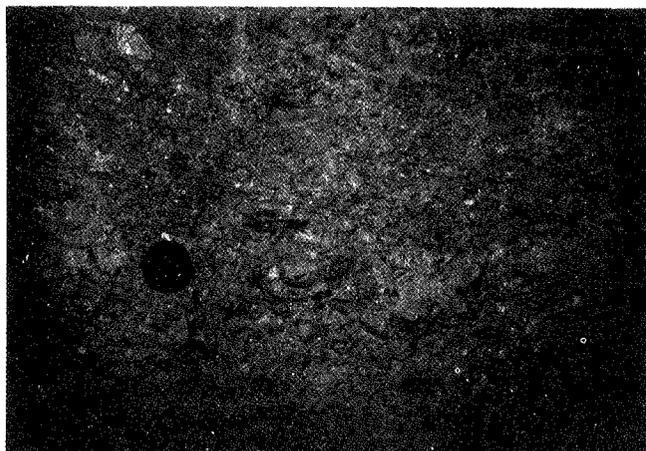


Fig. 18.—Detalle de los aglomerados arcillosos de gravas de pizarra en la base de las arcillas rojas y limos del llano de Barcelona.

del grado de alteración que puede inducir un extractor de pistón pero corrobora las reticencias que sobre este procedimiento de extracción se reflejan en la tabla 13.

Otro material típico del llano de Barcelona son los aglomerados de gravas de pizarra (y cuarzo) en una matriz arcillosa rojiza. Estos depósitos de pie-

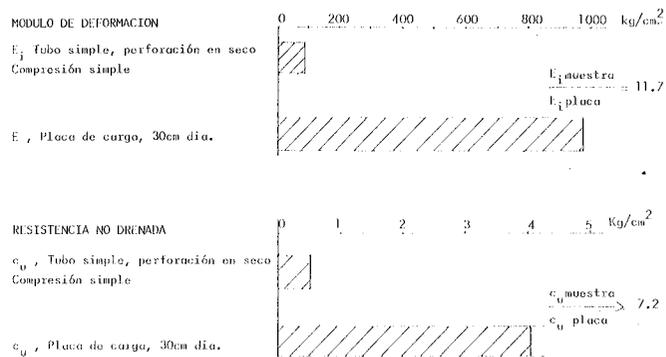


Fig. 19.—Módulos y resistencias no medidas en aglomerados arcillosos de Barcelona.

demonte, correspondientes al cuaternario antiguo están generalmente en la base de las capas de arcillas rojas carbonatadas (mencionada anteriormente) y limos amarillentos de origen eólico que constituyen la mayor parte de los terrenos de cimentación del llano. En la figura 18 puede verse una fotografía de este material detrítico, que ofrece extraordinarias dificultades para su muestreo. Con el fin de reconocer el subsuelo de un inmueble con cuatro sótanos se perforaron tres sondeos y en ellos se intentó tomar muestras mediante tubos sacatestigos doble y triple y la hinca de tubos de pared gruesa. Únicamente fue posible obtener testigos de mediana calidad con tubos simples y perforando en seco en carreras cortas. Sobre testigos así extraídos ($\varnothing = 90$ mm) y sin tallado alguno (la abundancia de gravas lo impedía) se llevaron a cabo ensayos de compresión simple, que se comparan (figura 19) en cuanto al módulo inicial obtenido y la resistencia a la compresión, con los resultados de un ensayo de placa de carga que fue posible llevar a cabo en este terreno. De nuevo los ensayos de Laboratorio infraestiman tanto módulos como resistencias no drenadas en un orden de magnitud aproximadamente si se comparan con los parámetros deducidos de la placa de carga ($\varnothing = 30$ cm). Esta inadecuación de los ensayos de Laboratorio sobre muestras de terrenos consistentes que presentan dificultades de muestreo, para reproducir el comportamiento real del terreno, es verdaderamente preocupante. Se necesita, sin duda, un esfuerzo investigador en este aspecto.

Suelen olvidarse con frecuencia los temas relacionados con la fiabilidad estadística de los parámetros del terreno obtenidos como consecuencia del reconocimiento. Parece lógico, sin embargo, que una eventual norma general sobre el reconocimiento geotécnico del terreno debe contener recomendaciones en cuanto al número mínimo de ensayos necesarios para conocer con suficiente aproximación un determinado parámetro de una determinada formación. Junto a recomendaciones sobre el espaciamiento de la toma de muestras y del porcen-

TOMA DE MUESTRAS EN SONDEOS GEOTECNICOS EN ESPAÑA

TABLA 19.—Variables óptimas de diseño. Edificio sobre cimentación profunda.

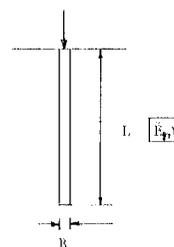
C A S O	N. óptimo	Parámetro de diseño A (*)		Daño esperado adimensional en el óptimo (**)
		Estimación inicial	Óptimo	
a) Buen conocimiento previo. Suelo bastante heterogéneo	4	1	2,25	0
b) Buen conocimiento previo. Suelo bastante homogéneo	6 - 8	1	2	5×10^{-5} a 1×10^{-3}
c) Mal conocimiento previo. Suelo bastante homogéneo (Infraestima el módulo de deformación)	4 - 6	0,25	1,5 - 2	$1,5 \times 10^{-5}$ a 5×10^{-3}
d) Mal conocimiento previo. Suelo bastante homogéneo (Infraestima el módulo de deformación)	10 - 12	0,25	1 - 1,3	1×10^{-5} a 6×10^{-4}
e) Mal conocimiento previo. Suelo bastante homogéneo (Sobreestima el módulo de deformación)	2 - 4	0,25	5 - 6	
f) Mal conocimiento previo. Suelo bastante heterogéneo (Sobreestima el módulo de deformación)	10	0,25	3,5 - 4	$7,5 \times 10^{-6}$

$$Q \cdot I_p (\nu, L/B, \text{adherencia})$$

(*) Parámetro de diseño A = $\frac{Q \cdot I_p (\nu, L/B, \text{adherencia})}{0,01 B^2 \bar{E}_1}$

\bar{E}_1 = Media inicial prevista del valor de la media de E.

(**): Adimensional con relación al coste total del edificio.



taje de muestras ensayadas, debe ejercerse un control adicional de tipo absoluto que, en general, afectará, dentro de masas «homogéneas», de forma diferente a cada propiedad buscada siempre en el contexto de un problema geomecánico determinado. Alonso et al. (1977) plantearon de forma general este problema como derivado de una necesidad de diseño óptimo y lo resolvieron en un caso particular de edificio cimentado sobre pilotes en un terreno homogéneo, cuando la variable fundamental

que controlaba el diseño era el asiento diferencial. Sin entrar en ningún detalle, interesa resaltar aquí (tabla 19) las conclusiones a que se llegaron en cuanto al número óptimo de determinaciones del parámetro fundamental del suelo en este caso (módulo de deformación E). Para un cierto número de casos, que hacen referencia al conocimiento previo que se dispone del terreno y a su grado de heterogeneidad, este número oscila generalmente entre 4 y 10. Se observa también en la tabla que el parámetro A que controla el diseño del pilotaje sufre cambios importantes a medida que progresa el reconocimiento y que en cualquier caso el diseño óptimo comporta siempre un determinado (pero pequeño) daño.

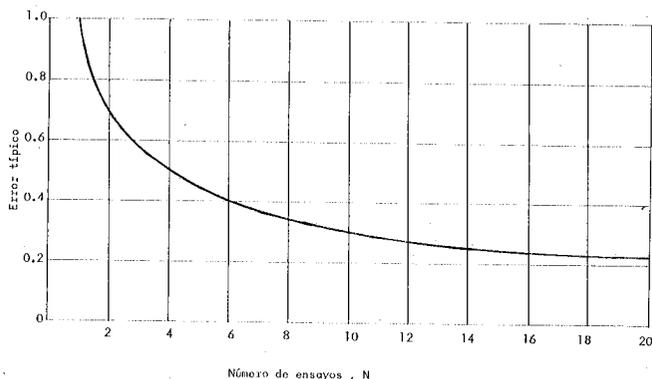


Fig. 20.—Variación del error típico de la media con el número de ensayos.

Es interesante comparar estas conclusiones con las que se derivan de un resultado elemental de la estadística: la evolución del error típico (de la media) al incrementarse el número de ensayos (figura 20). Puede apreciarse cómo los primeros ensayos conducen a una reducción rápida del error y que a partir de $N = 10$ aproximadamente esta reducción es lenta, lo que proporciona en primera aproximación un criterio general para la delimitación del número de ensayos.

(Continuará.)