

0028

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

SECCION DE MECANICA DE SUELOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA (MECÁNICA DE SUELOS)

-TECNICAS DE MUESTREO "INALTERADO" EN ARENAS-

TRABAJO QUE PARA SUSTENTAR EXAMEN DE GRADO A NIVEL MAESTRIA PRESENTA

JUAN DE DIOS GARAY VELAZQUEZ

MEXICO D.F.

1981

Cajal
D.F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPI

T. UNAM
1981
GAR

INDICE

	Pag.
1. Introducción -----	1
2. Calidad de la muestra -----	3
3. Métodos existentes para muestreo "inalterado" en arenas -----	6
3.1 Métodos que se fundamentan en la solidifica- ción de la muestra antes del muestreo. -----	7
3.1.1 Uso de emulsiones asfálticas -----	8
3.1.2 Uso de inyecciones químicas -----	12 ←
3.1.3 Uso de congelamiento -----	15 ←
3.2 Métodos que se fundamentan en la solidifica- ción de la parte inferior de la muestra -----	20 ←
3.2.1 Método de Fahlquist -----	20
3.3 Muestreo con equipo mecánico que hace uso de otras formas de evitar la pérdida de la mues- tra -----	24
3.3.1 Método de Bishop -----	24 ←
3.3.2 Twist-Sampler -----	28 ←
3.3.3 Muestreador de gran diámetro -----	30
3.4 Otras técnicas para muestreo de alta calidad en arenas -----	34
4. Manejo de muestras "inalteradas" y evaluación de la calidad -----	35
5. Conclusiones -----	37
6. Recomendaciones -----	44
7. Bibliografía -----	47

1) Introducción.

El muestreo, como parte fundamental en la investigación del sitio tiene como objetivo proporcionar muestras de la calidad requerida para la realización de ensayos en el laboratorio. Tales ensayos permiten clasificar al suelo y determinar propiedades índices o mecánicas que son usadas para predecir el comportamiento de la masa de suelo.

En el caso de depósitos arenosos es práctica común la realización de ensayos de penetración estándar, de ellos definimos de manera indirecta propiedades mecánicas de interés y obtenemos muestras alteradas que nos permiten clasificar al suelo. También es común, para determinar propiedades mecánicas de los suelos arenosos, la formación de especímenes en el laboratorio que reproduzcan las condiciones del suelo en el sitio, fundamentalmente en lo referente a compacidad, para lo cual es necesario definir la compacidad del suelo en el sitio y consecuentemente son necesarios procedimientos de muestreo que nos permitan conservar esta propiedad.

En el caso de depósitos arenosos, los requerimientos de calidad de la muestra se han incrementado en los últimos años. Aunque siempre se ha reconocido la necesidad de obtener muestras de arena que conserven la estructura y compacidad del estrato arenoso, actualmente, la necesidad de obtener muestras de la mayor calidad ha sido puesta de manifiesto. Lo anterior fundamentalmente se debe a la ocurrencia de fenómenos de licuación con graves daños, que han obligado a los investigadores a un estudio más profundo del comportamiento dinámico de estos suelos.

Las investigaciones a las que se hace mención en el párrafo anterior han puesto en claro la existencia de una gran discrepancia entre las propiedades dinámicas obtenidas de especímenes "inalterados" y aquellas obtenidas de especímenes reconsti

tuidos, aunque ambas tengan la misma compacidad. Por lo anterior, se hace necesaria la obtención de muestras "inalteradas" en arenas.

Se han realizado diversos intentos para obtener muestras "inalteradas" en depósitos arenosos; los mecanismos o medios que se utilizan son sumamente variados e igualmente son distintas las calidades de las muestras obtenidas, las dificultades del muestreo, la economía y la adaptabilidad de una técnica determinada para resolver un problema específico de muestreo. La forma de realización del muestreo varía desde la solidificación del terreno antes de muestrear con el objeto de proporcionar cierta cohesión a la muestra que se toma, hasta el uso de equipo mecánico especialmente diseñado para ejercer una mínima perturbación y asegurar la retención de la muestra.

Dada la diferencia de las técnicas, algunos equipos permiten sólo pequeños avances mientras que otros son rápidos; con algunos equipos es posible operar por debajo del nivel freático mientras que con otros esto no es posible. En suma, la realización de un estudio de las diferentes técnicas existentes y un análisis global de las mismas resulta sumamente interesante, dado que con él se pondrán de manifiesto los alcances, dificultades y economía de dichas técnicas.

En este trabajo se presentan diferentes métodos de muestreo "inalterado" en arenas y se hace una discusión de los mismos, además, se tratan conceptos de transporte, almacenaje y manejo de muestras de arena.

2) Calidad de la muestra.

La obtención de muestras inalteradas ha sido y es una preocupación constante en la Ingeniería de Suelos, ya que con ellas podremos determinar representativamente las propiedades de interés del subsuelo.

Son dos los aspectos esenciales que deben tenerse en cuenta para la realización del muestreo en el sitio, ellos son la representatividad de las muestras que se tomen respecto a la masa de suelo y el grado de alteración que dichas muestras puedan sufrir durante dicha operación. Esto último es lo que interesa en el presente trabajo.

Para obtener una muestra idealmente inalterada, como Hvorslev lo indica, es necesario remover la muestra del sitio evitando lo siguiente:

- a) Cambio en las condiciones de esfuerzos.
- b) Perturbación de la estructura del suelo.
- c) Cambio en la relación de vacíos.
- d) Cambio en el contenido de agua.
- e) Cambios en la granulometría.
- f) Cambios químicos en los constituyentes del suelo.

Dado que es imposible evitar cambios en las condiciones de esfuerzos, no es posible obtener una muestra idealmente inalterada. En efecto, la muestra de suelo sufre un complejo cambio de esfuerzos durante el muestreo, transporte, manejo, etc. que no puede ser determinado. Dicho cambio de esfuerzos trae aparejados cambios en la estructura y en la relación de vacíos.

En el caso de las arenas, que es el suelo que nos interesa, la reducción en los esfuerzos efectivos al realizar una perforación no origina un cambio importante de volumen, pero este tipo de suelos es sumamente susceptible a cambios durante el manejo. Si al realizar la perforación se permite el flujo de agua hacia ella puede provocarse la pérdida de densidad de la arena y aún su mo-

vimiento, perdiéndose la posibilidad de obtener una muestra de gran calidad.

Cuando se usan tubos muestreadores, durante su hincado desplazan una cierta cantidad de suelo, lo que inevitablemente produce deformación y consecuentemente perturbación de la muestra.

En depósitos arenosos es posible obtener muestras en las cuales los valores del contenido de agua, relación de vacíos, granulometría, y constituyentes químicos permanezcan semejantes a los del sitio, es posible también conservar las laminaciones y densidad y en un buen grado a la estructura aunque para ello es necesario el uso de técnicas de muestreo muy especializadas.

El objetivo real del ingeniero que muestrea es obtener una muestra que le permita, en el laboratorio, definir los parámetros de interés para el problema particular que analiza; por ello, la calidad de la muestra por obtener varía para cada caso. La variación de calidad se justifica por razones económicas, ya que, por ejemplo, para establecer las condiciones granulométricas de un depósito no es justificable obtener una muestra donde se conserve la densidad original.

Se considera que la calidad de una muestra es el grado con el que ella conserva las propiedades del suelo con respecto a las condiciones originales, y desde este punto de vista se han designado Clases de Calidad siendo la clasificación más aceptada la de Idel, Muhs y Soos. La calidad obtenida depende de:

- a) El tipo y condición del suelo.
- b) El equipo de muestreo usado.
- c) La profundidad de muestreo.
- d) El cuidado del operario para aplicar el procedimiento de muestreo y su experiencia.

En nuestro caso, las arenas pueden encontrarse en diferentes compacidades, debajo o encima del nivel freático, etc. pudiendo esperarse diferente calidad al muestrear en las distintas condi

ciones mencionadas. A medida que la profundidad de muestreo es mayor, las operaciones se dificultan y la posibilidad de obtener muestras de gran calidad se reduce.

En el inciso siguiente se analizan una serie de equipos para muestreo en arenas; podrá notarse que dependiendo del equipo la calidad de la muestra es variable. Debe entonces tenerse en cuenta la calidad de la muestra requerida para una aplicación específica y ver si el equipo existente puede proporcionarnos dicha calidad.

Debe indicarse que el uso de la palabra inalterada en relación a muestreo de suelos no debe entenderse en el sentido literal, prefiriéndose la designación de calidad por clase dependiendo de las propiedades que se conserven.

3) Métodos existentes para muestreo en arenas.

El muestreo en depósitos arenosos se ha intentado por diferentes medios. En arenas limpias la resistencia depende íntegramente de la presión entre granos, de tal forma que cuando ésta es liberada la extracción de la muestra se dificulta, produciendo muchas veces la pérdida cuando se usa equipo que no prevenga esto. En ocasiones la muestra es retenida, pero ello se debe a una ligera cementación en la arena o a la presencia de cohesión aparente debida a humedad. Es pues necesario el desarrollo de técnicas de muestreo que prevengan la pérdida de la muestra y de formas de llegar al punto de muestreo que no alteren las condiciones originales del sitio evitando el flujo de material en el fondo de la excavación.

Dado que la arena es muy susceptible a los cambios de densidad por vibración o impactos, las técnicas de muestreo deben evitar dichos efectos.

En lo que sigue se tratarán diferentes métodos de muestreo en arenas en el siguiente orden:

- a) Métodos que se fundamentan en la solidificación de la muestra antes del muestreo.
- b) Métodos que se fundamenta en la solidificación de la parte inferior de la muestra para evitar su pérdida durante la extracción.
- c) Métodos mecánicos con diferentes medios de retención de la muestra.
- d) Otros.

En cada método se tratan los siguientes aspectos:

- a) Objetivos para los cuales fue desarrollado el equipo.
- b) Equipo.
- c) Procedimiento de muestreo.
- d) Manejo de la muestra y ensayos.
- e) Comentarios.

Para la investigación del sitio no es suficiente obtener en el muestreador una muestra de la calidad requerida, sino que, además, deberán evitarse las alteraciones durante el retiro del muestreador del fondo, el transporte y la preparación de especímenes en el laboratorio.

3.1) Métodos que se fundamentan en la solidificación de la muestra antes del muestreo.

Estos métodos buscan proporcionar cierta cohesión a la muestra para posteriormente tomarla. El mecanismo es reemplazar el aire o el agua existente en los vacíos del suelo por un material que solidifique dando cohesión para poder entonces tomar la muestra.

Se ha hecho uso de diferentes medios tales como inyección de emulsiones asfálticas, productos químicos y congelamiento. Los dos primeros son inyectados al suelo en forma líquida y entonces cambian a un sólido a través de una reacción química controlada, el último consiste generalmente en congelar el agua que se encuentra en los vacíos del suelo.

Karol (1971) hace ver que para obtener una buena muestra mediante el uso de inyecciones son deseables en éstas las siguientes propiedades.

- a) Viscosidad de la inyección igual a la del agua. Esto minimiza los problemas de colocación, reduce la posibilidad de perturbación de la estructura y maximiza la posibilidad de llenar completamente los vacíos del suelo.
- b) La inyección debe adquirir la suficiente rigidez para permitir el muestreo con herramientas y técnicas estándar y para un adecuado transporte y manejo. La formación impregnada debe tener una dureza tal que no requiera el uso de herramientas especiales para muestreo.

- c) El color final de la inyección debe ser tal que permitan observar la estructura y características del subsuelo.
- d) La inyección no debe reaccionar químicamente con los constituyentes del suelo.
- e) La inyección debe ser fácilmente removible.
- f) La inyección no debe tener problemas de manejo.

A las anteriores propiedades habrá que añadir que no se produzca cambio de volumen al cambiar de un estado a otro.

Un material que cumpla con estas condiciones es difícil de obtener, pero existen inyecciones químicas que cumplen con la mayoría de las propiedades deseadas. Puede indicarse que el agua es el mejor material, aún a pesar de los problemas de cambio de volumen que presenta cuando se congela.

Dado que es necesario muestrear en zonas que no hayan sido alteradas por las herramientas de perforación, la inyección debe hacerse adelante de dicha perforación.

La impregnación por gravedad es generalmente inefectiva, de ahí que la inyección deba ser colocada bajo presión.

3.1.1) Uso de emulsiones asfálticas.

Un estudio con emulsiones asfálticas fue realizado por Van Bruggen en 1936. El material utilizado es una emulsión asfáltica de rápida coagulación, la cual una vez coagulada proporciona una buena cohesión como para realizar el muestreo con equipo convencional.

a) Objetivos.

El objetivo es obtener muestras de arena que conserven las laminaciones y densidad para la realización de ensayos de compresibilidad en el laboratorio.

b) Equipo.

- 1) Equipo de perforación con ademado.

- 2) Equipo para limpieza del fondo de la perforación (Fig 1)
 - 3) Planta de bombeo y equipo adicional para impregnación, vease fig 2.
 - 4) Equipo muestreador, fig 3.
 - 5) Equipo para la extracción de la inyección, fig 4.
- c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Realización de la perforación usando ademe y manteniéndola llena de agua.
 - 2) Limpieza del fondo de la perforación. Esto fue necesario debido a que se formaba una suspensión de partículas finas que dificultaba la impregnación.
 - 3) Bombeo de la emulsión haciéndola pasar a través de un filtro compuesto por la misma arena que se va a impregnar, esto con el objeto de asegurar que su viscosidad le permita entrar al suelo.
 - 4) Se permite reposo para que se presente la coagulación, dicha coagulación se presentó en 10 días en los trabajos realizados por Van Bruggen, el tiempo previsto era de uno o dos días. Se considera que la temperatura y composición del agua afectan a la velocidad de coagulación.
 - 5) Se realiza el muestreo con el equipo convencional. Durante el muestreo la arena mostró una considerable resistencia a la penetración del muestreador, siendo necesario el uso de fuerzas de hincado hasta de una tonelada.
- d) Manejo de la muestra y ensayos.

La muestra se transporta al laboratorio dentro del tubo muestreador, se extrae de él la porción necesaria en forma vertical y con calentamiento del tubo. La muestra impregnada se coloca en el equipo de remoción y se remueve la emulsión por goteo de un disolvente usando el sistema mostrado en la figura 4 hasta obtener claro al disolvente. Se reali

zaron ensayos de compresibilidad.

e) Comentarios.

No se menciona cual es la composición de la emulsión usada.

El tiempo necesario para la coagulación es muy grande, lo mismo el tiempo necesario para la remoción de la emulsión. Esto hace costoso al método.

La impregnación completa es dudosa, por ello cabe la posibilidad de que algunas muestras se pierdan.

Al remover la emulsión se tiene la duda sobre la cantidad de asfalto que queda en la muestra.

Se tiene la duda de si no se alteró químicamente al suelo con el asfalto y/o los disolventes.

En la actualidad pueden usarse equipos más sofisticados para perforación, limpieza e inyección, pero el aspecto fundamental que son los problemas que plantea la inyección usada permanece con los mismos defectos.

Este método puede considerarse clásico en cuanto al procedimiento de muestreo con inyección previa, pero en cuanto a una aplicación práctica está ampliamente superado por otras técnicas.

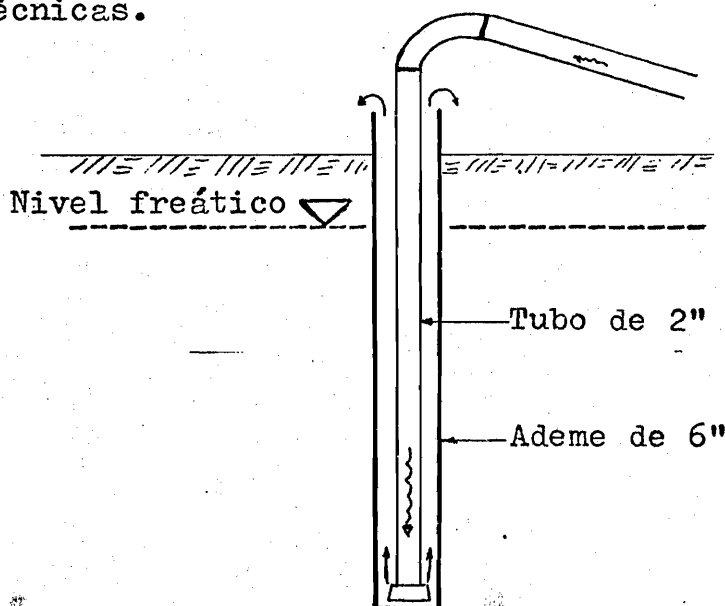


Fig. 1. Equipo de limpieza.

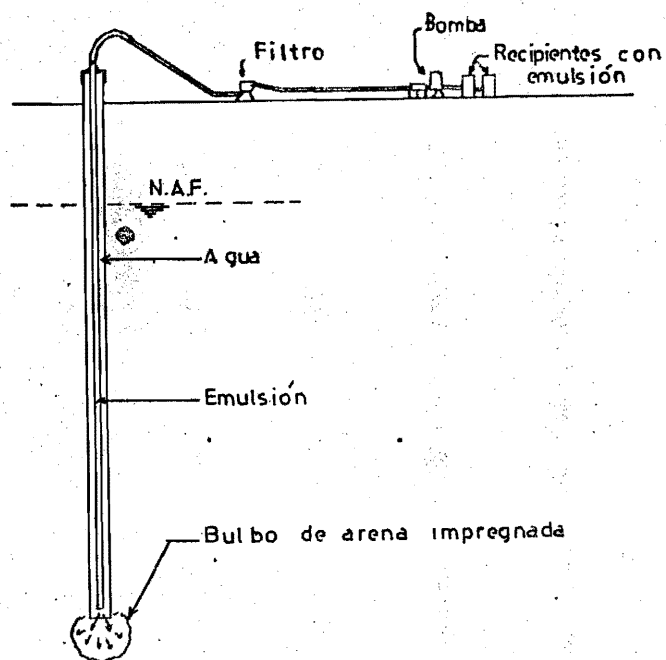


Fig. 2. Equipo de impregnación
(VAN BRUGGEN, 1936)

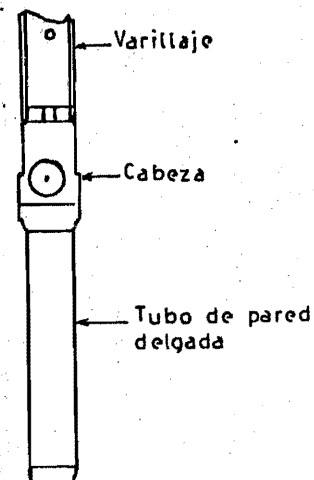


Fig. 3. Muestreador.

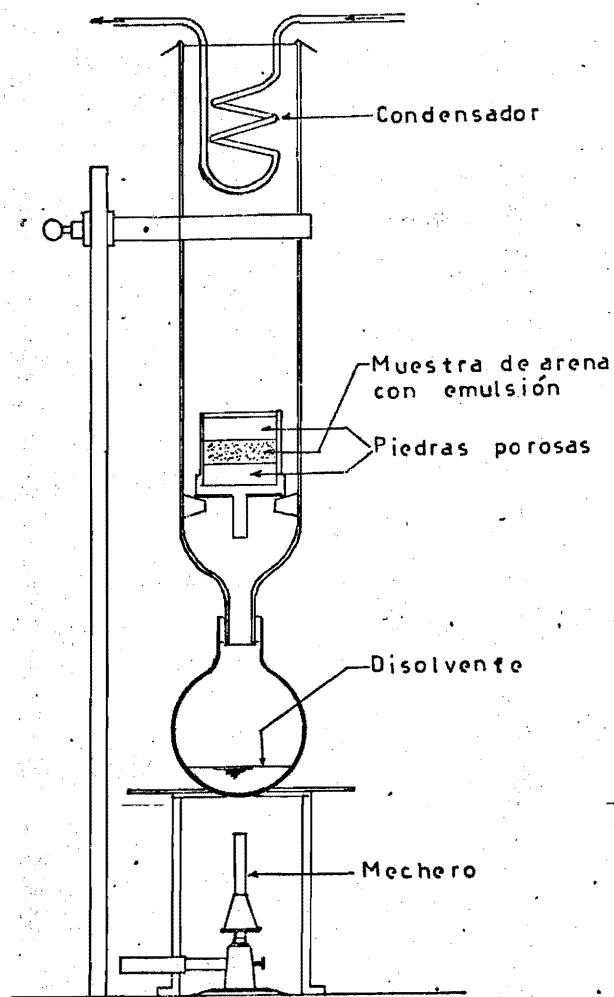


Fig. 4. Aparato para remover la emulsión

3.1.2) Uso de inyecciones químicas para muestreo de arenas.

Karol (1971) ha realizado ensayos utilizando inyecciones químicas como los acrilamidas y un silicato que forma gel. Según Karol, estos materiales reúnen la mayoría de las propiedades deseadas en una inyección.

a) Objetivos.

El principal que Karol plantea en su artículo es definir la estratificación en mínimo detalle, e indirectamente determinar la compacidad relativa por su relación con pruebas de resistencia a la compresión no confinada. Para esto último se hicieron ensayos de resistencia no confinada sobre arenas uniformes impregnadas, obteniéndose que dicha resistencia varía linealmente con la densidad.

b) Equipo.

- 1) Equipo normal para perforación.
- 2) Obturador mecánico o neumático.
- 3) Bomba para inyección.
- 4) Equipo muestreador.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Hincado del ademe por métodos ordinarios hasta antes del punto de muestreo.
- 2) Limpieza mecánica del ademe usando herramientas estándar como deflectores cola de pez. Debe tenerse cuidado de no perturbar la zona por muestrear.
- 3) Colocación del obturador. Esto tiene como objetivo sellar el ademe para poder inyectar a presión.
- 4) Bombeo de la inyección a través del obturador (fig 5)
El volumen de inyección usado es función cúbica de la profundidad tratada según ensayos de Karol, por lo que resulta económico impregnar de 30 a 45 cm. en cada caso. Dado que el flujo a través de una masa de suelo.

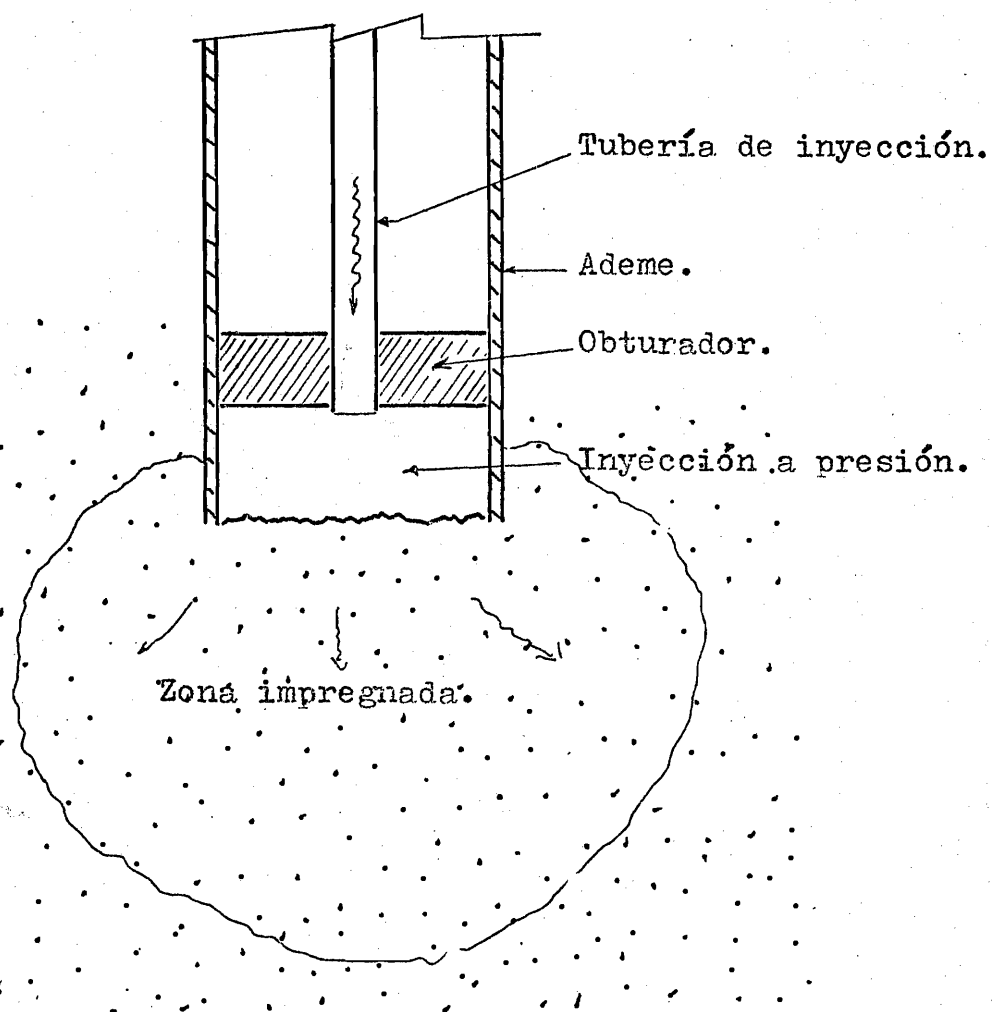


Fig. 5. Esquema de bombeo para impregnación.
(Karol, 1971)

puede originar perturbación, lo correcto será aplicar la mínima presión posible que nos asegure una impregnación adecuada en un tiempo razonable. En todo caso, la presión aplicada debe ser menor que la presión total y mayor que la presión de poro a la profundidad de muestreo.

- 5) Se permite el tiempo necesario para endurecimiento, manteniendo al obturador en su sitio. Karol recomienda que dicho tiempo sea la mitad del tiempo de bombeo.
 - 6) Se extrae el obturador.
 - 7) Se toman las muestras con el equipo muestreador.
- d) Manejo de la muestra y ensayos.

Por observación visual se tiene la posibilidad de detectar laminaciones tan finas como 1/16" de espesor.

Por ensayos de compresión simple sobre la muestra solidificada es posible, indirectamente, determinar la densidad. Estabilizando muestras sueltas y compactas y probándolas se tienen puntos extremos de una relación lineal.

e) Comentarios.

No se indica específicamente el equipo empleado.

No es posible remover este tipo de inyecciones lo cual constituye la principal deficiencia de las inyecciones usadas.

Karol en su artículo no menciona específicamente con que características deseables cumplen los tipos de inyecciones químicas propuestas.

La densidad se determina indirectamente.

Se necesita equipo y personal especializado por lo que el costo de este tipo de muestreo es alto.

3.1.3) Muestreo por congelamiento.

El congelamiento ha sido reconocido como una de las técnicas con mejores posibilidades para proporcionar muestras de buena ca lidad en arenas.

Esta técnica tiene la ventaja de que no es necesaria ninguna impregnación. El agua cumple con todas las condiciones considera das apropiadas en una inyección, con la salvedad de que sufre cambios volumétricos al congelarse. El agua en su estado natural cambia de volumen en un 9% por congelamiento; sin embargo, el cam bio de volumen de la muestra de suelo es menor como posteriormen te se indica.

Para que la técnica de congelamiento sea aplicable es neces ario que el suelo se encuentre saturado.

De la bibliografía actual pueden distinguirse dos formas re presentativas de muestreo por congelamiento y son las que a con tinuación se tratan.

3.1.3.1) Procedimiento del Cuerpo de Ingenieros.

Este procedimiento fue desarrollado para operaciones de mues treo en la presa Fort Peck y está consignado en el trabajo de Hvorslev de 1949.

a) Objetivos.

El objetivo que se persigue es definir la estratifica ción y zonas de falla del material, así como determinar la densidad.

b) Equipo.

- 1) Tubos congelantes de longitud y diámetro apropiado.
- 2) Barril muestreador de grandes dimensiones (fig 6).

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se instalan los tubos congelantes en círculo dentro del terreno procediéndose al congelamiento del mismo.
Ver fig 7.

2) Se extrae la muestra usando para ello el barril.

d) Manejo de la muestra y ensayos.

Se parte a la muestra observándose las estratificaciones. Puede detectarse la presencia de fallas y conservarse pequeñas muestras para otros ensayos.

e) Comentarios.

Este procedimiento de muestreo es bastante caro y lento. La muestra extraída es de dimensiones considerables (diam = 90cm.), por lo que debemos hacer la pregunta de que tanto alteramos el estado de esfuerzos en la masa de suelo y consecuentemente a las propiedades de la misma con la extracción de esta cantidad de material.

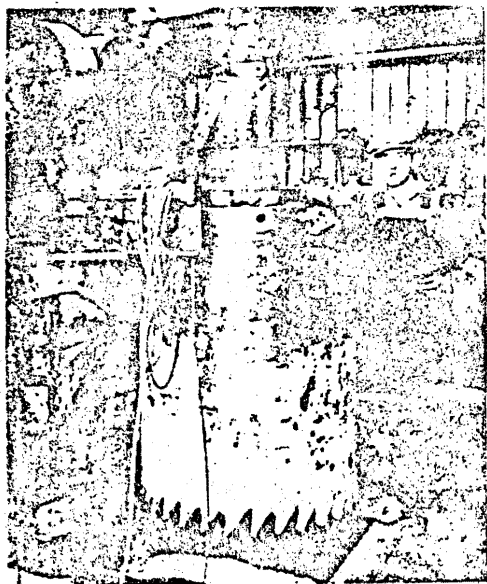


Fig. 6

Barril de 36" de diámetro

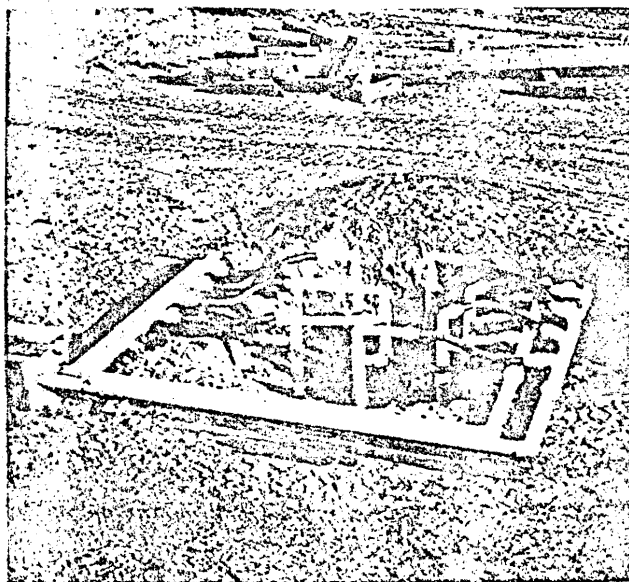


Fig. 7

Congelamiento del suelo
antes del muestreo.

(Cuerpo de Ingenieros, 1946)

3.1.3.2) Procedimiento propuesto por Yoshimi, Hatanaka y Ho Oka al que podría llamarsele procedimiento de la columna congelada. (1977)

Este procedimiento es una forma novedosa de tomar muestras congeladas, sus características esenciales se dan enseguida.

a) Objetivos.

Con este procedimiento se busca obtener muestras de arena de alta calidad de manera económica y rápida.

b) Equipo.

- 1) Tubo de pared delgada de 73 mm de diámetro y longitud adecuada. (Que alcance la profundidad por muestrear).
- 2) Tubo de vinilo de 30 mm de diámetro con longitud semejante al anterior.
- 3) Barrenador de cuchara.
- 4) Hielo seco, ethanol y mortero de cemento.
- 5) Grúa de capacidad suficiente.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se instala el tubo de pared delgada hasta la profundidad deseada con el máximo cuidado y se limpia con el barrenador manteniendo un exceso de agua en el interior del tubo para prevenir alteración en el fondo.
- 2) Se sella la parte inferior del tubo con mortero, y se seca el interior.
- 3) Se inserta el tubo de vinil en el de acero.
- 4) Se hace circular una mezcla de ethanol y hielo seco como se muestra en la figura 8 para congelar la arena.
- 5) Se iza el tubo de acero junto con la columna de arena congelada aplicando jalones al mismo usando para ello una grúa de capacidad suficiente.
- 6) Se aserra en piezas para su almacenaje en frío.

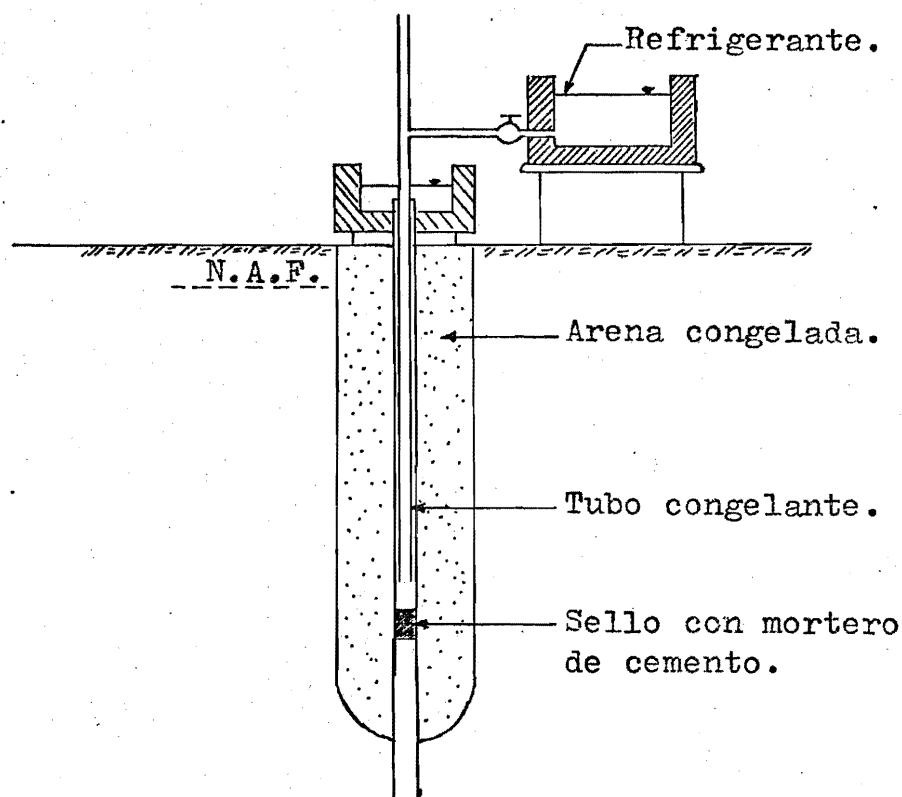


Fig. 8. Método de congelamiento.
(Yoshimi, et al. 1977)

d) Manejo de la muestra y ensayos.

Se aserran piezas y se almacenan en frío para su transporte al laboratorio. Ahí, con el uso de herramientas adecuadas, pueden ser preparados especímenes para diferentes ensayos.

Pueden realizarse pruebas triaxiales en diferentes direcciones para establecer propiedades mecánicas.

Puede determinarse la densidad usando para ello muestras de la parte exterior de la columna congelada. Se considera que la densidad así determinada es muy representativa de la del sitio.

e) Comentarios.

Se realizaron ensayos de laboratorio a escala pequeña (con especímenes de 10 cm de dimensión máxima) para ver el efecto del congelamiento en la densidad. Los materiales utilizados tenían un porcentaje de finos menor del 10%. Los resultados obtenidos limitando la deformación horizontal indican deformaciones verticales de 1.6% máximo; dichas deformaciones aumentan con la densidad relativa y con la disminución de presión.

Se realizaron ensayos para ver el efecto de hincado del tubo a escala natural en el laboratorio, observándose alteración cerca del tubo, pero muy pequeños cambios en la parte exterior de la columna congelada. Se considera bastante exacta la determinación de la densidad en la mitad exterior de la columna congelada.

Dados los conocimientos que se tienen acerca del congelamiento de suelos, es de esperarse que el incremento de finos aumente los cambios de volumen. Ello puede llevar a subestimar la densidad del sitio si existen finos en el suelo.

La profundidad de muestreo está limitada al equipo con que se cuenta para extraer la columna. Se han extraído columnas de hasta 6 m. , la eficacia de esta técnica se reduce a medida que la profundidad aumenta.

No se ha estudiado la influencia de la extracción en longitudes importantes, en cuanto al efecto que se puede originar en el suelo muestreado. Supuestamente la cantidad de material extraída y la forma en la que ello se hace puede originar perturbaciones en la masa de suelo, cambiando las propiedades de la misma.

Los principales problemas de esta técnica son el costo y el cambio de volumen.

3.2) Métodos que se fundamentan en la solidificación de la parte inferior de la muestra.

El objetivo de estos métodos es formar un tapón sólido en la punta del muestreador una vez que se tenga a la muestra en el y antes de la extracción. El objeto de esto es impedir la salida de la muestra. Para formar los tapones se ha hecho uso de elementos químicos, asfalto y congelamiento.

Se han ideado diferentes dispositivos para cumplir con este objetivo, pero sin duda el mejor mecanismo inventado para ello es el propuesto por Fahlquist el cual hace uso del congelamiento.

Con esta técnica el muestreador se baja hasta el fondo de la perforación y se hinca para tomar la muestra, por ello se presenta algún grado de perturbación en el suelo. Deben evitarse impactos y vibraciones durante la toma de la muestra y su extracción.

3.2.1) Muestreo de arenas con congelamiento de la parte inferior de la muestra. (método de Fahlquist, 1941)

a) Objetivos.

Obtener una muestra de arena donde no se alteren ni la laminaciones ni densidad. La parte congelada puede usarse para la realización de ensayos mecánicos.

b) Equipo.

- 1) Tubo de ademe de 10" con juntas enrrasadas.
- 2) Tubo estándar de 6" con juntas enrrasadas equipado con zapata de orillas cortantes.
- 3) Muestreador de $2 \frac{7}{8}$ pulg. de diámetro interior, de pared delgada con orillas cortantes renovables, 36" de longitud y pistón interior.
- 4) Equipo de hincado por presión.
- 5) Equipo para limpieza.
- 6) Equipo para centrado, fijación del muestreador y per

foración anular. Vease fig 9.

7) Cámara congelante o unidad refrigerante. Fig 10.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se hinca el ademe de 10" hasta una profundidad menor que la de muestreo, esto tiene por objeto reducir la fricción que se desarrolla en el ademe de 6" permitiendo salvar suelos que no se vayan a muestrear. Durante este proceso de hincado se mantiene agua en el interior del ademe para prevenir el movimiento hacia arriba del suelo.
- 2) Se instala el tubo de 6" introduciéndolo en el terreno hasta el punto de muestreo y limpiándolo.
- 3) Se instala el muestreador al final de la perforación centrándolo y fijándolo con el equipo correspondiente. El pistón se asienta sobre la parte superior de la muestra por tomar.
- 4) Se hinca el muestreador por presión con un movimiento rápido y continuo.
- 5) Se baja el tubo de 6" hasta el nivel inferior de la muestra extrayendo el suelo entre el tubo y el muestreador por medio del perforador anular.
- 6) Se retira el perforador anular.
- 7) Se baja la cámara congelante y se produce un tapón congelado de suelo de aproximadamente 7" de espesor. Esta operación se realiza en 15 min. a temperaturas de -30°C .
- 8) Se extrae el muestreador con sumo cuidado evitando choques y vibraciones.

En la figura 11 se ilustra este procedimiento.

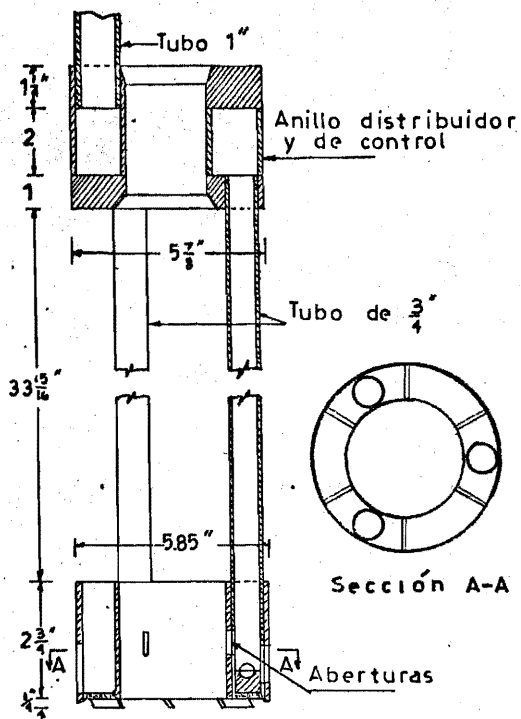


FIG. 9. PERFORADOR ANULAR

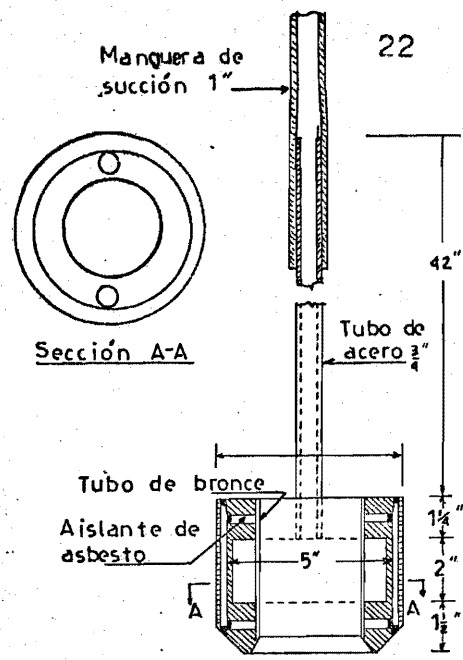


FIG. 10. CÁMARA CONGELANTE

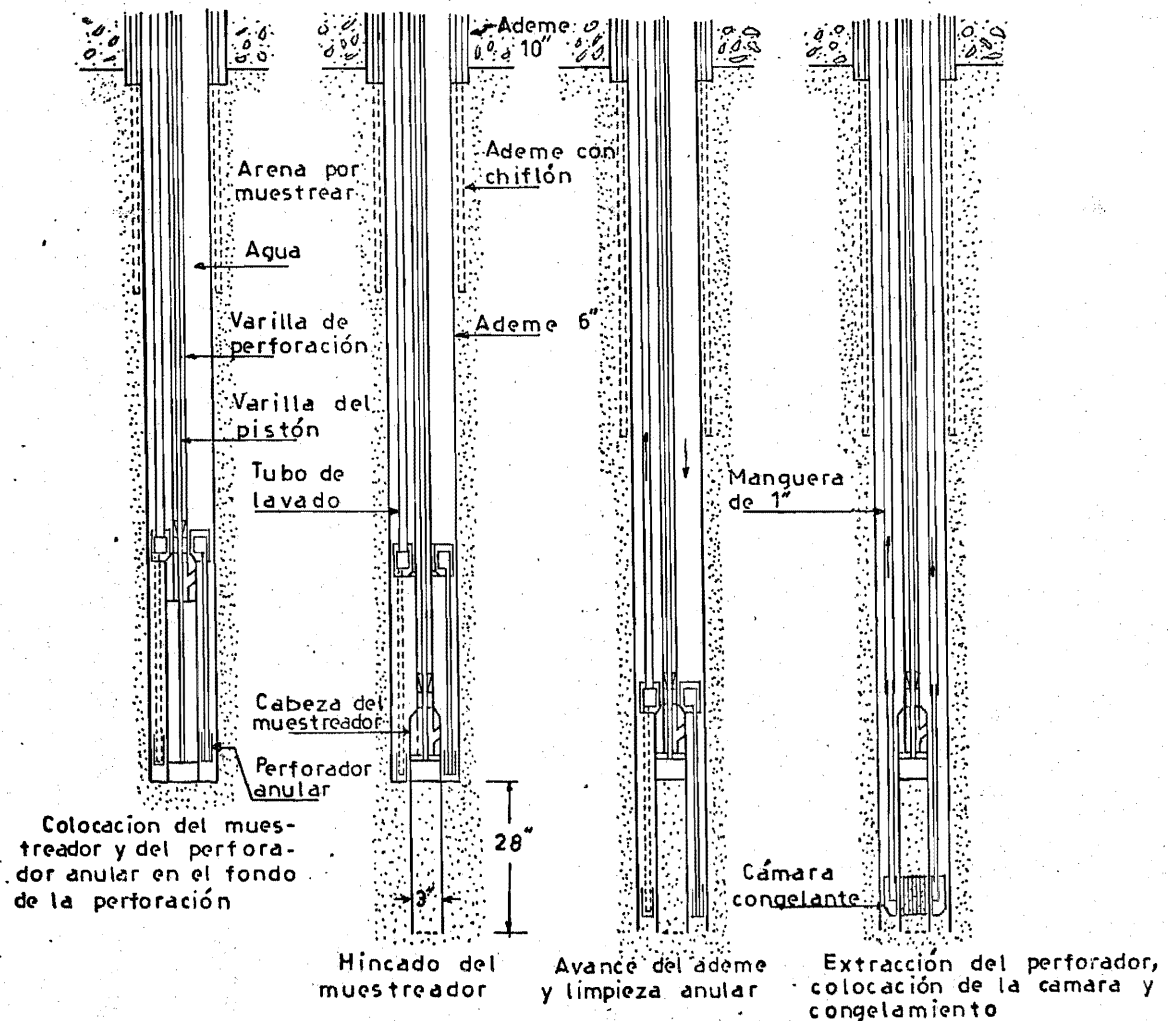


FIG. 11 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO (FAHLQUIST, 1941)

d) Manejo de la muestra y ensayos.

De preferencia, dada la perturbación inminente de la muestra durante el transporte, la muestra deberá ensayarse en el campo cerca del sitio de muestreo.

Se remueve la parte no congelada de la muestra en pequeños incrementos determinando su volumen y peso con objeto de definir su humedad y su relación de vacíos. Durante estas operaciones el tapón congelado debe conservarse así.

Se extrae la parte congelada aplicando una pequeña temperatura al tubo y empujando. En esta porción de suelo se puede observar la estratificación cortando longitudinalmente o realizar ensayos mecánicos. Los cambios de volumen de la parte congelada se considera que no exceden a un 2 ó 3%.

e) Comentarios.

Indudablemente, el mecanismo empleado para retener la muestra, aunque de operación complicada dado el número de movimientos que tienen que hacerse, es bastante aceptable.

Para obtener una muestra adecuada es necesario realizar el trabajo con suma delicadeza, pero aún así, resulta difícil evitar cambios en la relación de vacíos in situ.

Pueden hacerse análisis de las posibilidades de perturbación cotejando con ensayos de laboratorio. Dicho tipo de ensayos no se menciona en el trabajo de Fahlquist.

Con este equipo sólo podemos muestrear bajo el nivel freático.

Este tipo de técnica tiene la desventaja de introducir una alta posibilidad de alteración porque a la muestra no se le proporciona una rigidez previa que permita evitar alteraciones por efecto de hincado y extracción.

3.3) Muestreo con equipo mecánico que hace uso de otras formas de evitar la pérdida de la muestra.

Dado que durante el muestreo en arenas es muy común la pérdida de las muestras, se han diseñado muestreadores que por diferentes medios procuran evitarla.

Los mecanismos empleados son muy variables. En esta parte analizaremos un método que proporciona cohesión a la muestra por tensión negativa en el agua, otro que evita la pérdida con una membrana de plástico y otro que lo hace con una malla en el fondo del muestreador.

3.3.1) Método de Bishop. (1948)

Este método se fundamenta en la sencilla idea de proporcionar una tensión capilar al agua de la muestra; ello produce esfuerzos efectivos que propician el desarrollo de fricción con las paredes del muestreador y un efecto de arco en el fondo de la muestra que permiten evitar la salida de la misma.

a) Objetivos.

El objetivo es obtener muestras de arena con un procedimiento rápido y sencillo, evitando la pérdida y conservando la densidad original.

b) Equipo.

- 1) Tubo de ademe de 6", varillas de perforación, cable de izaje y manguera para inyección de aire.
- 2) Equipo muestreador que consta de tubo sacamuestras, campana, cabeza de muestreador y otros dispositivos especiales según se muestra en la figura 12.
- 3) Bomba para introducir aire a presión.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se realiza la perforación hasta el nivel deseado, usando el ademe de 6".

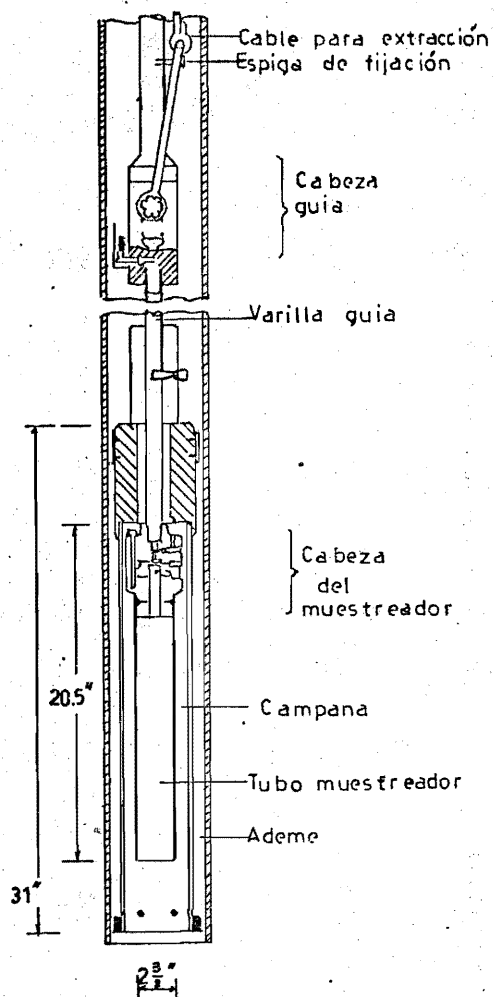


Fig. 12. Esquema general del muestreador

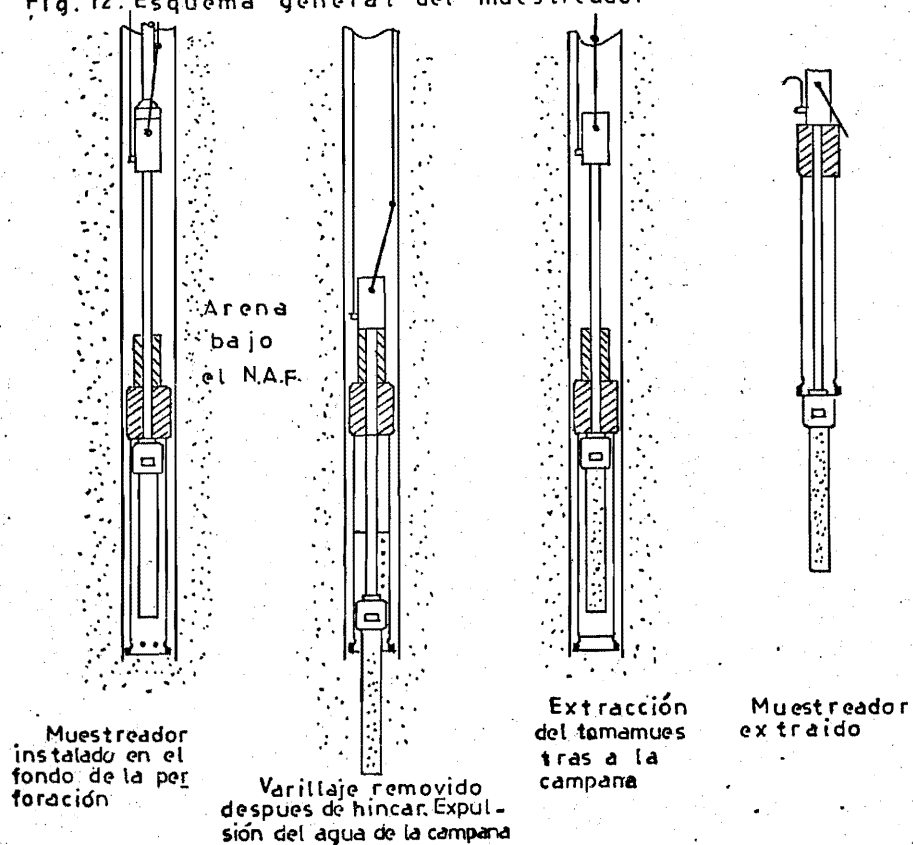


FIG. 13 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
(BISHOP, 1948)

- 2) Se instala el muestreador en el fondo de la perforación.
- 3) Se hinca el tubo sacamuestras con un movimiento rápido y continuo.
- 4) Se extrae el varillaje de perforación.
- 5) Se expelle el agua de la campana por medio de aire comprimido formando una cámara de aire justo encima del tomamuestras.
- 6) Se levanta el tomamuestras rápidamente hacia la campana usando el cable.
- 7) Se extrae el equipo manteniendo el aire en la campana.
- 8) Se remueve el tubo muestreador de la campana previa colocación de un tapón para prevenir la pérdida de la muestra.

Los pasos fundamentales de este procedimiento se indican en la figura 13.

d) Manejo de la muestra y ensayos.

Una vez que el muestreador se ha extraído se coloca en la parte inferior del tomamuestras un tapón para prevenir la pérdida de la muestra cuando se libera la succión. Se quitan entonces la campana y la cabeza del muestreador.

Puede determinarse la densidad o bien la permeabilidad, esta última sin remover a la muestra del tubo (fig. 14).

e) Comentarios.

Se realizó una investigación completa para ver la posibilidad de realización de la idea original haciendo variar a varios factores de interés. Dicha investigación mostró que la estabilidad de la muestra es controlada por la relación diámetro del muestreador a fuerzas capilares en la

arena, las cuales son inversamente proporcionales al diámetro efectivo. Con una pequeña presión efectiva en el fondo de la muestra se desarrolla un efecto de arco que, junto con la fricción en la pared del muestreador, resiste la presión ejercida por la muestra y permite la extracción de la misma.

Este equipo ha sido utilizado en muchas investigaciones. Nixon (1954) describe cuatro operaciones y considera que la operación del muestreador es muy satisfactoria, excepto en arenas gruesas o que contengan grava. Entre las aplicaciones podemos mencionar a la cuantificación del cambio de compacidad de un manto arenoso debido al hincado de pilotes y al examen de suelos laminados para estudios hidráulicos del subsuelo.

Los resultados de ensayos han mostrado que en el caso de arenas densas pueden obtenerse conclusiones conservadoras.

Las profundidades de muestreo han sido variables llegando en algunos casos hasta 43m.

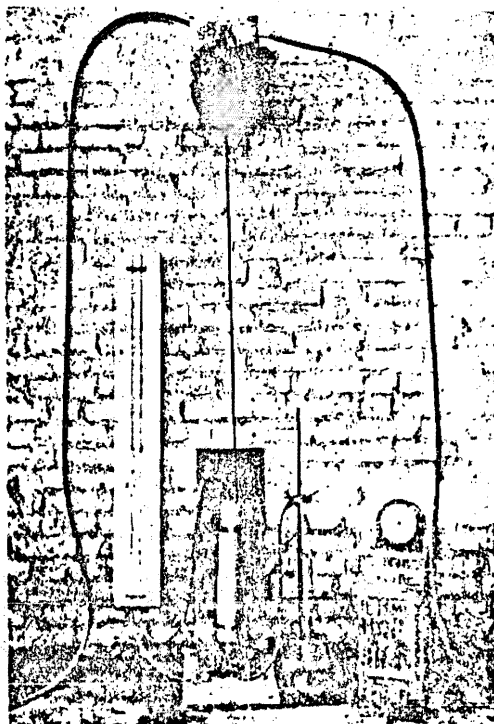


Fig. 14. Prueba de permeabilidad en el campo.

3.3.2) Twist sampler. (Ohya S. , et al. 1980)

Este muestreador es básicamente del tipo doble tubo con pistón estacionario. La retención de la muestra se realiza mediante una membrana de plástico colocada entre los tubos exterior e interior, la cual se tuerce girando al equipo para proporcionar el apoyo.

a) Objetivos.

El muestreador ha sido diseñado para obtener muestras de arena de calidad apropiada para la realización de pruebas dinámicas en el laboratorio y la determinación de la densidad.

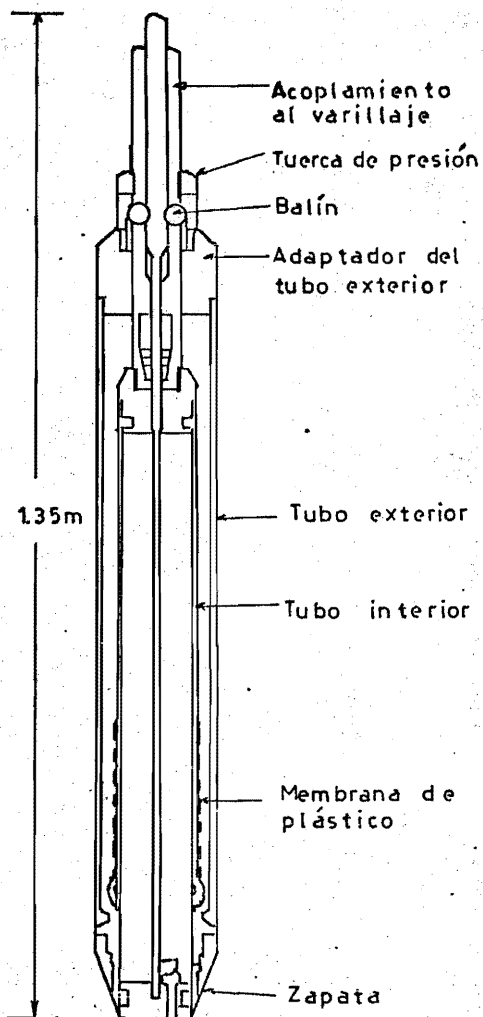
b) Equipo.

- 1) Equipo convencional para la realización de la perforación con el uso de lodos para evitar colapso de las paredes o levantamiento del fondo.
- 2) Muestreador cuyo diagrama esquemático se indica en la fig. 15.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se coloca en el fondo de la perforación al muestreador y se fija el pistón a la superficie del terreno.
- 2) Se inserta el muestreador.
- 3) Se levanta al tubo interior al rededor de 10 cm. En este paso dicho tubo se separa de la zapata y la membrana de plástico se extiende.
- 4) Se gira el varillaje dos o tres veces para que la membrana selle el fondo del tubo muestreador. En este paso sólo el tubo interior gira.
- 5) Se extrae al muestreador

En la figura 16 se muestran los pasos principales del muestreo con el uso de esta técnica.



Diametro de la muestra _____ 50 o 70 mm
 Long. de la muestra _____ 700 mm
 Long. tubo interior _____ 800 mm
 Espesor tubo interior _____ 2 mm
 Diametro de la perforación _____ 75 o 86 mm



FIG. 15. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MUESTREADOR

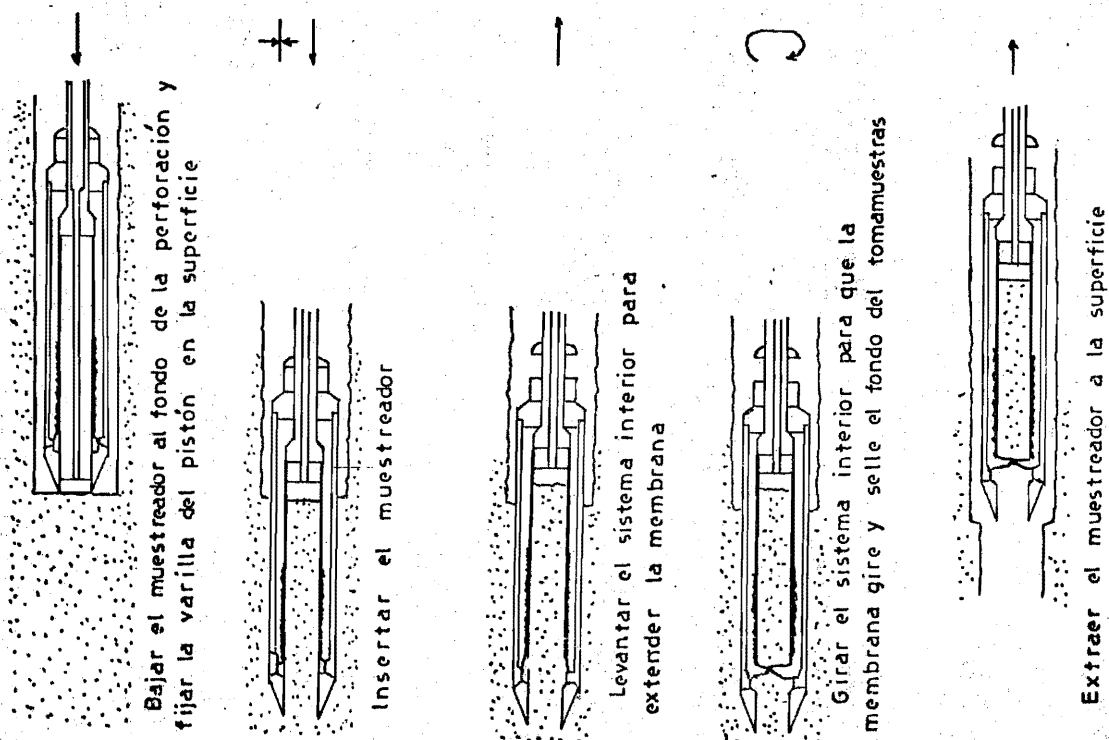


FIG. 16. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO (S. OHYA, ET AL. 1980)

d) Manejo de la muestra y ensayos.

Se proporcionan los resultados de ensayos realizados en un aparato triaxial cíclico. Los resultados obtenidos permiten observar, comparando las muestras reconstituidas con las "inalteradas", que la relación de resistencias es en la mayoría de los casos mayor que 2, lo que da idea de la importancia del muestreo "inalterado" en arenas para fines dinámicos. La ausencia de un muestreo de buena calidad puede llevarnos a subestimar la resistencia dinámica de depósitos arenosos.

e) Comentarios.

No se menciona como se preparó a la muestra para la realización de los ensayos indicados en el inciso anterior, ni las características y cuidados del transporte.

Se analizó la calidad de las muestras obtenidas basándose fundamentalmente en la densidad, para ello se realizaron muestreos en depósitos de arena sueltos y compactos realizados artificialmente. Los resultados demuestran que excepto en arenas extremadamente sueltas ($D_r < 20\%$) el muestreador conserva la densidad del terreno con buena aproximación.

El equipo es sencillo y de fácil manejo.

3.3.3) Muestreador de gran diámetro propuesto por K. Ishihara y M. L. Silver. (1977)

Es un muestreador de 20 cm. de diámetro y 1 m. de longitud. La salida de la muestra se evita con un cedazo de acero que se oculta en la zapata de corte y es extendido antes de sacar el muestreador.

a) Objetivos.

Se busca obtener muestras de arena donde se conserve

la estructura y densidad del suelo en el sitio. Además de determinar la densidad se busca obtener especímenes "inalterados" para realizar pruebas de resistencia tanto estáticas como dinámicas.

b) Equipo.

- 1) Ademe de 35.5 cm. y barrena cola de pez para realizar la excavación hasta el sitio deseado con un mínimo de alteración.
- 2) Muestreador partido de 20 cm. de diámetro por 100 cm de altura, con paredes de 0.82 cm. cuyo diagrama esquemático se muestra en la figura 17.
- 3) Equipo de anclaje para proporcionar la reacción de hincado. Un tipo probable se muestra en la fig. 18.

c) Procedimiento de muestreo.

- 1) Se realiza la perforación hasta el sitio de interés manteniendo lleno al ademe de lodos de perforación.
- 2) Se introduce el muestreador hasta el fondo de la perforación teniendo cuidado de no jalar el cable del retenedor.
- 3) Se coloca el gato hidráulico sobre el varillaje de hincado asegurando la reacción contra el equipo de anclaje.
- 4) Se hinca el muestreador con una velocidad de 2 cm/min. Las fuerzas necesarias para hincado fluctúan entre 8 y 20 ton.
- 5) Se jala el cable para cerrar el retenedor y se fija al varillaje.
- 6) Se retira lentamente al muestreador manteniéndolo en posición vertical una vez extraído.

Este procedimiento se muestra en la figura 19.

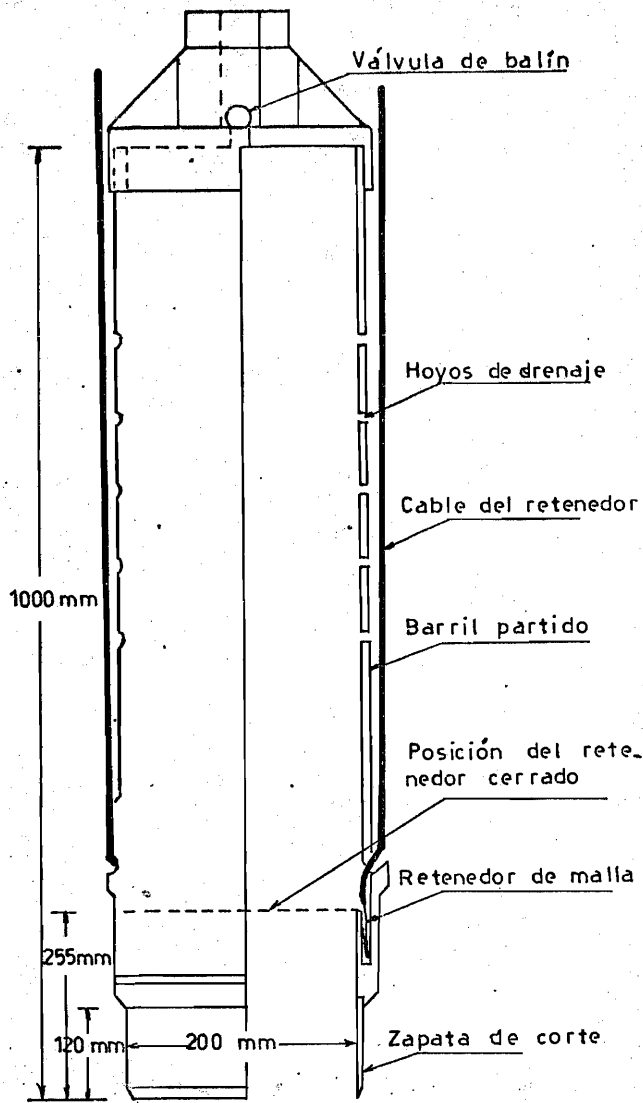


FIG. 17. DIAGRAMA DEL MUESTREADOR

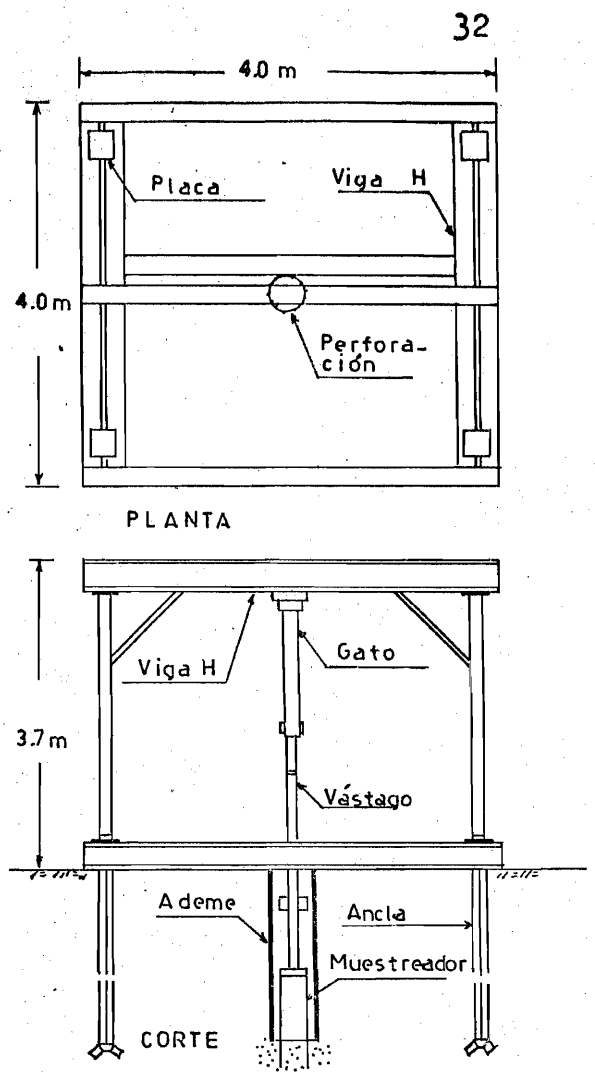


FIG. 18. DIAGRAMA DEL EQUIPO DE HINCADO

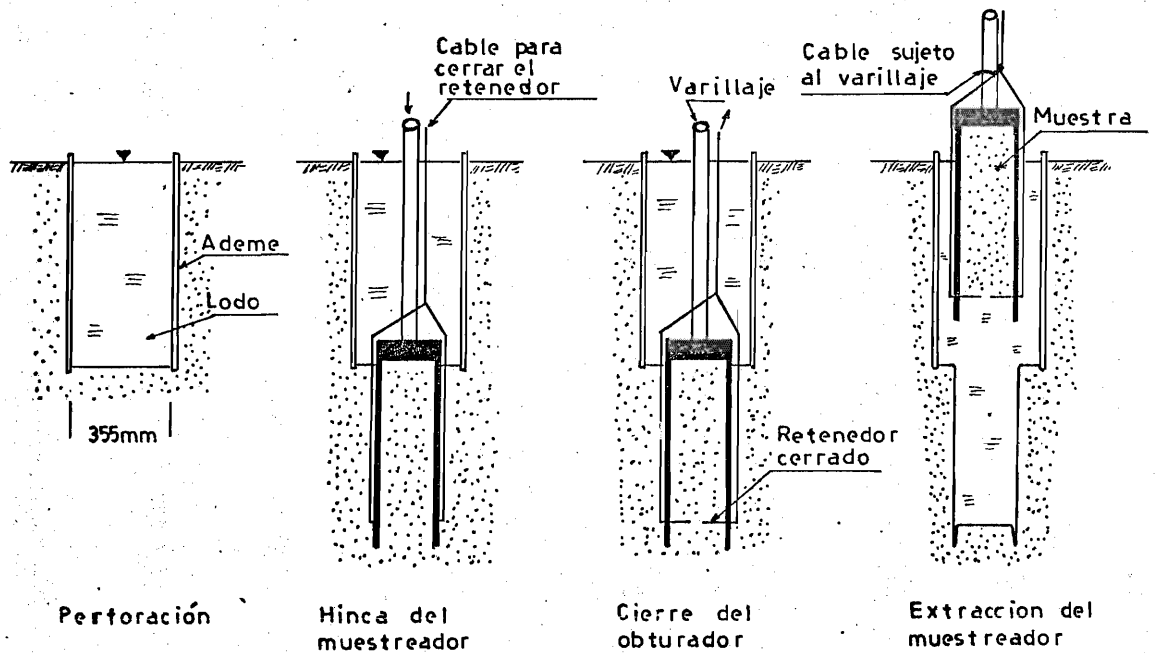


FIG. 19. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
(ISHIHARA K. ET AL., 1977)

d) Manejo de la muestra.

En el sitio, manteniendo horizontal al muestreador, se obtuvieron pequeños especímenes con tubos de 5 cm de diámetro, 10 cm. de longitud y 0.1 cm de espesor, los cuales fueron introducidos a presión a la muestra. Se colocó un tapón para evitar los movimientos hacia afuera al empujar con los pequeños muestreadores.

Abriendo al muestreador es posible tomar especímenes pequeños en dirección transversal y además observar la estratificación de la muestra. Los pequeños especímenes son congelados y mantenidos así para su transporte al laboratorio con el objeto de evitar perturbaciones.

En el laboratorio, para la realización de ensayos, los especímenes son extraídos de los tubos y rápidamente enchaquetados en una membrana triaxial e instalados en la cámara. Ahí se les permite deshelarse bajo una pequeña presión confinante para posteriormente realizar el ensayo.

e) Comentarios.

Se considera excelente la calidad de la muestra anotando que la parte inferior de la misma ha sido alterada por el retenedor, por lo que es costumbre desechar 15 cm. La estratigrafía del suelo se conserva intacta y el tamaño de la muestra es importante.

Es necesario el uso de anclaje para proporcionar la presión de hincado, lo que junto la necesidad de congelar las muestras para su transporte hace costoso al método.

No se menciona la posibilidad de proporcionar el lastre con vehículos ni la perturbación originada en el depósito por la instalación del anclaje. Tampoco se han realizado ensayos bajo condiciones controladas para establecer el grado de alteración originado con el muestreo.

3.4) Otras técnicas para muestreo de alta calidad en arenas.

La toma de muestras de excavaciones a cielo abierto por métodos manuales es el medio que mayor calidad puede proporcionar nos. Para la realización de este tipo de muestreo tenemos una serie de limitantes como son la presencia de agua en la excavación, la estabilidad de los taludes y la economía.

Si se considera adecuado este procedimiento en un caso específico, la excavación mecánica deberá suspenderse antes de la profundidad de muestreo, realizándose la excavación final con sumo cuidado por medios manuales.

Es conveniente la realización del muestreo con equipo como el mostrado en la figura 20. Este aparato consiste de un tripie y un tubo de diámetro adecuado. El procedimiento de muestreo consiste en recortar al suelo cuidadosamente adelante del tubo con un diámetro ligeramente mayor que el de él, entonces, se aplica una ligera presión vertical para avanzar al tubo.

El uso de este método en materiales arenosos requiere la presencia de cohesión, la cual puede ser aparente en arenas limpias por efecto de la humedad.

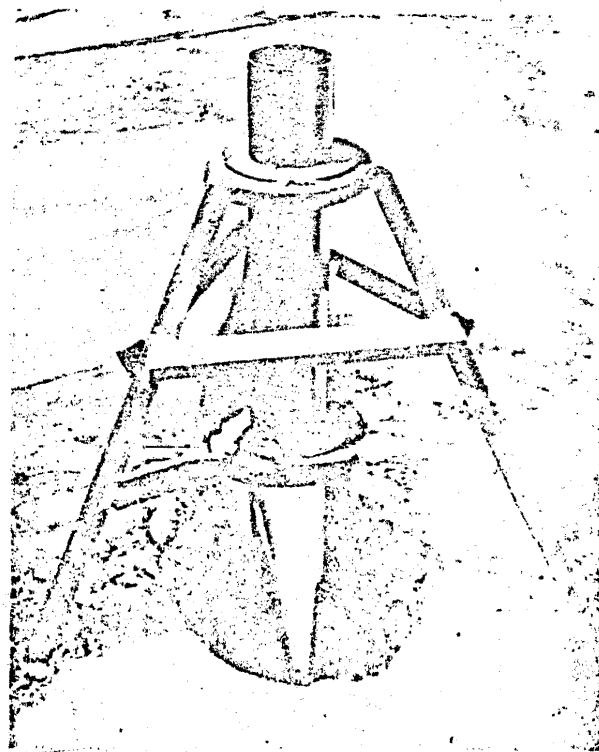


Fig. 20

4) Manejo de muestras inalteradas y evaluación de calidad.

Las muestras inalteradas, y especialmente las de suelos sin cohesión, son muy vulnerables a un manejo descuidado, por ello deben tomarse todas las precauciones para evitar la pérdida de calidad de la muestra durante su transporte, almacenaje y preparación para ensayos en el laboratorio.

Durante el transporte las muestras deben protegerse contra las vibraciones e impactos. El tiempo de almacenaje debe ser el mínimo posible, siendo preferible probar la muestra en cuanto llegue al laboratorio.

El congelamiento de las muestras en el campo proporciona una protección adecuada contra los riesgos del transporte y también nos facilita ampliamente la preparación de especímenes para pruebas en el laboratorio.

La supervisión durante todo el proceso, desde muestreo hasta ensayo, debe ser estricta y responsable de tal forma que se garantice la realización de ensayos sobre muestras de calidad.

Dado que siempre existe la posibilidad de una perturbación mayor que la esperada, es conveniente la elaboración de una serie de pruebas que nos permitan llegar a establecer la calidad de la muestra obtenida. La simple observación visual y la medición de la muestra pueden proporcionarnos elementos indicativos de perturbación. La presencia de distorsiones, planos de falla, decoloración u otros signos similares pueden atribuirse a la operación de muestreo o al manejo. La longitud y peso deben de ser constantes durante el manejo de la muestra y cualquier variación es indicativa de perturbación.

La calidad de la muestra también puede juzgarse por la relación de recuperación expresada por

$$R = \frac{\text{Longitud de la muestra}}{\text{Longitud hincada.}}$$

un muestreo de buena calidad será aquel en el que R se acerque a la unidad.

El uso de rayos X es una técnica no destructiva que se considera como una valiosa ayuda para determinar la calidad de la muestra. Si uno considera espesor uniforme del tubo de muestreo, y una muestra homogénea en cuanto a mineralogía, entonces la densidad de la muestra es proporcional a la densidad de la película en una radiografía. Esta técnica se ha usado en varios estudios para evaluar cualitativamente variaciones de densidad en la muestra, presencia de capas y perturbación.

Otros intentos para la evaluación de la calidad de muestras de arena se encaminan por la correlación de propiedades mecánicas. I. Tohno propone relacionar la resistencia a la compresión no confinada con el porcentaje de finos y otras relaciones.

5) Conclusiones.

Se han analizado diferentes métodos para muestreo "inalterado" en depósitos arenosos. El estudio realizado abarca métodos concebidos desde 1936 a la fecha. Según sus autores, la mayoría de los procedimientos estudiados proporcionan muestras sobre las cuales es posible determinar granulometría, estratificación y compacidad. Algunas técnicas son consideradas por sus autores como apropiadas para obtener muestras de buena calidad para la realización de ensayos de resistencia estática y dinámica.

Como se indicó en el capítulo 2, para que una muestra pueda considerarse como inalterada es necesario:

- a) Evitar cambios en las condiciones de esfuerzos
- b) Evitar perturbación de la estructura del suelo
- c) Evitar cambios en la relación de vacíos
- d) Evitar cambios en el contenido de agua
- e) Evitar cambios en la granulometría
- f) Evitar cambios químicos en los constituyentes del suelo

Un análisis de las variaciones en estos aspectos producidas por las técnicas de muestreo estudiadas nos permite valorar la calidad de la muestra obtenida, y consecuentemente el valor del método para aplicaciones prácticas. En lo que sigue se analizan brevemente estos puntos.

- a) Cambios en las condiciones de esfuerzos.

El suelo sufre durante el muestreo, transporte y manejo un cambio indefinido de esfuerzos. Ningún método existente de muestreo puede evitar que dicho cambio de esfuerzos se produzca.

El hecho de realizar una perforación previa al muestreo trae como consecuencia un alivio de esfuerzos. Dos son los efectos que este alivio de esfuerzos efectivos trae consigo: Por un lado la expansión del suelo y por el otro un probable flujo de la arena hacia la excavación.

La expansión de la masa por alivio de esfuerzos puede atribuirse, en el caso de las arenas, fundamentalmente a los elementos elásticos del suelo. Este cambio de volumen es insignificante en arenas con partículas equidimensionales y su influencia en la variación de la estructura y de la relación de vacíos es despreciable.

Un problema de especial importancia es que al realizar una perforación se alivia de esfuerzos efectivos al suelo situado en contacto con ella, y dado que la arena adquiere resistencia en función de dichos esfuerzos esta se hace nula. Existen entonces problemas de estabilidad en las paredes de la perforación que en todas las técnicas estudiadas se resuelven con el uso de ademes. En el fondo de la perforación persiste el problema y un flujo de agua hacia ella, a través del fondo, puede originar pérdida de compacidad y aún el arrastre de la arena por muestrear hacia la perforación; este problema debe tenerse muy en cuenta cuando se muestrea por debajo del nivel de aguas freáticas y lo común para resolverlo es el uso de lodos de perforación.

Los esfuerzos inducidos por el hincado del muestreador o por los impactos y vibraciones ocasionados durante la extracción, transporte y manejo, son imposibles de definir e indudablemente son los más importantes en cuanto a cambio en la estructura y relación de vacíos del suelo. La única forma de asegurar una reducción apreciable o eliminación de estos efectos es la solidificación del suelo por muestrear.

b) Cambios en la estructura del suelo.

La perturbación de la estructura del suelo puede consistir en un debilitamiento de la ^hadherencia entre partículas o de un reacomodo de partículas. Como he indicado, de una u otra forma ocurren durante el muestreo cambios en las condiciones de es

fuerzos, por lo que siempre tendremos, en algún grado, una modificación en la estructura. Ninguna de las técnicas estudiadas evita cambios en la estructura del suelo, aunque puede aspirarse a variaciones limitadas.

c) Cambios en la relación de vacíos.

Los cambios en la relación de vacíos traen como consecuencia una variación en la compacidad del suelo, tal variación afecta a los parámetros de resistencia, compresibilidad y permeabilidad, de tal manera que al hacerse el suelo más compacto adquiere mayor resistencia al corte, menor compresibilidad y menor permeabilidad.

Es interesante establecer la influencia que un cambio en la relación de vacíos ejerce sobre las propiedades del suelo antes mencionadas, pues el conocimiento de esto nos permitirá establecer si se justifica o no el muestreo con las técnicas aquí estudiadas, o si procedimientos comunes, como el STP, son suficientes.

Los muestreadores que se hincan en el terreno sin producir previamente una solidificación del suelo provocan un cambio de compacidad. En forma general puede decirse que un depósito suelto adquirirá más compacidad mientras que uno compacto la perderá. El orden de magnitud del cambio en la relación de vacíos que estos muestreadores producen se desconoce, a menos que se realicen ensayos bajo condiciones controladas que permitan calibrar el equipo. Aunque los autores de los diferentes procedimientos estudiados mencionan pocas variaciones en la relación de vacíos, solo se presentan resultados de estudios como el antes mencionado en el Twist-Sampler. La velocidad de hincado, el grado de saturación y la permeabilidad del suelo influyen directamente en el cambio de la relación de vacíos, recomendándose un hincado rápido y continuo.

Las técnicas de endurecimiento previo al muestreo provocan cambios en la relación de vacíos por dos efectos. Por un lado una inyección se aplica bajo presión, esto origina un flujo que puede producir una reducción en la relación de vacíos sobre todo si el suelo es suelto; dicho cambio puede ser despreciable si la impregnación se realiza convenientemente. Por otra parte, si el material colocado o existente en los vacíos cambia de volumen al cambiar de líquido a sólido, se produce una modificación de la relación de vacíos. Como ejemplo de esto último podemos citar al congelamiento.

La expansión del agua por congelamiento es de 9%, pero la expansión de un suelo arenoso con posibilidades de drenaje en el sentido del congelamiento es de 2 a 3 % según resultados de investigaciones. La relación de vacíos " in situ " la podemos calcular con la siguiente expresión

$$e_0 = \frac{e_c - (\%E)}{1 + (\%E)}$$

donde

e_0 = Relación de vacíos en el sitio antes del congelamiento

e_c = Relación de vacíos después de congelado el suelo.

(%E) = Porcentaje de expansión por congelamiento, .

el valor de (%E) deberá determinarse de ensayos en el laboratorio para condiciones semejantes a las del sitio.

Cuando congelamos al suelo incrementamos su relación de vacíos e_0 a e_c , pero al descongelarlo, por ejemplo para realizar un ensayo, su relación de vacíos se reduce. El valor de esta reducción en la relación de vacíos está limitado por el aumento de la misma originado al congelar.

d) Cambios en el contenido de agua.

La humedad es una propiedad índice de alto valor para determinar otras propiedades del suelo. La cantidad de agua que

forma parte de los vacíos de una masa de arena es un factor importante en su comportamiento.

La humedad de los suelos saturados variará si se modifica la relación de vacíos, la de los suelos parcialmente saturados no necesariamente.

De los métodos estudiados, los de impregnación y el muestreador de gran diámetro no nos permiten definir el contenido de humedad. Los primeros desplazan al agua que está en los vacíos sin que podamos saber si los llenaba o no, el segundo permite el drenaje libre de la muestra.

Si el suelo está parcialmente saturado la humedad podrá determinarse con bastante exactitud, si están totalmente saturados la aproximación dependerá del cambio en la relación de vacíos.

e) Cambios en la granulometría.

Los cambios en la granulometría influyen en la resistencia, permeabilidad y compresibilidad de un suelo. Con los métodos de muestreo estudiados se considera existente la generación de cambios en la granulometría dado que el hincado del muestreador puede no desplazar, sino romper, a los granos que entran en contacto con el y a los de las inmediaciones. Sin embargo, el volumen de material roto será pequeño en comparación con el de la masa de suelo muestreada, por lo que la alteración en la granulometría es insignificante para todo propósito práctico, a me- nos que las partículas del suelo sean muy débiles.

Los métodos de impregnación que usan inyecciones no solubles, como el de Karol, no permiten la determinación de la granulometría, en cambio cualquiera de los otros puede considerarse sa- tisfactorio para definir esta propiedad.

f) Cambios químicos en los constituyentes del suelo.

Los métodos que utilizan inyecciones químicas para solidificar a la muestra pueden provocar cambios químicos en el suelo.

La selección de la inyección a usar debe tomar en cuenta a este aspecto ya que los cambios químicos modifican las propiedades del suelo. El almacenamiento es un factor importante en este tipo de cambios, produciéndose oxidación si los tubos de muestreo no son protegidos adecuadamente. De cualquier forma, es conveniente hacer lo más corto posible al tiempo de almacenaje.

Según el análisis realizado hasta esta parte, puede concluirse que con los métodos estudiados es posible aspirar a obtener muestras que conserven laminaciones, granulometría, humedad y compacidad aproximada.

Considero que la idea de solidificar al suelo antes de muestrearlo es la que puede llevar, a futuro, al desarrollo de una técnica que nos permita obtener una muestra de la más alta calidad. En la actualidad, su uso es limitado por la carencia de un material inyector que satisfaga los requisitos establecidos para una buena inyección.

Las técnicas de impregnación son en la actualidad costosas y lentas, y sus logros no tienen ventaja apreciable respecto a las otras. La técnica de Karol tiene el enorme defecto de que no es posible desimpregnar al suelo. Entre las técnicas que proporcionan cohesión, el congelamiento es hasta hoy lo mejor, pero produce expansión lo que altera irremediablemente al suelo.

Por otra parte, considero imposible que las técnicas de muestreo sin impregnación previa tengan futuro para mejorar apreciablemente la calidad de la muestra tomada. Cuando un muestreador se fuerza para que penetre en el suelo desplaza a un volumen de este, lo que irremediablemente trae consigo una perturbación de la muestra por tomar; además, es difícil, si no imposible, evitar la presencia de vibraciones e impactos durante el

muestreo y manejo. Dada la sencillez y rapidez del muestreo, es tas técnicas pueden considerarse de uso más práctico en la actua lidad. Su bajo costo comparativamente con las técnicas de impreg nación es otro factor a su favor. La formación de probetas para ensayos en el laboratorio la considero imposible a menos que se recurra a procedimientos auxiliares como congelación.

Cuando sea posible es preferible el uso del método manual pa ra muestreo en arenas.

Por último, de seleccionarse alguna de estas técnicas para muestreo en arenas, debiera prestarse una cuidadosa atención al problema de transporte y manejo, de tal forma que se eviten lo más posible perturbaciones adicionales a las de muestreo. Además, deberán considerarse una serie de pruebas que permitan llegar a establecer la calidad de la muestra obtenida; dichas prue bas pueden variar desde la simple observación visual hasta el uso de técnicas especializadas como los Rayos X.

TABLA 1.- RESUMEN DE LOS METODOS ESTUDIADOS

Grupo	Método	Procedimiento de muestreo	Objetivos del autor	Limitaciones
Proporcionan cohesión antes del muestreo	Van Bruggen 1936	Se realiza una perforación hasta el punto de muestreo, se impregna al suelo con una emulsión asfáltica dejándola coagular y una vez ocurrido esto se toma la muestra con equipo convencional.	Conservar las laminaciones y compacidad	La impregnación es dudosa y el tiempo de coagulación del asfalto es muy grande. Una aplicación inadecuada de la inyección puede producir cambios importantes en la relación de vacíos por efecto del flujo a través de la masa de suelo. No es posible determinar la humedad y es posible la generación de cambios químicos. No se recomienda su uso.
	Karol 1971	Se realiza la perforación hasta el punto de muestreo y se impregna con una inyección química (silicato que forma gel) permitiéndose que esta solidifique para posteriormente tomar la muestra con equipo convencional.	Observar las laminaciones y determinar indirectamente la compacidad	La principal limitación es que las inyecciones usadas no son solubles por lo que no es posible determinar granulometría o parámetros mediante ensayos sobre la muestra. El uso de esta técnica no es recomendable en tanto no se cuente con una inyección que satisfaga las propiedades indicadas en la página 7 de este trabajo.
Proporcionan	Método de Ing. 1949	Se instalan tubos congelantes formando un círculo en el terreno. Se hace circular fluido congelante a través de ellos y una vez con	Conservar laminaciones, granulometría	El congelamiento produce expansión lo que altera la estructura y compacidad del sitio. El hincado de los tubos congelantes perturba al suelo. Su costo es muy grande por lo que solo podrá usarse en trabajos importantes.

Técnicas que pr

Muestreo por congelamiento	Proced: cuerpo	gelado el suelo se toma con un barril muestreador.	y relación de vacíos.	
Muestreo por congelamiento	Procedimiento de Yoshimi y otros. 1977	Se hince un tubo en el terreno y se limpia su interior, se introduce en el anterior otro tubo y se hace circular fluido congelante. Una vez congelado el suelo se extrae, al jalar al tubo de ademe, una columna de suelo congelado.	Obtener especímenes para el estudio dinámico de las arenas.	El suelo se expande al congelar. el hincado del tubo en el terreno altera al suelo muestreado principalmente en las inmediaciones del mismo. La profundidad de muestreo esta limitada. La cantidad de suelo que se extrae es importante por lo que habrá que ver el efecto que esto causa en el depósito de interés.
Fahlquist 1941		Utiliza el congelamiento para formar un tapón en la parte inferior del tubo muestreador.	Evitar la pérdida de la muestra y no alterar la compacidad.	Su proceso lo hace el método más complicado de este grupo y con mayores posibilidades de daño. Asegura perfectamente la retención y la parte congelada puede usarse para labrar especímenes de ensayo.
Bishop	pe rforación, evitar	Se induce una tensión capilar en la muestra con lo que se desarrolla	Evitar la pérdida y	Se ha utilizado bastante en la práctica pero consi- dero a su proceso más complicado y menos seguro

plaza a
tra ción y
marse las
con estas
sitio.

fricción en la pérdida y con-

Técnicas que evitan la pérdida de la muestra obturando el fondo del muestreador una vez que se ha hincado.

1948		pareo y efecto de arco en el fondo del muestreador lo que permite la extracción.	servar la compacidad por medio de un procedimiento al que define como sencillez		que el del Twist-sampler.
Twist sampler 1980	El procedimiento general de estos métodos es: Realizar una hincada en el muestreador, proceder a la obturación del fondo y finalmente extraer.	La retención de la muestra se realiza por medio de una membrana de plástico que se tiene para obturar el fondo.	Obtener muestras de arena para determinar la compacidad y realizar ensayos dinámicos en el laboratorio.		Su operación es sencilla y dentro de este grupo de técnicas puede considerarse el más aceptable. En el fondo del muestreador se pierde calidad por el efecto del obturador. Los ensayos de los autores indican una buena aproximación a la compacidad del depósito.
Muestreador de gran diámetro 1977	El procedimiento general de estos métodos es: Realizar una hincada en el muestreador, proceder a la obturación del fondo y finalmente extraer.	Una malla que es extendida en el fondo del muestreador después de tomada la muestra es la encargada de evitar su pérdida.	Conservar estructura y compacidad del sitio y obtener especímenes para la realización de ensayos de resistencia estática y dinámica	En forma general se puede decir que el hincado del muestreador un volumen de suelo perturbándose estructuras y compacidad. La extracción de muestra ocasiona cambios importantes por lo que deberán tomarse precauciones. Considero que a lo más que puede aspirarse técnicas es a obtener una relación de vacíos representativa del	Necesita un amplio equipo de apoyo para el hincado del muestreador lo que hace costoso al método. Es necesario el hincado de equipo de anclaje lo que puede originar perturbación. La humedad se pierde puesto que se permite el drenaje a la muestra, este drenaje puede originar alteraciones sobre todo si el suelo es suelto. Los especímenes de ensayo se toman de la muestra extraída del sitio por un muestreo dentro de ella.
	Se toma a la muestra en un pozo a cielo abierto recor			Requiere la presencia de cohesión en la arena la cual puede deberse a tensión capilar.	

<p>Muestreador de gran diámetro</p> <p>1977</p>	<p>El procedimiento</p>	<p>hincar el muestre</p> <p>la pérdida de la</p>	<p>dida en el fondo del muestreador despues de tomada la muestra es la encargada de evitar su pérdida.</p>	<p>compacidad del sitio y obtener especímenes para la realización de ensayos de resistencia estática y dinámica</p>	<p>En forma general se requiere un volumen de suelo por manejo pueden ocasionar maximas precauciones. técnicas es a obtener</p>	<p>Es necesario el hincado de equipo de anclaje lo que puede originar perturbación. La humedad se pierde puesto que se permite el drenaje a la muestra, este drenaje puede originar alteraciones sobre todo si el suelo es suelto. Los especímenes de ensayo se toman de la muestra extraída del sitio por un muestreo dentro de ella.</p>
<p>Muestreo manual</p>	<p>Método</p> <p>GEI</p>	<p>Se toma a la muestra en un pozo a cielo abierto recorriendo cuidadosamente al suelo delante del tubo muestreador con un diámetro ligeramente mayor que el de él y aplicando ligera presión vertical para avanzar.</p>			<p>Requiere la presencia de cohesión en la arena la cual puede deberse a tensión capilar.</p> <p>Está limitada su aplicación por la presencia del NAF y por la estabilidad de taludes; solucionar estos problemas puede resultar costoso y producir alteraciones al depósito.</p> <p>Es la técnica más recomendable para muestreo en arenas.</p>	

6) Recomendaciones.

El objetivo del estudio del subsuelo es establecer las condiciones del sitio y determinar parámetros para la solución de problemas prácticos en la ingeniería de suelos. Este objetivo debe estar bien claro en la persona que realiza un estudio del subsuelo. En este trabajo solo hemos analizado algunas técnicas de muestreo en arenas sin mencionar si su localización las hace representativas o no del depósito.

Para el estudio de los depósitos arenosos, la práctica común cuenta con técnicas como el ensayo de penetración estandar (STP) el cual permite correlacionar empíricamente sus resultados con propiedades del subsuelo. También es común formar especímenes con compacidad semejante a la del sitio para con ellos definir propiedades mecánicas o hidráulicas; es aquí donde podemos hacer uso de las técnicas estudiadas con objeto de establecer la compacidad "in situ". Por otra parte, se pretende la obtención de muestras de alta calidad que puedan ser ensayadas en el laboratorio, y en la actualidad se realizan muchos estudios en este sentido. Algunas de las técnicas estudiadas persiguen este objetivo.

Para seleccionar el proceso de estudio de un depósito para un problema específico, el ingeniero debe conocer las posibilidades de las técnicas existentes. En general, la selección del equipo a usar en un caso dado deberá realizarse tomando en cuenta lo siguiente:

- a) Importancia del estudio que se realiza (clase y tamaño)
- b) Calidad requerida
- c) Equipo existente
- d) Profundidad y condiciones de muestreo
- e) Costo del proceso seleccionado

El número de sondeos y el refinamiento de los mismos debe ante todo proporcionar resultados de valor práctico

El ingeniero debe conocer, para un caso dado, el efecto que un error en la determinación de un parámetro trae consigo. Tal conocimiento le permitirá seleccionar la técnica que puede dar le resultados prácticos a menor costo y esfuerzo.

Como ejemplo de lo anterior considerese el caso de la determinación de la resistencia al corte de una arena. Para ella tenemos que

$$S = \sigma \tan \phi$$

el valor de σ puede estimarse con bastante precisión y el porcentaje de variación en la resistencia estimada con un valor de $\phi = \phi_c$ distinto del real ϕ_r está dada por:

$$\% \text{ variación de resistencia} = \frac{\tan \phi_r - \tan \phi_c}{\tan \phi_r}$$

diferencias entre los valores de ϕ_c y ϕ_r dan porcentajes de variación de resistencias como se indica enseguida

$\phi_r - \phi_c$	% de variación de la resistencia
2°	de 5 a 7 %
4°	de 10 a 14 %

estas variaciones pueden considerarse poco importantes si se toma en cuenta que los factores de seguridad comúnmente adoptados en donde interviene este valor son de 1.5 ó 2.0. Para este caso es recomendable el uso de técnicas sencillas como el SPT, procurando asegurar una realización escrupulosa del ensayo.

Para problemas de permeabilidad es conveniente la realización de ensayos en el sitio, por lo que se recomiendan siempre que sea posible. La determinación de la permeabilidad en el laboratorio puede llevarnos a ignorar aspectos de importancia fundamental en cuanto a las propiedades hidráulicas de una masa de suelo.

Cuando se considere necesaria una buena determinación de la

relación de vacíos en el sitio, recomendando el uso del Twist-sampler. Esta técnica es sencilla y de bajo costo.

Las técnicas de impregnación como la de Van Bruggen y la de Karol no son de utilidad, pues sus alcances están por debajo de la calidad que equipos como el Twist-sampler pueden proporcionar. Sin embargo, el logro de un material inyectante satisfactorio puede cambiar esta aseveración.

El congelamiento es una técnica que en la actualidad está siendo ampliamente estudiada. Los efectos del congelamiento en el suelo producen perturbación, pero es posible determinar muy aproximadamente la relación de vacíos del sitio. El defecto fundamental para un uso práctico con esta intención es su alto costo y lo complicado de la técnica.

Los problemas comunes de la práctica en ingeniería de suelos pueden resolverse con el uso de técnicas como el SPT, el ingeniero deberá tener en cuenta las incertidumbres de su uso.

6) Bibliografía.

1. Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes.
M.J. Hvorslev
ASCE Soil Mechanics Division, 1948.
2. The practice of sampling soil and rock.
H.Q. Golder
ASTM. Sampling of soil and rock, STP 483, 1971.
3. Current practice on site investigation.
Satoru Ohya
6th Southeast Asian Conference on Soil Engineering
Taipei 1980.
4. State of the art of undisturbed sampling of cohesionless soils.
W.F. Marcuson III y A.G. Franklin
Geotechnical Engineering, vol. 11, 1980.
5. Proposal for 'quality-classes' in soil sampling in relation to boring methods and sampling equipment.
K.H. Idel, H. Muhs y P. Von Soos
Speciality session #1, 7th ICSMFE México 1969.
6. Influence of type of soil upon the accessibility of soil sample quality.
P. Von Soos
Proceedings of speciality session, vol 1.
IV Asian Regional Conference of ICSMFE, Bangkok 1971.
7. Sampling and testing undisturbed sands from boreholes.
J.P. Van Bruggen
Proceedings of the 1th ICSMFE.

8. Use of chemical grouts to sample sands.
R.K. Karol
ASTM, Sampling of soils and rock, STP 483, 1971.
9. A simple method for undisturbed sand sampling by freezing
Y. Yoshimi, M. Hatanaka y H. Oh-Oka
Proceedings of speciality session #2, 9th ICSMFE.
10. New methods and technique in subsurface explorations.
F.E. Fahlquist
Journal of the Boston Society of Civil Engineers, 1941.
11. A new sampling tool for use in cohesionless sands below
ground water level.
A.W. Bishop
Geotechnique Vol 1, 1948.
12. Some investigations on granular soils with particular re-
ference to the compressed- air sand sampler.
I.K. Nixon
Geotechnique Vol 4, 1954.
13. The new sand sampler Twist-Sampler and its aplication to
evaluation of dynamic soil properties.
S. Ohya, K. Ogura y K. Yokota
Oyo Corporation. R.P. 4115.
14. Large diameter sand sampling to provide specimens for li-
quefaction testing.
K. Ishihara y M.L. Silver
Proceedings of speciality session #2, 9th ICSMFE.
15. Methods to evaluate quality of undisturbed samples of sand.
I. Tohno
Proceedings of speciality session #2, 9th ICSMFE.

16. Effects of storage and extrusion on sample properties.

A. Arman y K.L. McManis

Soil specimen preparation for laboratory testing

ASTM STP 599, 1976.

17. Transportation, preparation and storage of frozen soil samples for laboratory testing.

T.H.W. Baker

Soil specimen preparation for laboratory testing

ASTM STP 599, 1976.