

714

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

**INSTRUCTIVO DE CAMPO PARA PRUEBAS
DE MECANICA DE SUELOS**

TESIS PROFESIONAL

que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

presenta el pasante

RAUL HARO VELEZ

MEXICO, D. F.

1947



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

INSTRUCTIVO DE CAMPO PARA PRUEBAS
DE MECANICA DE SUELOS

TESIS PROFESIONAL

que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

presenta el pasante

RAUL HARO VELEZ

DESCARTE

MEXICO, D. F.

1947

TESIS.
CIVIL.
1947.

A mi madre

Sra. JUANA VELEZ VDA. DE HARO
como una ofrenda a su esfuerzo

A la memoria de mi padre

Sr. FELIPE DE J. HARO

A mi esposa

Sra. CARMEN LOPEZ DE HARO

por su cariñosa ayuda

A mis hijos.

GLORIA ELVIRA

RAUL

RAFAEL

A mis hemmanos:

AURORA

ESPERANZA

MARIO.



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
Dirección
Núm. 731-1469
Exp. Núm. 731/214.2/-

Al Pasante señor Raúl Haro Vélez.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa me es grato -- transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor profesor ingeniero Johová - Guerrero Torres, para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

"Las diversas operaciones con que se determinan -- aquellas características de los suelos de las que dependen de su comportamiento en las obras de Ingeniería Civil, se han hecho hasta ahora casi exclusivamente en laboratorios. Sin embargo, en muchos casos sería preferible -- procurar la obtención de esos datos en el mismo sitio -- de cada obra. Solamente es necesario que tanto los métodos como el instrumental, se sujeten a una estricta sistematización y uniformidad para que los resultados sean confiables.

Formúlese y desarróllese, con esa finalidad, un -- Instructivo de Campo para pruebas de Mecánica de Suelos en general, pero principalmente dedicado a las que tienen aplicación en las obras hidráulicas. Dicho instructivo debe abarcar desde la localización y clasificación de bancos hasta el control del material y procedimientos de construcción."

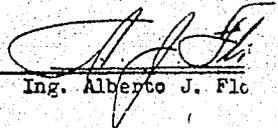
Ruego a usted que tome nota del contenido de la Circular que me permito enviarle adjunto al presente, con el fin de que cumpla con el requisito a que ella alude, indispensable para sustentar su examen profesional.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., a 13 de octubre de 1947

EL DIRECTOR


Ing. Alberto J. Flores

Circular anexa.
AJF.TB.mr.

INTRODUCCION.

Casi todo lo que se conoce de la mecánica de los suelos ha sido obtenido de un modo empírico, razón por la cual está sufriendo constantemente cambios, tanto en sus conceptos como en sus procedimientos.

Las pruebas de campo y la experiencia que se saque de sus resultados, son la mejor aportación que puede tener la mecánica de los suelos, para llegar a su completo desarrollo.

Para un laboratorio experimental donde día a día se hacen esfuerzos por mejorar métodos y equipos, y conocer mejor los suelos, las pruebas de campo son el punto de contacto entre la experiencia y la teoría.

Este trabajo tiene por objeto describir y estandarizar las pruebas de campo necesarias para tener un conocimiento general de las características de los suelos y su comportamiento en una estructura en que intervengan en la cimentación o como material de construcción.

Estas pruebas han sido divididas, en el desarrollo del tema, en 2 partes principales: pruebas que nos sirven para clasificar a los suelos por grupos de iguales o semejantes características mecánicas y pruebas con las cuales determinamos las características mecánicas de diseño y que son las que tienen aplicación directa en la ingeniería. Dentro de éste último grupo podríamos considerar a otro tipo de pruebas que se describen, las de control durante la construcción, que no son otra cosa que la verificación de las características de diseño.

Al intentar hacer este instructivo de pruebas de campo, no he pasado por alto que se requiere mucha experiencia para llevarlo a cabo con buen éxito. Sin embargo, deseando hacer algo que pueda ser de alguna utilidad y no teniendo la experiencia necesaria, he tratado de recopilar y ordenar aquellas pruebas que pueden efectuarse con equipo y procedimientos no muy laboriosos, con un laboratorio improvisado en el campo, pero suficien-

te todo ello para no sacrificar la bondad de los resultados y el fin a que se les destina.

Tanto los procedimientos de pruebas como los aparatos requeridos para ellas, que describiré mas adelante, han sido tomados de las experiencias habidas y no pretendo que sean originales; simplemente he escogido aquellas que me parecen los más adecuados para este trabajo que no tiene más pretensiones que las de un camino a seguir, para poder llevar a cabo un estudio preliminar de los suelos. En este estudio, por la sencillez de sus métodos, solo se tendrá un conocimiento general y habrá necesidad de mandar, resultados y muestras, a un laboratorio central que verifique o afine dichos resultados.

Algunos de los dibujos y gráficas fueron tomados del "Soil Testing Set No. 1 and Expedient tests" del War Department Technical Bulletin Tb5-253-1, por la ayuda gráfica que dan a la claridad del tema expuesto.

GENERALIDADES.

Los suelos son los más antiguos y complejos de los materiales de construcción usados en la ingeniería.

Desde los tiempos más remotos el hombre ha construido sus estructuras en la corteza terrestre y con los materiales naturales que se encuentran en ella, pero de entre todos los principales como la madera, el acero, etc..., los suelos son los menos conocidos en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas.

El ingeniero puede encontrar datos físicos precisos y completos sobre la mayoría de los materiales de construcción en libros, manuales, tablas, sin necesidad de hacer pruebas para determinar sus propiedades, y de una manera tan segura y económica que es raro que una estructura bien proyectada fracase debido a un comportamiento inesperado de alguno de estos materiales. Sin embargo no es posible encontrar datos correspondientes a los suelos y es que cada uno se puede comportar de manera diferente, y aún el mismo quedar en condiciones distintas según sea el tratamiento que se le dé. El no conocer el comportamiento de un suelo puede hacer que se le haga trabajar a esfuerzos que aún por moderados que sean, estén bien abajo de lo que es capaz de resistir. El Dr. Casagrande en su artículo "La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante y su relación con la estabilidad de presas de tierra", hablando de los asentamientos de una estructura que descansa sobre arcilla, dice: "Aún cuando los asentamientos como tales, pueden ser muy grandes y aún causar daños serios a la estructura, no tenemos derecho de hablar de una falla del suelo. Sencillamente sucede que la estructura no ha sido diseñada para resistir el asentamiento debido a los cambios volumétricos y a las deformaciones del suelo comprensible que lo sostiene".

La necesidad de conocer lo mejor posible los suelos, ha hecho, sobre

todo en los últimos años, que se ensayen por medio de diferentes pruebas, pues no es una sola, sino el conjunto de varias de ellas, que nos hacen posible conocer aunque sea de un modo imperfecto, las características con las cuales podamos trabajarlos. Esto también redundaría enormemente en la economía, pues cuando el Ingeniero no ha podido predecir cual será el comportamiento de un suelo dado, ha tenido que construir sus estructuras con factores de seguridad muy grandes. Probablemente el uso de estos factores aumentados, como dice Fred L. Plumer, o quizá más bien "factores de ignorancia" ha sido todavía más costoso que los fracasos habidos.

Es necesario hacer estudios de mecánica de suelos, en el campo al igual que se hacen los estudios topográficos, hiprológicos, etc..., que redundan siempre en el mejor conocimiento y son armas para llevar a cabo una obra con toda la seguridad y economía que se requiere.

Así pues en este trabajo sólo se hace mención de aquellas pruebas que se pueden hacer directamente en el lugar en que se piense construir alguna obra, con métodos y aparatos lo más sencillos y rudimentarios posibles, siempre que no sacrifiquen esencialmente su exactitud. Sin embargo hay que hacer notar que tanto en este tipo de pruebas como en cualquier otra efectuada aún con los mejores elementos el factor "operador" es de suma importancia, pues descuidos o negligencias en él, puede llevar a resultados tan inexactos que pueden ser más perjudiciales que no hacer pruebas.

Los suelos son el resultado de procesos naturales. Es de esperarse por lo tanto, que carezcan de la uniformidad de los materiales de construcción manufacturados. Dos depósitos de suelos nunca llegan a ser idénticos y aún un mismo depósito puede variar bastante entre puntos situados a unos cuantos metros de distancia. Por lo tanto no puede esperarse que una muestra tomada en cualquier lado sea representativa de una gran masa de suelo. Este puede estar formado por rocas desintegradas y erosionadas o bien por materia orgánica en estado de descomposición. Puede ser de origen diatomáceo o volcánico. En todos los suelos hay agua en cantidades variables y la cantidad de ella determina en gran parte el comportamiento del suelo al ser sometido a cualquier prueba.

La mecánica de los suelos considera a los materiales como realmente existen. Desde el punto de vista de la Ingeniería, trata el suelo en el estado que guarda dentro de la naturaleza, dando debida consideración a su origen, tratamiento anterior, constituyentes y condiciones actuales y del uso que trata de dárseles.

El Dr. Terzaghi en su libro Mecánica Teórica de los Suelos, dice: "La

mecánica de los suelos, es la aplicación de las leyes de la mecánica e hidráulica, a los problemas de ingeniería relacionados con los sedimentos y otros depósitos no consolidados de partículas sólidas producidos por la desintegración mecánica o química de rocas, prescindiendo de que contengan o nó elementos constituidos por substancias orgánicas".

Según los agrónomos, el término suelo se reserva para la capa superior disgregada, que mantiene las plantas. Por otra parte, en Ingeniería civil, el material que el geólogo llama manto de roca, es vulgarmente conocido como suelo o tierra y es la porción superficial de la corteza terrestre de roca no consolidada de todos los tipos, sin importar su profundidad.

El proyectista para poder determinar la estabilidad de los taludes, terraplenes, cortina, etc. . . . , necesita conocer las características mecánicas de los suelos, tales como permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante, que le permiten hacer el diseño seguro y económico; pero al mismo tiempo debe tener la seguridad de que al construirse la obra tales propiedades se conservan. Es así como al diseñar una estructura de concreto se requiere durante la construcción, sacar especímenes de prueba y obtener las fatigas a que se pueden someter y que deben ser las de diseño, controlando así la seguridad de la obra.

Por ésto en este instructivo no sólo se describen las pruebas que determinan las características mecánicas de los suelos para poder diseñar una obra sino también las pruebas de control durante la construcción que en el caso de estructuras de tierra son de mayor importancia, dado que un mismo material se comporta de diferentes maneras según el tratamiento que se le de y las condiciones en que trabaje, tales como humedad, compactación, drenaje, etc....

Los procedimientos de construcción, en tratándose de estructuras en que se usen los suelos como material principal, son de una gran importancia y nunca se exagerará al tomar todas las precauciones posibles. De nada serviría hacer una gran número de pruebas para conocer las características de las tierras; inútil sería proyectar lo mejor posible la estabilidad de la estructura, si los procedimientos y el equipo de construcción no fueran los adecuados para que las tierras en masa se comportaran como se había previsto y en muchos de los fracasos habidos seguramente no fué el desconocimiento de las propiedades de los suelos el factor principal, sino las condiciones en que en realidad se encontraba dentro de la estructura.

Es el agua uno de los factores que hay que controlar principalmente durante la construcción. Todos los suelos necesitan de una determinada cantidad de agua como lubricante para compactarse debidamente. Los suelos

secos se comportan de muy distinta manera que los suelos saturados o casi saturados. El exceso de agua es tan importante como la escasez y durante la construcción es tan necesario dar a unos suelos la humedad que necesitan como drenar debidamente aquellos que así lo requieran.

La compactación de las tierras, que en gran parte depende del grado de humedad y de la eficiencia del equipo con que se efectúa, amerita un especial control durante la construcción para poder obtener los pesos volumétricos, relación de vacíos, etc. . . . de la masa de suelo y en la cual intervienen tan directamente en su permeabilidad y resistencia al esfuerzo cortante, que son características determinantes para suponer que resistirán las fatigas a que se sometan ya sea como cimentación de una estructura o como parte integrante de ella.

Así pues, en el transcurso de este instructivo veremos tanto las pruebas para determinar las características del diseño, de los suelos, como los de control durante la construcción de las estructuras en que interviene la mecánica de los suelos.

I.—ANÁLISIS DE PRETAMOS

1.—IDENTIFICACION PRELIMINAR DE LOS SUELOS.

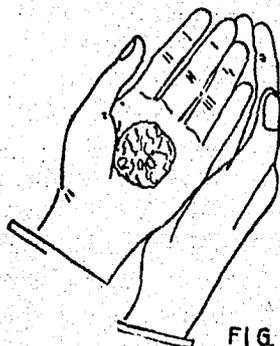
Inspección visual.—Debe hacerse al llegar al sitio en que se va a hacer la obra una inspección visual de los terrenos adyacentes, con objeto de escoger primero aquellos lugares cuya topografía y distancia sean más favorables. Observar a ojo en los paredones del río, barrancas o pozos existentes el aspecto del material. Procede después hacer una identificación rápida de los suelos, por medio de métodos simples que no requieren instrumentos de laboratorio y que se describen a continuación:

a).—*Tamaño y graduación de los granos de suelo.*—A ojo se puede ver si el suelo es de granos finos o gruesos. Cuando el material es de granos gruesos se puede ver si es arena o grava y se pueden clasificar por su grado de angularidad o redondez. Cuando la cantidad de arena y grava es mayor del 60% del total de la muestra, los efectos de la angularidad de las partículas de arena y grava se refleja en el incremento de los valores de estabilidad de una estructura. Los tamaños de los granos de arena y grava se ven a simple vista, pero los granos más finos que la arena no, y es necesario identificarlos por otros métodos. Para observar la graduación de suelos de grano grueso, extiéndase una muestra representativa sobre una superficie plana y obsérvese la distribución y tamaño de los granos.

Sedimentación.—Para la graduación de suelos de grano fino, téngase una probeta de 100 c.c. graduada, con agua; tómese una muestra del material que se está observando y colocándolo dentro de la probeta agítese y deje que se asiente. Una clasificación aproximada la indica la separación de las partículas, los más gruesos hasta el fondo, los más finos arriba. La arena se empieza a asentar inmediatamente, el limo permanece en suspensión cuando menos 1 minuto; la arcilla 1 hora o más y los coloides tiem-

po indefinido. Conviene antes de agitar la probeta dejar unos minutos remojando el material para que se deshagan algunos grumos de suelo. Se puede medir el volumen de la muestra que se coloca en la probeta y por el volumen asentado en el primer minuto, saber aproximadamente el % de arena.

b).—*Agitado*.—Tómese una pequeña muestra del suelo y humidézcase, amasándolo bien y extendiéndolo en la palma de la mano, agítese horizontalmente la mano o bien golpee con la mano libre sobre la que tiene la muestra. Obsérvese si el agua fluye a la superficie de la muestra, haciéndola aparecer suave y lustrosa. Apriete la muestra entre los dedos para que vaya perdiendo humedad, lo que se nota al irse haciendo más opaca la muestra y al mismo tiempo se va endureciendo hasta que llega un momento en que al apretarla se desmorona.



Si el agua no aparece en la superficie, al agitar la muestra, indica arcilla muy plástica o turba.

Si el agua aparece rápidamente en la superficie, indica falta de plasticidad, que es el caso de un típico limo inorgánico, polvo de roca o arena muy fina.

c).—*Determinación de la cohesión*.—Desmoronando una muestra del suelo seco, se puede tener una idea de su resistencia a la compresión, la cual es una medida de su cohesividad.

Póngase una muestra del suelo a secar, quitándole el material grueso y desmórnela entre los dedos, pudiéndose efectuar esto con más o menos presión.

Si el suelo presenta una ligera resistencia, indica limo inorgánico, roca intemperizada o arena limosa. En estos suelos aunque la muestra se haga polvo se sienten los granos de arena al moverla entre los dedos.

Si el suelo presenta una resistencia alta, indica una arcilla inor-

gánica altamente plástica. La muestra secada se puede romper pero no puede pulverizarse con la presión de los dedos.

Por último, una resistencia media del suelo a desmoronarse, indica una arcilla inorgánica, de baja o mediana plasticidad. Para pulverizar la muestra se requiere una considerable presión en los dedos.

d).—*Pruebas de brillo.*—La brillantez de una muestra al frotarla nos puede indicar la clase de material de que se trata. Frótese una muestra seca o muy poco húmeda con la uña o una navaja. Si la superficie queda brillante indica una arcilla altamente plástica; si la superficie queda opaca indica limo o arcilla de baja plasticidad.

e).—*Pruebas de plasticidad.*—Plasticidad es la propiedad física de los granos finos de suelo de permitir ser amasado en una consistencia de "masilla", según su contenido de humedad.

Prepárese una muestra del suelo, quitando las partículas gruesas (pase, si es posible, el material por la malla número 40) y humedeciéndolo. Comience a rodillar la muestra con las palmas de la mano o sobre una mesa, hasta que tenga aproximadamente 3 mm. de diámetro. Vuelva a amasar la tira y comience a rodillarla de nuevo hasta que vuelva a tener 3 mm. de diámetro. Repítase el proceso hasta que la pérdida de humedad haga que la tira se quiebre al rodillarse. El contenido de agua en este momento se llama límite plástico. Note la dureza de la tira al alcanzar este límite y pruebe si los pedazos se pueden juntar de nuevo.

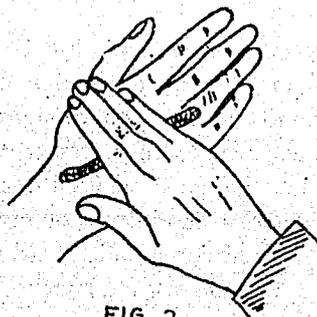


FIG. 2

Las arcillas altamente plásticas forman una tira dura, cuando han sido remoldeadas, estando abajo del límite plástico, y pueden ser deformadas con una fuerte presión de los dedos sin desmoronarse.

Los suelos medianamente plásticos forman una tira de dureza media y los pedazos se desmoronan pronto después de ser alcanzado el límite plástico.

Los suelos de baja plasticidad forman una tira débil en que los pedazos ya no pueden juntarse estando abajo del límite plástico.

Suelos plásticos conteniendo materia orgánica forman tiras muy blandas y esponjosas.

En suelos muy arenosos, no se puede ni siquiera hacer la tira.

Con estas pruebas, se pueden clasificar cualitativamente los suelos en la forma siguiente:

GRAVA.—Se considera grava todo material, cuyas partículas son retenidas en la malla No. 4 (4 hilos por pulgada), o sea un diámetro de 4.7 mm. Se identifican por un examen visual.

ARENA.—El material que pasa por la malla 4 y es retenido en la No. 200 (diámetro comprendido entre 4.7 mm. y 0.074 mm.), se denomina arena gruesa, media o fina. La identificación también se hace por un examen visual. Cuando tiene un pequeño por ciento de material orgánico o partículas inorgánicas menores de 4.7 mm. la arena se llama arena sucia.

Para identificar las arenas como sucias o limpias, tómense unos 2 ó 3 cm³ de muestra de suelo, póngase en un tubo de ensayo de 16 cm. de alto. Se llena de agua el tubo y se agita. Si a los 30 segundos de estar el tubo en reposa se tienen 10 cm. del tubo con agua clara, la arena se clasifica como arena limpia; si después de los 30 segundos el agua sobre la arena asentada está turbia, se clasifica como sucia.

Cuando la arena está seca, dejando caer pequeñas cantidades de ella, de una mano a la otra, se puede identificar como arena sucia si produce polvo.

Limo inorgánico.—Esta tierra es un material de grano fino, que pasa la malla 200. El diámetro máximo de las partículas de limo es el límite que puede ver el ojo sin ninguna ayuda. Los diámetros están comprendidos entre 0.074 mm. y 0.002 mm. Cuando seco forma granos que pueden desmoronarse fácilmente con los dedos y es fácil confundirlo con arcilla. Si tiene materia orgánica o coloides orgánicos, el material es limo orgánico.

Identificación.—El limo inorgánico puede moldearse formando cilindros delgados sin que se rompa cuando está húmedo, pero apenas empieza a secarse se agrieta. Cuando se seca sobre la mano es fácil despegarlo. Cuando está húmedo se siente suave y sedoso sin ser pegajoso.

Cuando el limo inorgánico está seco, es fácil hacerlo polvo con los dedos. Si este polvo se frota sobre la mano se siente ligeramente arenoso; en cambio si el material es arcilla no es posible sentir los granos individuales y da una sensación sedosa.

Arcilla inorgánica.—Este es un material de grano muy fino que tiene

una gran cohesión. Cuando está seco forma terrones que no pueden ser rotos con facilidad por los dedos.

Una arcilla dura no puede moldearse con los dedos. Una arcilla media puede moldearse con la presión de los dedos y una arcilla suave cuando está recién sacada del suelo puede moldearse fácilmente con las manos.

Identificación.—Los diámetros individuales de las arcillas no pueden verse sin ayuda de instrumentos. Este material tiene una apariencia lisa, suave y homogénea. Puede moldearse en cilindros muy delgados sin que se agriete, aún variando grandemente el contenido de agua. Los cilindros tienen la suficiente cohesión para soportar su propio peso cuando se sostienen por un extremo. Cuando está húmedo se pega y es muy difícil lavarlo. Cuando se seca en la mano no se hace polvo como el limo, sino que se agrieta y se desprende en pedazos gruesos. Se ca mucho más lentamente que el limo. La diferencia entre las arcillas poco plásticas, medianas o altamente plásticas, está basada en el grado en que el material presenta las anteriores características. Cuando este material está seco posee una gran cohesión que aumenta de las arcillas poco plásticas a las altamente plásticas.

Si la superficie del material, poco húmedo o seco, se frota con una navaja, se pone lustrosa; esto no sucede para arcillas muy poco plásticas o limos.

La arcilla coloidal es un material formado por partículas de un diámetro menor de 0.2 micras. Cuando tiene muy alto contenido de agua da una sensación jabonosa. Es muy pegajosa y difícil de quitar de las manos. Cuando está seca forma gruesos pedazos que no pueden ser quebrados con las manos.

Limos y arcillas orgánicos.—Estos materiales son limos y arcillas con un contenido más o menos grande de materia orgánica. En general la materia orgánica hace el material más plástico, más comprensible y más impermeable.

Identificación.—Se pueden identificar por el color gris oscuro o negro que tiene el material; este color obscuro generalmente está distribuido irregularmente en la masa del suelo; tiene también un olor más o menos perceptible de descomposición. Cuando se moldea el material tiene muy poca resistencia y da una sensación de suavidad diferente de la que producen los limos y arcillas inorgánicos. Cuando está seco puede romperse con más facilidad que las arcillas y limos inorgánicos.

Turba.—La turba es un material con alto porcentaje de materia orgánica parcialmente carbonizada; consiste de fibra y materia orgánica fina.

mente dividida, mezclada por lo general con arena fina y limo y algunas veces arcilla. Es más permeable que el limo y muy compresible.

Identificación.—Las fibras individuales casi siempre pueden verse en la masa, no es plástico y se siente muy suave y migajoso cuando se moldea con los dedos. Por lo general tiene un olor a descomposición; el material seco pesa menos que el mismo volumen del suelo inorgánico.

Relleno.—Relleno es la clasificación que se da a todos los depósitos hechos por el hombre, de materiales inorgánicos o de desecho de todas clases. La clasificación de los rellenos se hace indicando el material predominante, por ejemplo: relleno de arena y grava, relleno de ceniza, relleno de basura, etc.

El relleno de arcilla se conoce porque la masa muestra partes duras y partes suaves, dado que los depósitos artificiales raramente forman una masa uniforme.

Los rellenos de arena limpia y grava son difíciles de identificar, a veces la única razón para sospechar de que el material no es un depósito natural, es su apariencia opaca o muerta.

Conviene hacer un cuadro como el que se adjunta, para ir anotando las observaciones hechas en cada prueba, para finalmente hacer la clasificación aproximada del material, pues nunca se deben clasificar los suelos por los resultados de una sola de las pruebas, sino con la ayuda de todas.

CLASIFICACION POR MEDIO DE PRUEBAS RAPIDAS

UBICACION Y Nº DEL POZO	P R U E B A S					CLASIFICACION	OBSERVACIONES
	SEDIMENTACION <i>Estimación del % de material que se asienta en 1 min.</i>	AGITADO <i>Velocidad con que fluye al agua a la superficie</i>	COHESION <i>Resistencia a la presión de los dedos</i>	PLASTICIDAD <i>Mayor o menor facilidad para ser rodillada</i>	BRILLO <i>Por frotación en la superficie</i>		
<i>Presa Alvaro Obregón Prestamo Pochote. Pozo 46</i>	<i>90 a 95%</i>	<i>rápidamente</i>	<i>ligera</i>	<i>nula</i>	<i>nulo</i>	<i>arena gruesa y fina</i>	<i>Arenas de tepalcate que se pueden desmoronar - grumos muy duros</i>
<i>Presas Alvaro Obregón Prestamo Pochote. Pozo 52</i>	<i>80%</i>	<i>lentamente</i>	<i>alta</i>	<i>mediana</i>	<i>poco</i>	<i>arena arcillosa</i>	
<i>Pochote-Pozo 58</i>	<i>65 a 70%</i>	<i>lentamente</i>	<i>media</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>arena arcillosa</i>	
<i>Pochote-Pozo 64</i>	<i>50 a 55%</i>	<i>lentamente</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>regular</i>	<i>arcilla arenosa</i>	<i>grumos muy duros</i>
<i>Pochote-Pozo 65</i>	<i>60%</i>	<i>lentamente</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>regular</i>	<i>arcilla arenosa</i>	
<i>Pochote-Pozo 66</i>	<i>70%</i>	<i>lentamente</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>regular</i>	<i>arena arcillosa</i>	
<i>Pochote-Pozo 68</i>	<i>65 a 70%</i>	<i>lentamente</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>medic.</i>	<i>arcilla arenosa</i>	

MUESTREO

Una vez escogida a ojo, o por las pruebas aproximadas anteriores, una zona, deben tomarse muestras del suelo para hacerles las pruebas necesarias para en definitiva aceptar o rechazar esa zona como buena. Los tipos de suelos que serán muestreados, el número de muestras y dónde y cómo se deben tomar, deberá ser decidido por el encargado de la exploración.

Tipo de muestras:

a).—*Muestras en costal*: Estas se obtienen extrayendo el material del suelo ya seco: con pala de mano haciendo un pozo a cielo abierto; con pala de postear, o con alguna otra herramienta de mano conveniente, y llenando un costal con el material extraído sin importar que se alteren las condiciones en que está colocado este material en el suelo.

Estas muestras se usan para hacer las siguientes pruebas: Análisis granulométrico; pruebas de plasticidad, pruebas Próctor, densidad, triaxial y permeabilidad.

b).—*Muestras de contenido de humedad*.—Para determinar la humedad natural de un suelo, la muestra del suelo que se tome, debe guardarse inmediatamente en un recipiente con tapa, para evitar las pérdidas de humedad por evaporación, antes de ser pesadas. Son suficientes 100 gramos.

c).—*Muestras inalteradas*.—Una muestra inalterada es aquella en que el suelo se corta, se saca y se empaqueta, con la menos posible alteración de sus condiciones naturales. Estas muestras se usan para:

- 1.—Determinar el peso volumétrico del suelo.
- 2.—Investigar la resistencia del suelo inalterado por la prueba de compresión para muestras no confinadas.
- 3.—Para mandarlas a un laboratorio para su examen con pruebas especiales.

Localización y registro de cualquier tipo de muestra:

Es de la responsabilidad del encargado de la exploración ver lo siguiente:

a).—Cada pozo de prueba, sondeo o cualquier otra excavación de exploración, debe ser referida, numerada y registrada.

b).—Se debe llevar un registro con la descripción, profundidad, observaciones, etc., de cada pozo de prueba.

Cada muestra es identificada por la siguiente información:

Nombre del proyecto.

Número del pozo.

Profundidad a la que fué tomada la muestra.

Deben hacerse dos tarjetas con esta información, una para amarrar al exterior del costal y otra que se pondrá en el interior, para caso de extravío de la exterior.

Procedimiento de Muestreo

Al empezar a estudiar la zona o banco de préstamos ayuda mucho hacer pozos con pala de postear, para hacer las pruebas preliminares hasta la profundidad en que se pueda operar con la pala y así ir desechando los materiales malos, para solo hacer pozos a cielo abierto, que son más costosos y más tardados, en aquellos lugares en que no se puede explorar con pala de postear o donde al explorar con ella se ve que el material puede ser bueno y conviene hacer un pozo a cielo abierto y a mayor profundidad. Cuando el terreno permite hacer los pozos con pala de postear, es suficiente hacer los pozos con esta herramienta y tomar las muestras con ella.

El muestreo, atendiendo al equipo con que se va a explotar el préstamo, o para lo que se quiera la muestra, puede ser de dos clases:

α).—Muestras por capas.

z).—Muestras integrales de toda la profundidad estudiada.

α).—El muestreo por capas debe hacerse, cuando se explora para conocer las condiciones de una cimentación en que las muestras de suelo deben tomarse individualmente de cada tipo de suelo encontrado.

También cuando la explotación del préstamo vaya a hacerse con escrapas o alguna otra maquinaria que solo vaya excavando capas delgadas del suelo, por lo que se necesita hacer el estudio individual de cada tipo de suelo encontrado.

Para obtener estas muestras con pala de postear, hágase lo siguiente

1.—Cada vez que se saca la pala, sale con una muestra de suelo, con

la cual se puede hacer un pequeño montón. Váyanse poniendo éstos en hilera en correcto orden.

2.—Tómese una muestra típica de los montones que presentan las mismas características y así cada vez que un grupo de montones cambie de tipo.

Con la pala y los tubos de extensión se puede tener la profundidad y espesor aproximados de cada tipo de suelo muestreado.

Cuando las muestras se obtienen de pozos a cielo abierto:

1.—Una vez abierto el pozo hasta la profundidad que se quiere o a la cual se pudo profundizar, hágase un canal en una de sus paredes, de arriba a abajo, quitando el material flojo y seco, de tal manera que quede expuesto el suelo natural y se pueda ver claramente cualquier variación en su composición.

2.—Por medio de un bote que un hombre puede ir bajando con un cable desde la superficie, otro hombre va llenando el bote con material de un solo tipo de suelo por medio de un pico chico (muestreador), rascando el canal abierto, en toda la altura que corresponde al mismo tipo de suelo.

3.—Tómese una muestra típica del material así obtenido.

4.—Repítase la operación para cada capa de suelo distinto.

5.—Cada una de estas muestras típicas así obtenidas deberá guardarse por separado en un costal, poniéndole sus tarjetas de registro y anotando las profundidades a que se obtuvieron.

b).—*Muestras integrales*.—Cuando la explotación del préstamo se hace con pala mecánica, draga o cualquier otro equipo que excava a toda la profundidad de un frente de ataque y por lo tanto toma material de todas las distintas capas de suelo y las mezcla, el muestreo hay que hacerlo también integral a toda la profundidad del suelo que se piense explotar.

Para obtener estas muestras con pala de postear:

1.—Hágase una hilera con los montones que se obtienen de cada sacada de la pala.

2.—Tómese una muestra típica de todos estos montones, por medio de cuarteos.

Para obtener estas muestras en pozos a cielo abierto:

1.—Hábrase el pozo de 1.5 por 1.5 (o las dimensiones que se requieran para que pueda trabajar un hombre con pico o pala a la profundidad deseada). Profundícese hasta que el fondo del pozo sea material que no se puede aprovechar, o hasta aquella profundidad que se desee por alguna otra circunstancia (que se encuentre agua, que no se pueda trabajar sin riesgo, etc.) Hay que hacer notar que muchas veces abajo de la, o las ca-

pas de tierra se encuentran capas de arena gruesa o grava que por si solas serían desechables, pero que en cambio al ser mezcladas con las capas de tierra, por medio del equipo de explotación, mejoran mucho a estos materiales por lo que al hacer el muestreo es a veces conveniente tomarlas en cuenta.

2.—Obtégase la muestra excavando un canal de sección uniforme de arriba a abajo, en una de sus paredes y recogiendo el material de cualquiera de las dos formas siguientes:

a).—Limpiando el fondo del pozo de todo el material suelto y colocando una lámina en la cual se recogerá todo el material excavado.

b).—Por medio de un bote que se va bajando a medida que se excava el canal. Para que la muestra quede correctamente proporcionada, llene un bote por cada metro de profundidad.

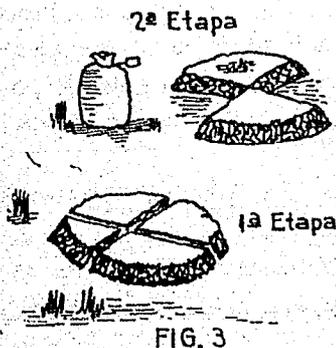
3.—Obtégase una muestra representativa con el material obtenido de cualquiera de las dos formas, por medio de cuarteos y encostálese ponien-

Método de Cuarteo

El proceso de reducir una muestra representativa a tamaño conveniente, o a dividir una muestra en 2 o más pequeñas para ensayos se llama cuarteo.

Cuarteo de las muestras:

1.—Mezcle y amontone la muestra en una lámina o en una parte plana del suelo bien limpia, formando un cono.



2.—Aplane el cono con la pala, extendiendo el material hasta formar un círculo de espesor lo más uniforme posible.

3.—Con la pala divida el círculo en dos partes iguales y luego a 90°

en otras dos, para formar cuatro partes. Tómese el material de dos cuartos opuestos y deséchense los otros dos.

4.—Al remover el material que se va á usar, tome alternativamente una palada de cada cuarto.

5.—Repítase la operación tantas veces como se quiera reducir la muestra con el material de las porciones que se han ido tomando.

Cuando la muestra que se quiere cuartear es muy chica (menos de 20 kilos), se puede cuartear, en igual forma, pero con una cuchara de albañil.

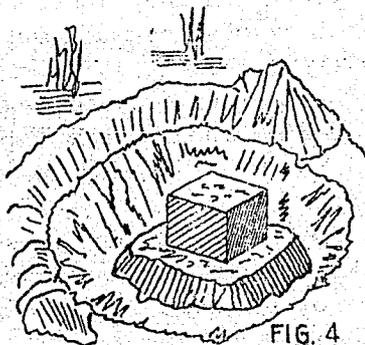
Muestras Inalteradas

Estas muestras pueden ser de diferente tamaño y forma, según el ensaye que se quiera hacer con ellas. Hay que marcar la cara superior e inferior con las letras S e I.

Herramientas.—Hay que escoger la mejor herramienta de cortar para cada tipo de suelo (espátulas, cuchillos, navajas, etc.)

Muestras cúbicas.—Se obtienen cortando un cubo de suelo y cubriéndolo bien para evitar pérdidas de humedad y desmoronamiento.

Este método puede ser usado solamente en suelos que no se deformen, rompan o desmoronen, cuando es sacado.



Para obtener un cubo de muestra en la superficie, en otro nivel o del fondo de un pozo:

1.—Nivela el terreno superficial, límpielo y marque el perímetro de la muestra.

2.—Excave la tierra alrededor del perímetro marcado.

3.—Profundice la excavación y recorte los lados del cubo con un cuchillo.

4.—Desprenda el cubo del agujero cuidadosamente con un cuchillo.

Para obtener un cubo de una pared vertical del pozo:

- 1.—Alise la superficie de la cara del pozo y marque el perímetro del cubo.
- 2.—Excave alrededor del perímetro, descubriendo 5 caras del cubo y cortándolas con un cuchillo; finalmente desprenda el cubo cuidadosamente.

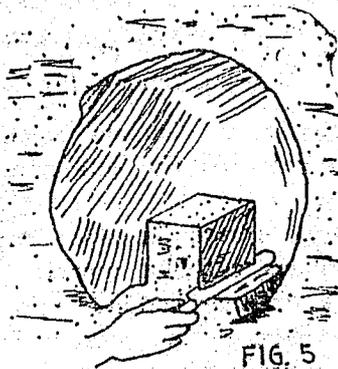


FIG. 5

Hay que sellar el cubo inmediatamente después de removido del pozo, haciendo lo siguiente:

- 1.—Modele bien los bordes con una navaja.
 - 2.—Aplique 3 capas de parafina derretida con una brocha. Deje que cada capa se enfríe y endurezca antes de aplicar la siguiente.
- Cuando las muestras vayan a ser ensayadas mucho tiempo después, envuélvanse en papel o tela y déseles 3 baños más de parafina.

Si hay que empacarlas, métanse holgadamente en un cajón de madera y rellénesse de viruta o papel.

Muestras cilíndricas.—En suelo de grano fino, suaves, las muestras cilíndricas inalterables deben tomarse directamente con un cilindro metálico, una lata ordinaria de estaño o una pieza corta de tubo, introduciéndolo dentro del suelo de la siguiente manera:

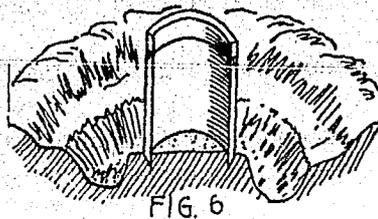


FIG. 6

- 1.—Alise el terreno e introduzca el molde con ligera presión.

2.—Excave alrededor del cilindro.

3.—Vaya introduciendo el molde en suelo firme, si es necesario con un pisón de madera. Cuidadosamente vaya quitando la tierra alrededor de los filos del molde, con una navaja. Introduzca el cilindro bien, excavando siempre alrededor del cilindro.

Si interfieren algunas piedras, remuévalas con cuidado con una navaja y rellene el hueco con tierra. Apunte este hecho en el registro de la muestra.

4.—Corte la muestra al fondo del molde con un cuchillo y quítela del pozo.

5.—Enrase bien en los extremos del molde.

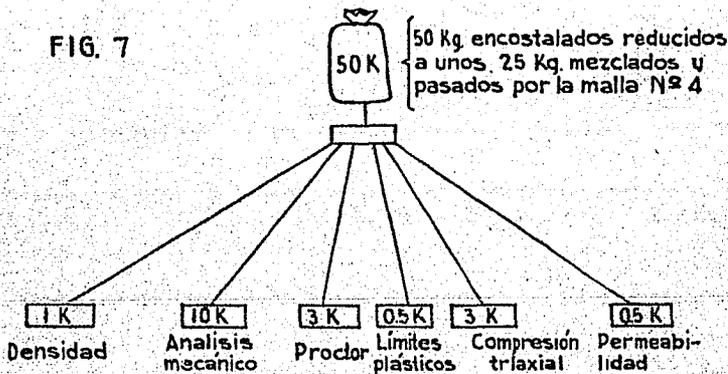
Si el molde tiene collar de extensión quítelo y enrase.

Proteja la muestra tapando las bases con discos.

Se pueden obtener muestras con latas grandes de frutas, haciéndole agujeros con un clavo en el fondo. Se introduce la lata de igual manera que en el procedimiento anterior. Al final se vierte parafina derretida en los agujeros y se sella el fondo de la lata. Se corta el fondo de la muestra con cuchillo y se saca del pozo. Corte la muestra 2 cm. antes del filo de la lata para llenar el resto con parafina.

Cantidad de muestra.—La cantidad de muestra que se necesita para los ensayos es variable, pero debe ser tal que alcance para hacer todas las pruebas necesarias y aún para repetir algunas incorrectas.

El siguiente esquema da una idea del material que se necesita para hacer pruebas.



II.—CLASIFICACION DE PRESTAMOS

Una vez muestreada la zona probable de prestamos se procede a hacer la clasificación de éstos por medio de las siguientes pruebas efectuadas con equipo disponible e improvisado.

- a).—Densidad.
- b).—Análisis mecánico.
- c).—Próctor. (prueba de compactación).
- d).—Límites de Atterberg. (prueba de plasticidad).

Todas estas pruebas efectuadas en el campo estarán hechas tan rápidamente y con toda la sencillez que, sea posible, sin sacrificar esencialmente su exactitud.

Sin embargo, negligencia y descuido en el operador, causan inexactitudes que pueden ser más perjudiciales que no hacer pruebas.

Preparación de la muestra.

El material que se obtiene de un muestreo, generalmente está formado por grumos de suelo y grava. Como todas las pruebas que veremos se hacen con material pasado por la malla No. 4, después de desmoronarlo, el material debe ser preparado en esas condiciones. Para la mayoría de las pruebas (excepción del análisis mecánico), el material mayor que la no. 4 se desecha.

Procedimiento.

- 1.—Obtenga el peso total de la muestra húmeda y regístrela.
- 2.—Rompa todos los grumos con pisón de madera, sobre una charola.
- 3.—Pase el material por las mallas 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜" y No. 4., anotando los pesos retenidos en cada malla y el pasado por la No. 4.

Si la muestra está muy húmeda debe determinarse el contenido de humedad del material mayor y menor del No. 4. (tomando pequeñas muestras) y computar el peso seco de toda la muestra.

Si el porcentaje de material mayor que la No. 4 es menor de un 20%, la determinación de humedad en estos tamaños no es necesaria, pues el error es pequeño.

El peso seco de la muestra se obtendrá así:

$$\text{Peso seco} = \frac{\text{Peso húmedo.}}{1 + \frac{\text{humedad expresada en fracción decimal.}}{\text{peso de agua en la muestra}}}$$
$$\text{Humedad} = \frac{\text{peso material seco en la muestra}}{\text{peso material seco en la muestra}}$$

c).—Cheque la suma de los pesos individuales con el peso total, para estar seguro de que no hubo error en las pesadas.

d).—Hay ocasiones en que el suelo es muy cohesivo y una considerable cantidad se adhiere a los fragmentos de roca. En estas condiciones, para completar la separación del material, lave los fragmentos de roca en la malla No. 4. Los finos obtenidos de este lavado se juntan con el material menor de la No. 4., y se mezclan para asegurar la distribución uniforme. Si el % mayor que la No. 4, es menor de 20, no vale la pena el lavado, por ser el error muy pequeño.

NOTA.—Durante la preparación de la muestra, hay que tener cuidado de no hacer ciertas cosas que son causa de considerables errores, a saber:

Al estar rompiendo los grumos y lo mismo al estar pasando el material por las mallas es muy fácil que se vuele el material muy fino, cambiando así la graduación del material. Esto se puede evitar trabajando con cuidado.

La graduación del material, que contiene fragmentos de roca suave, puede ser fácilmente cambiada por rotura de esos fragmentos, convirtiéndolos en partículas más chicas, al estar golpeando.

Estos materiales requieren consideraciones especiales y estudio, pues con frecuencia durante la construcción ofrecen similares efectos. Un ejemplo de los materiales que pueden ser afectados durante la construcción son los que contienen granito desintegrado, basalto, areniscas suaves, choy y en general limos y arcillas consolidadas. Los cambios pueden tener lugar durante la excavación, por los contenidos de humedad o por el equipo de compactación.

e).—El material en estas condiciones, pasado por la malla No. 4, y pesado húmedo y determinado su peso seco, se guarda en un cajón o un costal, listo para ser usado en las diferentes pruebas.

NOTA.—Es muy importante que al ir a tomar material para una de las determinadas pruebas, previamente se remezcle todo el disponible en el costal y la parte que se tome esté constituida por pequeñas muestras tomadas de diferentes lados, para tener realmente una muestra representativa, pues dentro del cajón o costal el material se segrega, separándose los finos de los gruesos y el tomar solamente material grueso o fino puede llevar a un resultado falso al hacer la prueba.

DENSIDAD

La relación entre el peso de un volumen dado de suelo y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4°C de temperatura se llama densidad relativa; es por lo tanto un número abstracto.

Esta prueba a más de darnos un dato complementario para hacer otras pruebas como análisis granulométrico, triaxial, Proctor, etc..., en que interviene la densidad del suelo para el cálculo, es en sí una prueba aproximada de clasificación de los suelos, que nos ayuda a conocer su origen.

Según su densidad los suelos pueden ser:

- de 2.30 α 2.50 cenizas volcánicas.
- de 2.40 α 2.65 suelos orgánicos.
- de 2.65 α 2.67 arenas y gravas.
- de 2.67 α 2.72 limos inorgánicos o guijarros arcillosos.
- de 2.72 α 2.78 arcillas poco y medianamente plásticas.
- de 2.78 α 2.84 arcillas medianamente y muy plásticas.
- de 2.84 α 2.88 arcillas bentoníticas.

Determinación de la Densidad

Aparatos requeridos:

Balanza de torsión de 0.1 gr. de aproximación.

Balanza Cenco de 3 brazos de 0.01 gr. de aproximación.

Estufa de gasolina.

Termómetro graduado en 0.1°C. con divisiones de 0 a 50°C.

Recipientes de volumen constante. (Matraces calibrados).

Cápsulas. (20 cm. diámetro).

Pipetas.

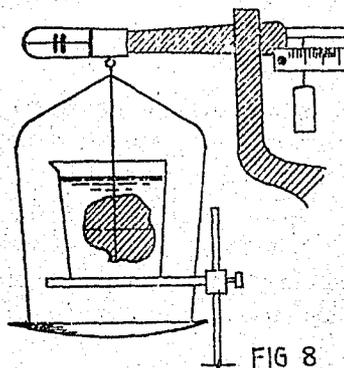
Espátula.

Procedimientos

Para determinar la densidad de piedras individuales, se indican dos procedimientos.

a).—Método de Arquímedes.

1.—Pese la piedra, saturada, pero seca superficialmente, con una aproximación de 0.1 gr., amarrando un hilo a la piedra y colgándola del gancho de la balanza. Si la cuerda o hilo es muy delgado su peso se puede despreciar.



2.—Ponga una lata con agua abajo de la piedra, suméjrala y vuelva a pesar con aproximación de 0.1 gr.

3.—Calcule la densidad como sigue:

Peso de la piedra en el aire = W

" " " " " " agua = W_w

W

$$\text{Densidad} = \frac{W}{W - W_w}$$

b).—Determinando el peso y el volumen.

1.—Pese la piedra, saturada y seca superficialmente con una aproximación de 0.1 gr.

2.—En una probeta graduada, póngase agua hasta un volumen determinado, después sumerja la piedra en la probeta. El volumen de agua que se desaloja en la probeta es el volumen de la piedra.

3.—Calcule la densidad dividiendo el peso de la piedra entre el volumen desalojado.

Densidad de muestras de suelo.

La densidad media del suelo puede determinarse como sigue:

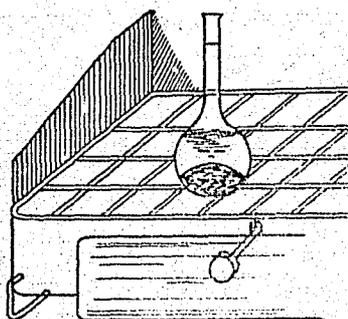
1).—Séquense unos 60 gramos de suelo, del material ya preparado pasado por la malla No. 4.

2).—Pésese el matraz bien limpio que se va a usar, con una pequeña cantidad de agua destilada, unos 100 c.c. y anótese el peso en el renglón, "peso matraz" de la hoja de "Densidad". Haga la pesada con 0.01 gr. de aproximación.

3).—Con ayuda de un embudo de vidrio viértase cuidadosamente el suelo seco en el matraz con agua y pésese. Anótese este peso en el renglón "W muestra seca + matraz".

4).—Añádase agua destilada hasta que se llene la mitad del matraz 250 c.c.

5).—Extráigase el aire entrampado en el suelo poniendo el matraz en baño-maría de glicerina, agregando agua destilada para evitar que la mezcla se seque, conservando el matraz lleno hasta la mitad. El tiempo de la hervida puede ser hasta de 10 minutos para arenas y 30 minutos para arcillas.



Baño-María
FIG. 9

6).—Una vez extraído el aire, enfríese el matraz a la temperatura ambiente y añádase agua destilada hasta que la suspensión esté cerca de la marca de calibración.

Añádanse las últimas gotas con un gotero hasta que la base del menisco coincida con la marca de calibración.

7).—Séquese perfectamente el matraz y asegúrese que no hay agua adherida al cuello del matraz arriba de la marca de calibración. Pésese con una aproximación de 0.01 gr. y anótese el peso (W_{nws}) en la hoja de "Densidad".

8).—Inmediatamente después de pesado el matraz tómesese la tempe-

ratura metiendo el bulbo del termómetro de 0.1°C hasta el centro del matraz, anótase la temperatura en la hoja "Densidad".

9).—Obténgase el peso de sólidos, (W_s) de la diferencia entre los valores anotados en "peso matraz" y en " W muestra seca + matraz".

10).—Obténgase la densidad con la expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{(W_s + W_{nw}) - W_{mws}}$$

en donde:

S_s = Densidad.

W_s = Peso del suelo seco.

W_{mwl} = Peso del matraz, más agua hasta el aforo a la temperatura t obtenido de la gráfica de calibración.

W_{mws} = Peso matraz, más agua hasta el aforo, más el material seco.

El denominador representa el peso del volumen de agua desalojado por los sólidos a la temperatura de calibración y no a 4° que es la temperatura estándar para la densidad. El error es del orden de 0.002 que es despreciable en prueba de rutina.

Calibración de los matraces.

Debido a que en el campo no se cuenta con elementos suficientes, es recomendable llevar los matraces con sus gráficas de calibración hechas previamente en un laboratorio; sin embargo, conviene conocer el proceso para calibrarlos.

El propósito de calibrar un matraz es conocer su peso más el del volumen de agua hasta la marca de aforo a diferentes temperaturas. El peso cambia debido a la variación del volumen del matraz y al cambio de la densidad del agua. Para tener la variación de los pesos del matraz con agua a diferentes temperaturas, se construye una gráfica del modo siguiente:

Se determina el peso del matraz con agua destilada hasta el aforo (W_{mwl}) a distintas temperaturas.

Se ponen como abscisas, a escala aritmética, las temperaturas registradas en °C. y como ordenadas, también a escala aritmética, los pesos W_{mwl} , obtenidos para cada una de dichas temperaturas.

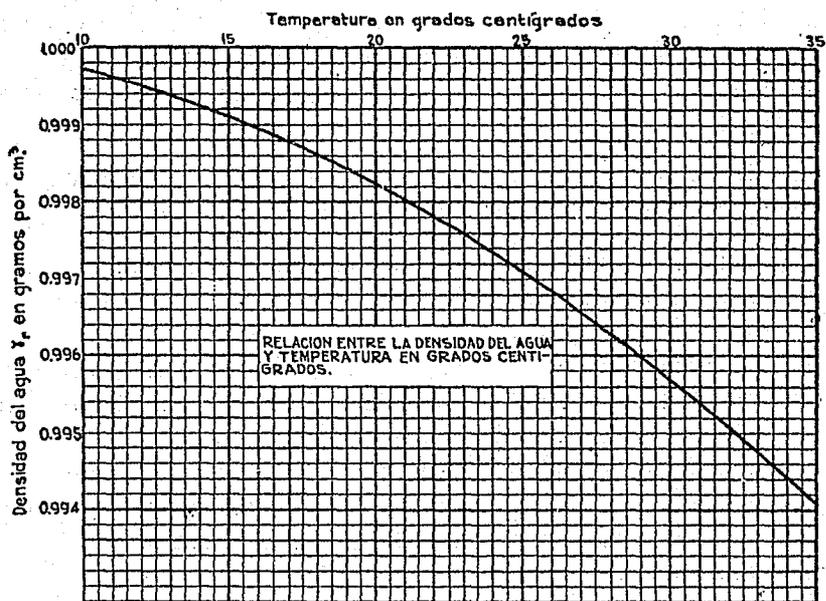


Fig. 2

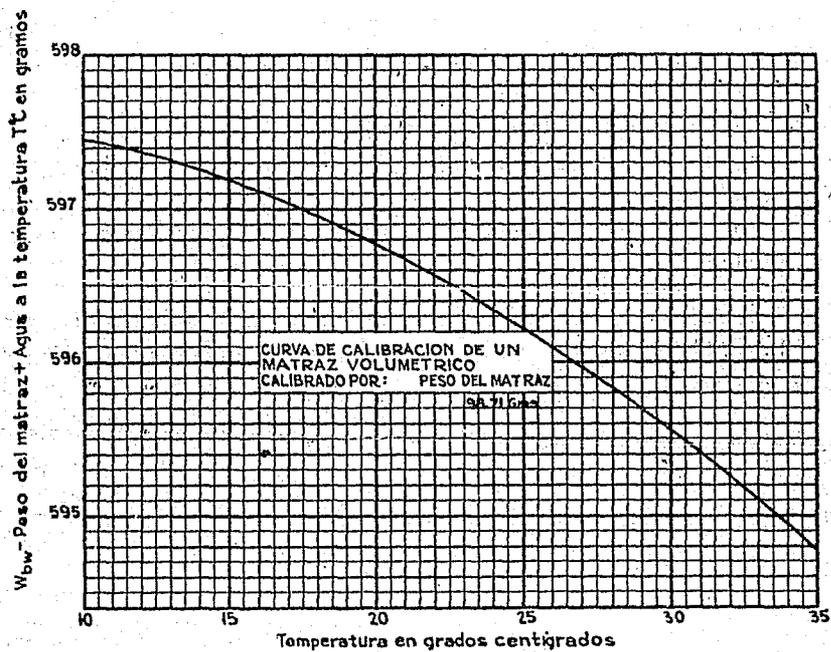


FIG. 10

Procedimiento.

1).—Límpiese perfectamente el matraz con jabón y agua, séquese con alcohol para disolver el agua. Para quitar el alcohol adherido a las paredes póngase una pequeña cantidad de éter que disolverá el alcohol déjese el matraz boca abajo 15 minutos, para que los vapores del éter, más pesados que el aire, se escurran.

NOTA:—Téngase la precaución de no tener cerca fuego, o cigarrillos encendidos porque el éter es muy explosivo.

2).—Llénese el matraz, ya perfectamente limpio, con agua destilada añadiendo las últimas gotas con un gotero hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca del matraz.

3).—Después de secar completamente el matraz exteriormente y asegurarse que no hay adherida agua al cuello del matraz, pésese el matraz lleno de agua, W_{mwl} , a 0.01 gr. y anótese el peso.

4).—Inmediatamente después de pesado el matraz determínese la temperatura t , poniendo en el interior del matraz el termómetro, procurando que el bulbo del termómetro quede en el centro del matraz. Anótese la temperatura con una precisión de 0.1°C .

5).—Repítase lo hecha en 2), 3) y 4), 2 veces y finalmente obténgase los valores medidos de t , y W_{mwl} .

6).—Elévase la temperatura del matraz con el agua hasta un poco abajo de la marca de calibración. El aumento de temperatura se hace en baño-maría y debe ser unos 5° mayor que la t .

7).—Una vez aumentada la temperatura con el baño-maría ajústese el nivel de agua como en 2) y repítase 4) y 3) anotándose la temperatura t_2 y el peso W_{mwe_2} .

8).—Repítase 6) y 7) 5 ó 6 veces para tener varios puntos, para dibujar la gráfica.

NOTA:—La variación de temperaturas en la gráfica debe ser entre 10 y 35°C y entre estas temperaturas deberá hacerse la determinación de la densidad.

LAMINA II

PRUEBA DE DENSIDAD

Operador _____ Fecha _____

Procedencia _____ Préstamo _____ Pozo _____

Prueba #			
Matr�az #			
Wmws gr.			
Temperatura t			
Wmw�			
W muestra seca + capsula			
Peso matr�az			
Ws			
Ss			

Wmws = peso del matr az + agua + muestra a t 

Wmw  = peso del matr az + agua a t  (de la curva de calibraci n)

Ws = peso del suelo seco

Ss = densidad = $\frac{Ws}{Ws + Wmw  - Wmws}$

NOTAS: La prueba de densidad debe hacerse simultaneamente con 2 matraces cuando menos, con el mismo material, para tener un promedio.- Los matraces deben estar numerados.

ANÁLISIS MECÁNICO

Se denomina análisis mecánico, a la separación directa de un suelo en varias fracciones de granos de diferente tamaño, o a la determinación indirecta de la distribución granulométrica.

El análisis mecánico es hecho por medio de una serie de tamices para tamaños grandes y medianos de las partículas y por un proceso por vía húmeda para granos finos.

Cuando ambos procesos son usados en la misma muestra se llama análisis mecánico combinado.

a).—Método de Arquímedes.

El análisis mecánico en húmedo se hace por métodos que se basan en el comportamiento del material granular en suspensión dentro de un líquido. Los métodos de sedimentación continuos se basan en una serie de mediciones en una suspensión, observadas durante el proceso de sedimentación.

Análisis por Tamices

Dependiendo de las características del material fino en la muestra, el análisis por tamices es hecho con la muestra íntegra o con la muestra después de separarle los granos finos por medio de un lavado. Aunque siempre deberá procurarse lavar el material en la malla No. 200 para hacer el análisis por tamices, habrá ocasiones en que por premura de tiempo a cierto tipo de material se le puede hacer la prueba en seco. Para saber si es permisible hacer la prueba en seco, cuando no se puede determinar por la vista, puede hacerse de la siguiente manera: secando en un horno una muestra húmeda del material y probando su resistencia a la presión, rompiendo la muestra entre los dedos. Si ésta puede ser molida y el material fino pulverizado por la presión de los dedos, entonces el análisis con tamices puede ser hecho sin lavar los finos.

Al preparar la muestra, el total de ella se ha pasado ya por las mallas mayores de la No. 4. Anotando los pesos retenidos en cada una de ellas en el registro de Análisis Mecánico, se tiene ya hecha la primera parte de este análisis, por lo que la prueba con tamices que se describe a continuación se hace con una muestra de unos 500 gr. del material que pasa por la malla No. 4.

Esta muestra del material menor que la No. 4 es la que se puede lavar o nó para hacer el análisis.

Aparatos requeridos:

Balanza de 0.1 gr. de aproximación (torsión).

Juegos de tamices Nos 8, 14, 28, 48, 100 y 200.

Charolas.

Estufa de Gasolina.

Horno.

Balanza de 0.01 de aproximación.

Brocha.

Equipo improvisado:

Rodillo de madera para romper trozos de material grueso.

Mazo con cubierta de hule para pulverizar el material fino.

Tamaño de las muestras:

La cantidad de muestra requerida para el ensayo depende del tipo de suelo que va a ser cribado.

Como un dato, sin ser definitivo, se dan las siguientes cantidades de muestra:

TIPO	CANTIDAD
Suelo de grano fino	200 a 500 gr.
Suelo arenoso	500 a 1,000 gr.

Procedimiento en seco.

1.—Seque la muestra en el horno.

2.—Pese la muestra después de dejarla enfriar y anote el peso.

3.—Rompa los trozos de material con el rodillo en una superficie lisa y limpia. Desmorone el material fino con el mazo, hasta pulverizarlo completamente.

4.—Coloque la muestra en el primer tamiz del juego, disponiendo éstos, de arriba a abajo, por orden de finura de las mallas, quedando al final la charola. Ponga una tapa en la parte superior y agite vigorosamente el juego con movimientos horizontales y golpeando de vez en cuando suavemente sobre trozos de hule. No golpee directamente en la mesa pues se estropean las mallas.

El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero no debe ser menor de 15 minutos para los suelos que tienen un alto porcentaje de granos finos.

Es a menudo permitido omitir unos pocos de los tamices intermedios.

5.—Ponga el material que ha sido retenido por la malla más grande en la charola de la balanza y péselo. Anote el tamaño de las partículas más

grandes. Ponga el material en charola separada y guárdelo hasta que la prueba haya sido terminada.

NOTA.—Para muestras que pesen menos de 500 gr. haga la pesada de las partes retenidas en los tamices en una balanza que aproxime 0.01 gr.

6.—Repita el procedimiento para cada malla sucesiva por tamices menores. Las partículas de roca individuales que se atorán en los hilos de la malla, no las force a pasar a través de ella, quitelas con la mano e inclúyalas en el material antes de la pesada. Los tamices finos son invertidos sobre el plato de la balanza y limpiados con una brocha, para pesar hasta el polvo.

7.—Anote todos los pesos retenidos en las mallas en el registro de cálculo.

8.—En este método en seco, se pesa también el material que pasó la 200 y se quedó en la charola del fondo anotándose en el registro. La suma de todos los pesos de los tamices y la charola debe ser igual al original de la muestra con que se empezó la prueba. Se puede admitir un error de un 1%.

Prueba con lavado previo.

Procedimiento.

1.—Los 3 primeros pasos del procedimiento anterior son iguales en éste.

2.—La muestra ya secada, pesada y pulverizada, se pone en una charola, llena con suficiente agua para cubrir el material. Déjela remojar hasta que todo el material se haya desintegrado. Esto requiere de 2 a 12 horas.

3.—Vacíe el contenido de la charola sobre la malla 200 con cuidado y ayudándose con agua lave lo mejor posible la muestra para que todos los finos pasen por la malla. Deseche el material que pasa a través de la malla.

4.—Seque el material que ha sido retenido en la malla No. 200 y péselo.

5.—Haga el análisis con tamices con la muestra lavada y seca igual que en el proceso anterior.

6.—La diferencia en peso entre la muestra seca original y la muestra seca lavada, es el peso del material retenido en la charola del juego de tamices, para determinar así el peso del material pasado por la malla 200. Anotándose esta diferencia en el registro donde dice "charola".

Calculos

1.—Obtenga la suma de los pesos retenidos en cada malla y cheque ese total con el peso de la muestra seca lavada. Si el error excedea el 1%

vuelva a pesar cada fracción o repita la prueba. Si el error es menor de 1% aplíquelo al peso de la fracción más grande.

2.—Obtenga los porcientos del material retenido en cada malla respecto del peso de muestra original antes del lavado. Anótelos en el registro.

3.—Como el total de la muestra es 100%, para encontrar el % de material acumulativo que ha pasado por cada malla, haga la resta partiendo del 100% y quitando cada uno de los % retenidos.

4.—Del análisis por mallas grandes efectuado con la muestra total, al preparar la muestra, el material que pasó por la malla 4 es un determinado % de toda la muestra; para relacionar el análisis por tamices menores que el No. 4, y tener los porcientos de estos tamaños sobre el total, multiplique el % menor que la No. 4 por cada uno de los % acumulativos que pasan por las mallas menores que la anterior.

Curva de distribución de los distintos tamaños de granos del suelo.

Construya una curva con los datos de la prueba sobre papel semilogarítmico, en que se tienen como abscisas a escala aritmética los porcientos de material que pasó por las distintas mallas y como ordenadas a escala logarítmica los diámetros de las partículas, en mm.

El punto para tamaños de 0.074 cm. (malla 200) es el límite entre análisis granulométrico por mallas y análisis por vía húmeda.

Análisis por Vía Húmeda.

Este análisis es un complemento del análisis por tamices, y nos permite conocer los porcentos de partículas de tamaños inferiores al de los retenidos en la malla 200.

El adelanto más reciente en el campo del análisis en húmedo, es el método del hidrómetro, basado en los principios de la sedimentación continua. Sin embargo las pruebas de este instructivo son para hacerse en el campo de un modo tosco, por lo que el equipo de laboratorio para este análisis no se incluye y la prueba descrita abajo se hace con equipo improvisado.

Para obtener la curva de tamaños de granos del suelo completo, de un suelo de granos finos, muchos puntos de la curva pueden ser determinados por el análisis por vía húmeda. Generalmente 3 puntos son suficientes para partículas de 0.05, 0.02, y 0.005 mm. de diámetro, para llenar la porción de la curva en ésta extensión. El equipo improvisado puede usarse, preparando suspensiones separadas para cada punto deseado y sacando 100 c. c. de la suspensión después de períodos de reposo determinados de antemano por un monograma.

Los tiempos de reposo para varias densidades y temperaturas de suspensión, para determinar el porcentaje para cualquier tamaño de grano pueden obtenerse por este monograma, basado en la Ley de Stokes y hecho para una altura de 20 cm. del nivel que marca los 1000 c. c. en el cilindro de sedimentación. La Ley de Stokes, nos da la velocidad uniforme (v) de caída de una esfera en un medio viscoso, en función del diámetro, (d) densidad del suelo (S_s) y coeficiente de viscosidad del agua (n) a la temperatura en que se hace la prueba, para una caída dada H , en el tiempo T , en que ha ocurrido la sedimentación. La ley se expresa así:

$$v = \frac{2}{g} \frac{S - S_s}{n} \frac{d^2}{2} \quad \text{y como } v = \frac{H}{T} \text{ podemos despejar a } T.$$

siendo S la densidad del agua.

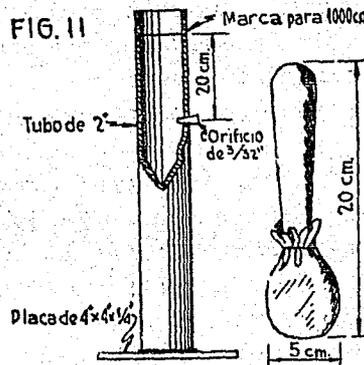
Por lo tanto los diámetros de las partículas que consideramos en este análisis son los de esferas equivalentes, cualquiera que sea su forma.

El tiempo empleado por las partículas en recorrer la distancia marcada, será el transcurrido desde que se dejó de agitar la probeta hasta el momento de obtener los 100 c. c. de suspensión.

Aparatos requeridos:

Balanza de 0.01 gr. aprox.
Horno.
Estufa de gasolina.
Cajas metálicas.
Jeringa de hule.
Cronómetro.
Matraz graduado de 100 c. c.

Equipo improvisado: Mazo con cubierta de hule.
Cilindro de sedimentación.



Defloculante.—El defloculante es un agente dispersador de los grumos formados por los granos finos de suelo. Prepárese una solución en la proporción de 1 gr. de agente defloculante y 20 c. c. de agua. Los defloculantes generalmente usados son: silicato de sodio y oxalato de sodio.

Tamaño de la muestra.—El tamaño o cantidad de muestra será proporcional al contenido de arena en el suelo. Tome 50 Gr. (peso seco) para arcillas y limos y 100 gr. para suelos arenosos.

Procedimiento.

Con el nomograma se obtienen los tiempos de reposo para varias densidades y temperaturas de la suspensión, para determinar el porcentaje para cualquier tamaño de grano escogido.

Nota.—Pequeñas variaciones de estas condiciones no afectan grandemente la aproximación de la prueba y pueden ser despreciadas. Grandes varia-

ciones en la temperatura del agua o densidad del suelo, pueden ser corregidas variando el tiempo de reposo en que se recogen los 100 c. c. Para estas correcciones se puede hacer una tabla en que varíen la densidad y la temperatura y para un determinado diámetro de los granos.

Ejemplo de uso del nomograma. (Ver figura).

Para obtener el tiempo de reposo para el porcentaje de granos menores de 0.02 mm. y una densidad de 2.95 y temperatura del agua de 37.8° C.:

1.—Unase el punto que marca 2.95 en la escala de densidades con el punto que marca 37.8° C. en la escala de temperaturas y prolonguese la línea hasta el principio del cuadro de tamaños tiempos (línea vertical sobre 0.005 mm.).

2.—Por este punto de intersección llévase una paralela a la línea de "condiciones medias".

3.—Intercéptese la vertical levantada por 0.02 mm. que nos da aproximadamente 5½ min.

Ejemplo de tabla variando las condiciones, para diámetros de 0.02 mm.

TIEMPOS DE REPOSO EN MINUTOS					
Temperaturas del agua en °C	DENSIDAD DEL SUELO				
	2.00 - 2.19	2.2 - 2.39	2.4 - 2.69	2.7 - 2.99	3.0 - 3.19
4.5 - 9.5	19	16	13	11	10
10.0 - 15.0	16	14	11	9	8
15.5 - 20.5	14	12	9	8	7
21.0 - 26.0	12	10	8	7	6
26.5 - 31.7	10	9	8	6	5
32.2 - 37.8	9	8	7	6	5

FIG. 12

Procedimiento para determinar las fracciones de suelo de diámetros determinados:

1.—Tome unos 500 gr. de suelo pasado por la malla No. 4 y desmorónelos con el mazo cubierto de hule, sobre una mesa.

2.—Deje remojar el material en una charola con agua de 12 a 24 horas.

3.—Vacíe el contenido de la charola sobre la malla No. 100, colocándola ésta sobre un bote en que se pueda recoger todo el material que pasa por la malla. Este lavado sería mejor hacerlo sobre la malla No. 200, para eliminar las partículas gruesas o medianamente gruesas que hacen menos precisa la

prueba de sedimentación para material fino, pero dado que la malla No. 200 es muy delicada, por la finura de su malla, el error se puede despreciar y se usará la malla No. 100 que es más resistente.

4.—Decante y evapore el agua del bote para extraer la materia sólida y póngala a secar en un horno de temperatura constante (105° C.).

5.—Después de dejar enfriar el material pese 100 gr. con 0.01 gr. aprox.

6.—En una cápsula, ponga el suelo y agréguele la solución defloculante suficiente para formar, trabajando con espátula, una pasta poco consistente.

7.—Ponga toda la solución (agua, suelo y defloculante) en el cilindro de sedimentación, lavando la cápsula para remover todos los finos dentro del cilindro con una jeringa de hule. Añada agua hasta la marca 1000 c. c. y agregue el defloculante necesario para completar 20 c. c.

Nota: La cantidad de defloculante es en realidad variable para distintos tipos de suelo. En algunas ocasiones puede hacerse necesario usar una concentración diferente de silicato de sodio, o un tipo distinto de agente de dispersión. En otras simplemente se variará la cantidad de defloculante de la concentración ya indicada. Con objeto de determinar el tipo apropiado de defloculante, deben agregarse cantidades variables de diferentes agentes, a varios tubos de ensaye que contengan suelo en dispersión. Después de dejar en reposo estas suspensiones durante varias horas, se podrá observar su eficacia, por la cantidad de flóculos que formen.

8.—Agite el cilindro vigorosamente durante 1 minuto, usando la palma de la mano para tapar la boca del cilindro. Agítelo en posición horizontal.

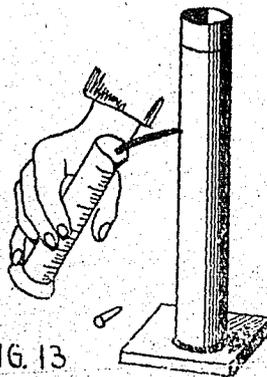


FIG. 13

9.—Ponga el cilindro en una base firme y donde esté protegido de los rayos solares. Empiece a contar el tiempo.

10.—Después de transcurrido el tiempo calculado, quite el tapón del agujero a 20 cm. y recoja 100 c. c. de la suspensión en el matraz graduado.

11.—Coloque los 100 c.c. de suspensión en una caja de metal y deje evaporar el agua en un horno o estufa.

12.—Déjelo enfriar y pese el residuo ya seco en aproximación de ± 0.1 gr.

13.—Obtenga el % de los granos de diámetro menor que el escogido como sigue;

Peso muestra original..... = W

Peso residuo (de los 100 c.c.)..... = P

P

% menor que el diámetro escogido..... = $1000 \times P/W$

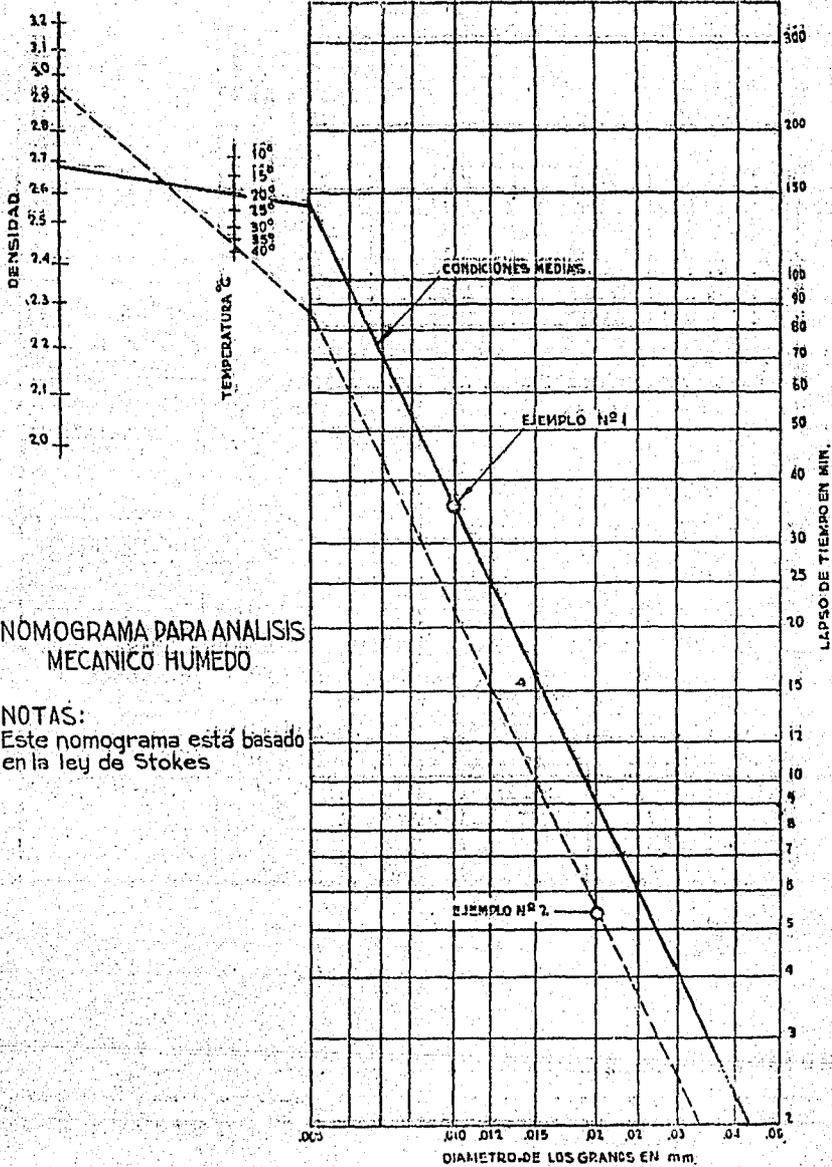
14.—Repita el procedimiento del No. 4 al 12, para porcentajes de distintos diámetros, variando el tiempo de reposo y obteniendo 100 c.c. de suspensión. Calcule el % menor que los diámetros escogidos.

15.—Construya la curva de distribución de los distintos tamaños de granos de suelo con los datos obtenidos, en la misma hoja en que se hizo el análisis por tamices.

Curva: Para hacer la curva de todo el material, gruesos y finos, relacione los porcentos de los tamaños obtenidos por vía húmeda, respecto al total de la muestra original y construya una sola curva con los porcentos.

Con los resultados obtenidos se puede hacer una clasificación atendiendo a la distribución de los tamaños de los granos, para lo que se adjunta el siguiente triángulo.

LAMINA III



NOMOGRAMA PARA ANALISIS MECANICO HUMEDO

NOTAS:
Este nomograma está basado en la ley de Stokes

ANALISIS MECANICO

Obra Alvaro Obregón
 Banco Pochote Pozo A-1 Profundidad 3.70
 Fecha Septiembre 10-1947 Operador Royal Haro V.

Analisis efectuado con la muestra total de 35 Kg.

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				100.0 %	% TOTAL DE MUESTRA	
3"	76.2	565.0	1.62	98.38		
2"	50.8	225.3	0.64	97.74		
1 1/2"	38.1	433.0	1.24	96.50		
1"	25.4	826.1	2.36	94.14		
3/4"	19.1	1543.8	4.41	89.73		
1/2"	12.7	265.3	0.76	88.97		
3/8"	9.5	2426.1	6.93	82.04		
Nº4	4.69	2862.5	8.19	73.85		% MATERIAL MENOR QUE Nº4
Sumas =		9147.1	26.15			% DE GRAVA

Analisis efectuado con una muestra seca de 500 gr. del material menor que Nº4

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO EN GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < Nº4	MUESTRA TOTAL	
8	2.362	67.8	13.56	100.00 %	73.85	100% < Nº4 = % DEL TOTAL PASA Nº4
				86.44	63.83	
14	0.991	13.1	2.62	83.82	61.90	
28	0.589	75.2	15.04	68.78	50.79	
48	0.295	63.1	12.62	56.16	41.47	
100	0.147	89.6	17.92	38.24	28.24	% MATERIAL MENOR QUE Nº100
200	0.074	134.3	26.86	11.38	8.40	% MATERIAL FINO MENOR QUE Nº200
Sumas		443.1	88.62			
Charola		56.5	11.30			
Suma =		499.6	99.92	- Cheque con muestra seca		

Analisis por vía húmeda efectuado con W = 100 gr. secos, de material lavado y pasado por malla num. 100

DIAMETRO m. m.	PESO DE RESIDUO DE 100 C.C. = P	% ACUMULATIVO DE DIAMETROS MENORES = W%	% ACUMULATIVO DE MUESTRA MENOR QUE Nº4	% ACUMULATIVO DEL TOTAL	OBSERVACIONES
0.147		100 %	38.24	28.24	% MATERIAL MENOR QUE Nº100
0.05	17	17	6.48	4.81	
0.02	12	12	4.58	3.38	
0.005	8	8	3.06	2.26	

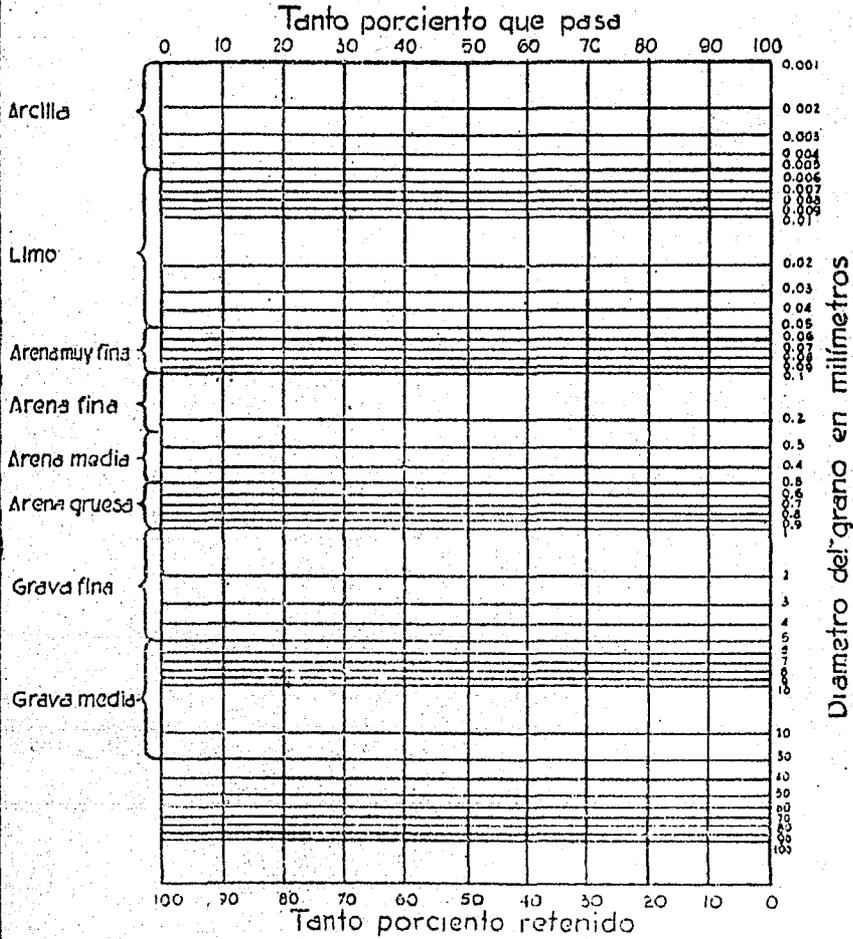
$W\% 100 \frac{P}{W}$

NOTAS: _____

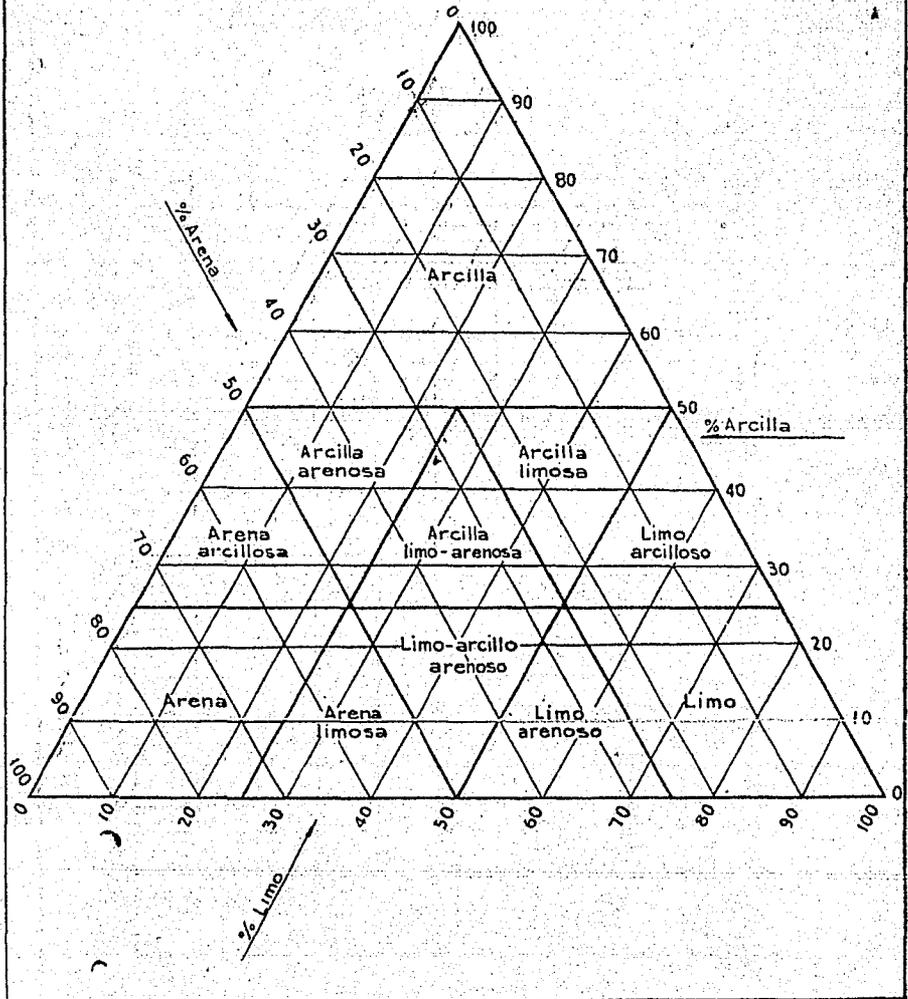
LAMINA V

ANALISIS GRANULOMETRICO.

Proyecto _____ Pozo _____
 Ubicación _____ Elevación _____
 Operador _____ Profundidad _____
 Fecha _____ Clase de material _____



CUADRO DE CLASIFICACION DE SUELOS ATENDIENDO A SU GRANULOMETRIA



PRUEBA PROCTOR

Humedad del suelo.—Un suelo se puede compactar a distintos pesos volumétricos al variar el % de humedad que tenga. El % de humedad para el cual se obtiene el máximo peso de materia sólida por unidad de volumen, o "peso seco" se llama humedad óptima para un método de compactación dado.

El % de humedad óptima decrece cuando crece la compactación al aumentar el peso de los equipos y el procedimiento normal de laboratorio.

Para determinar el contenido de humedad óptimo en el laboratorio, se compacta una muestra por un procedimiento normal dentro de un cilindro de volumen conocido. El peso por unidad de volumen se encuentra dividiendo el peso seco del material dentro del cilindro entre el volumen de éste y el contenido de agua se determina de una muestra representativa del suelo compactado. Este procedimiento se repite varias veces usando la misma muestra, pero cambiándole el contenido de humedad, agregándole agua. De esta manera se establece la relación entre el peso del material seco por unidad de volumen y el contenido de humedad.

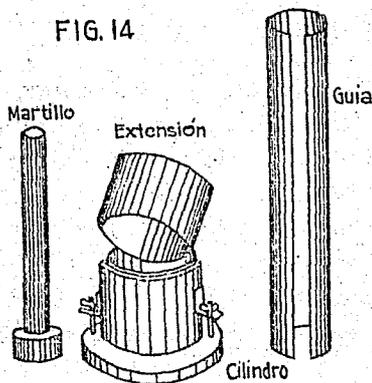
Si se traza una curva con estos valores, se observará que la curva se va levantando hasta cierto máximo para volver a descender. El contenido de agua que corresponde al punto máximo de la curva es el óptimo deseado.

Habiendo obtenido la curva "peso seco — % de humedad" para una muestra dada de suelo, es relativamente sencillo controlar el contenido de humedad durante la compactación de la estructura de tierra en la cual se usa el material.

Además, conociendo el peso seco óptimo, a que se compacta un material, y la densidad de sus partículas, podemos encontrar la relación de vacíos de ese suelo, dato que nos sirve para tener una idea de la permeabilidad del suelo y hacer la prueba de permeabilidad y la prueba triaxial que después se verán.

R. R. Próctor ideó el dispositivo de cilindro y pisón para compactar las muestras y estandarizó la prueba, para hacer la comparativa a los distintos materiales usados en una estructura de tierra, para un mismo equipo de compactación.

El cilindro de Próctor, es un cilindro de metal que tiene un diámetro interior de 10.2 cm. (4") y una altura de 12.3 cm. El volumen de este cilindro debe ser de 1 lt. o lo más cercano posible, pero para cada cilindro hay que determinar con cuidado su volumen y estarlo verificando en lapsos de tiempo más o menos cortos. El cilindro propiamente dicho está provisto en el fondo de una placa que se puede quitar y que le sirve de base. También se dispone en la parte superior, de una extensión que se puede quitar, del mismo diámetro interno que el cilindro y de aproximadamente 6.5 cm. de altura.



El Pisón Próctor que es de metal, tiene una superficie de impacto de 5 cm. de diámetro (2") y un peso de 2.750 Kg. Está equipado con una guía conveniente para controlar la dirección y altura de caída. Esta altura es de 46 cms. 18").

Aparatos requeridos:

Cilindro Próctor de compactación y su pisón.

Regla de metal.

Cajas metálicas.

Balanza de 0.01 gr.

Báscula de 120 Kg. de capacidad y sensible a 5 gr. tipo "Fairbanks-Morse".

(La sensibilidad se puede dar pesando en el platillo superior de la báscula).

Horno.

Procedimiento

1.—Séquese al aire una muestra que pese aproximadamente 2.5 Kg. de la muestra menor que la No. 4, ya preparada. Rompa los trozos de material fino con el rodillo sobre una superficie plana.

2.—Pésese el cilindro, con la placa de base sujeta, pero sin el collar de extensión, con una aproximación de 5 gr. en la báscula.

3.—Mézclase perfectamente la muestra con una cantidad de agua suficiente para obtener una mezcla húmeda que se rompa cuando se suelte después de exprimirla con la mano. La mezcla inicial no debe ser demasiado húmeda.

4.—Llénese el cilindro (con la extensión colocada) en tres capas iguales, compactado cada capa con 20 golpes del pisón, bien repartidos en toda la superficie y usando la guía, levantando el martillo por el mango hasta que se quede al nivel superior de la guía, después suéltelo.

5.—Quite cuidadosamente la extensión y nivélese la parte superior del cilindro con una regla o una espátula.

6.—Determínese y regístrese el peso del cilindro, más la placa de base, más el suelo compactado.

7.—Tómese una muestra representativa del suelo compactado de unos 100grs. y pésense en una balanza con aproximación de 0.01 gr.

8.—Séquese la muestra en un horno.

9.—Cuando la muestra se haya enfriado a la temperatura ambiente, regístrese el peso con una aproximación de 0.01 gr.

10.—Sáquese del cilindro el suelo compactado, mézclase perfectamente, agréguese una cantidad de agua suficiente para aumentar el contenido de humedad un 2% y repítase la operación 4 a 9.

11.—Repítanse las operaciones de 4 a 10 hasta que se hayan obtenido varios puntos mas allá del peso volumétrico máximo; esto se ve cuando el peso de la muestra compactada decrece.

12.—Con los datos del registro calcule los pesos volumétricos secos y los % de humedad. Constrúyase la curva "peso seco — % de humedad".

PRUEBAS DE PLASTICIDAD

(Límites de consistencia).

La propiedad física más notable de una arcilla, es su plasticidad. Esta propiedad puede ser estudiada cuantitativamente por pruebas de rutina de Laboratorio. Las más útiles de éstas se denominan pruebas de límites líquido y plástico, ideadas por Atterberg.

Las pruebas para determinar los límites de consistencia no tienen una relación directa con los problemas de ingeniería, pero son muy valiosas como auxiliares, para clasificar la muestra de suelo.

Una muestra de arcilla con exceso de agua se comporta como un líquido. Si se evapora una parte del agua, la arcilla se contrae pesando por estado plástico en el que conserva su forma pero no ofrece prácticamente ninguna resistencia al cambio de ella. A medida que se continúa la evaporación y la contracción, la arcilla entra en un estado semi-sólido en el cual ofrece resistencia a cualquier cambio de forma. Finalmente, la arcilla cambia de color y se hace relativamente sólida; en esa condición una evaporación adicional ya no produce ninguna contracción.

El cambio de un estado al siguiente es, muy gradual y podemos decir que el *límite líquido* para un material es el % de humedad mayor dentro de la consistencia plástica para pasar a la consistencia semi-líquida y que el *límite plástico* es el límite de menor porcentaje de humedad, dentro de la consistencia plástica para pasar a consistencia semi-sólida.

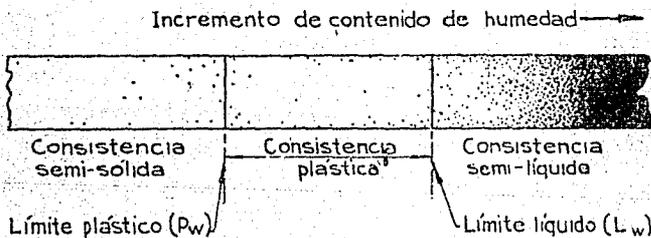


FIG. 15

Ya que no es fácil distinguir entre estados semi-líquidos, plásticos y semi-sólidos, los procedimientos arbitrarios para determinar estos límites

deben ser estandarizados. Atterberg ha ideado los medios para realizar las pruebas y define los líquidos como sigue:

El límite líquido, (L_w), es el contenido de agua de un suelo (expresado en porcentaje del peso seco) que posee una consistencia tal que 2 secciones de una muestra de suelo, colocadas en una capa y separadas por una ranura, apenas si se tocan, pero sin escurrir hasta juntarse, bajo el impacto de varios golpes fuertes. En la determinación de este límite definido arbitrariamente influye la técnica que adoptan los distintos operadores. El dispositivo diseñado por A. Casagrande, ha eliminado la influencia del factor personal en dicha prueba, proporcionando un medio mecánico para obtener un impacto constante y una herramienta para hacer una ranura de dimensiones exactas.

Para llevar a cabo la prueba con este dispositivo, se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura practicada en una muestra de suelo, en una distancia de $1/2$ pulg. en el fondo. Se ha encontrado empíricamente que la curva que se obtiene trazando una gráfica con el contenido de agua de las diversas consistencias del mismo suelo, a escala aritmética, y el número de golpes correspondiente a cada consistencia, a escala logarítmica, es una línea recta. Por definición se llama a esta curva, curva de escurrimiento. El contenido de agua que corresponde en esta curva a 25 golpes, es el límite líquido.

El límite plástico, (P_w), de un suelo se define como el contenido de agua (expresando en porcentaje del peso seco), con el cual se desmoronará al rodarse una barrita de suelo de 3 mm. de diámetro, con la mano.

Aparatos requeridos.

Dispositivo para límite líquido, incluyendo la cuchilla para hacer la ranura.

Espátula.

Gotero o pera.

Balanza analítica aprox. de 0.01 gr.

Cápsula para mezclado (una de 100 mm. de diám.)

Cápsula para mezclado (una de 75 mm. de diám.)

Estufa de gasolina.

Malla No. 40.

Horno.

Cajas de metal de 4 onzas.

Mazo cubierto de hule.

Ajuste del aparato para límite líquido: antes de usarlo debe ser ajustado para que la copa en la cual es puesto el material, caiga exactamente 1 cm. El mango de la cuchilla de ranurar tiene un gajo de 1 cm. el cual es usado para medir esta distancia.

1.—Quite la copa del aparato y marque una cruz con lápiz en el centro de la huella que deja el golpe con la base.

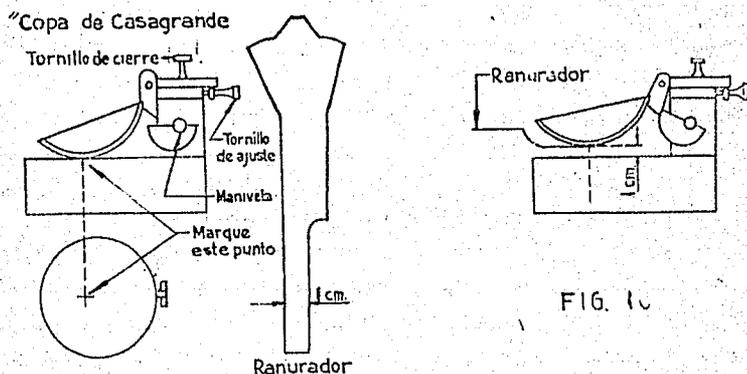


FIG. 10

2.—Ponga la copa en el aparato y de vuelta a la manija hasta que la copa se levante a su mayor elevación.

3.—Meta el gajo y cheque la distancia de la base del aparato a la marca con lápiz. Afloje el tornillo de cierre y gire el tornillo de ajuste hasta que la distancia sea exactamente 1 cm.

Preparación de la muestra.

Las pruebas de plasticidad se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por la malla 40.

Esta separación se hace o bien pasando el material por la malla, en seco, o por un proceso más lento pero mucho más exacto de lavado.

Para determinar cual proceso es permisible, seque al horno una muestra húmeda del material y después desmorónela con la presión de los dedos. Si puede ser fácilmente desmoronada y los finos pueden ser pulverizados, se usa el método de separación en seco, (caso en que el material sea arenoso o limoso). Si la muestra tiene una considerable resistencia y los finos no pueden pulverizarse, (arcillas), se requiere hacer la separación con ayuda del agua.

Método en seco.

1.—Pulverice aproximadamente 150 grs. de material seco con el mazo en una superficie lisa y limpia.

2.—Pase el material ya pulverizado a través de la malla No. 40 y deseche el material retenido.

3.—Mezcle el suelo pasado por la malla, con agua, hasta que tenga la consistencia de pasta suave y muy espesa, en una cápsula. Cubra con papel húmedo y déjelo reposar por un espacio no menor de 1 hora.

Método húmedo.

1.—Rompa los trozos de material con un rodillo o con el pisón.

2.—Ponga la muestra en una cubeta y cúbrala con agua; déjela remojar hasta que todo el material se ha desintegrado. Esto requiere de 2 a 12 horas.

3.—Ponga la malla No. 40 en una cubeta y vacíe toda la muestra remojada en la malla. Lave todo el material adherido a la malla con una jeringa de hule.

4.—Añada agua limpia dentro de la cubeta que contiene el tamiz hasta que el nivel del agua esté aproximadamente 2 cm. arriba de la malla del tamiz.

5.—Sin levantar el tamiz, agítelo con una mano. Al mismo tiempo remueva el material con la otra mano hasta que todo el material fino haya pasado a través de la malla.

6.—Coloque la malla ligeramente arriba de la superficie del agua, échese agua con una jeringa hasta que las partículas retenidas en la malla sean lavadas. Deseche el material retenido.

7.—Ponga la cubeta donde no sea movida y colocándole un block de madera en un lado para levantarla, deje que el material se asiente por varias horas.

NOTA.—Para muchos suelos el material en suspensión no se asentará. Si no se ha asentado después de varias horas, hay que acelerar el proceso por cualquiera de los siguientes procedimientos:

Si hay tiempo disponible ponga la cubeta en un horno a evaporar el agua.

Si hay poco tiempo, ponga una solución salina ($1/2$ cucharadita de sal común de mesa disuelta en una copa de agua), suavemente dentro de la cubeta. Esto hace que el material suspendido se flocule y se asiente más rápidamente. Sin embargo, esto hace cambiar los resultados de la prueba y deberá usarse sólo cuando el tiempo sea limitado.

8.—Escorra el agua despacio, levantando gradualmente la cubeta hasta que sólo quede el sedimento.

9.—Deje secar el material hasta la consistencia de una pasta suave y espesa y póngala en una pequeña cápsula.

Prueba de límite Líquido.

Justamente antes de hacer la prueba, mezcle perfectamente la muestra otra vez, con una espátula y tome aparte una cucharada del material para hacer la prueba de límite plástico.

Procedimiento:

1.—Ponga suficiente material de la cápsula (50 a 80 gramos serán suficientes), en la copa del aparato, hasta hacer una pastilla con la espátula en la forma que se ve en la figura, haciendo una superficie horizontal, partiendo del borde de la copa.

2.—Tome el ranurador, con los filos hacia abajo y apoyando el índice en la parte plana.

3.—Ponga la punta del ranurador, en la parte superior de la pastilla poniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa.

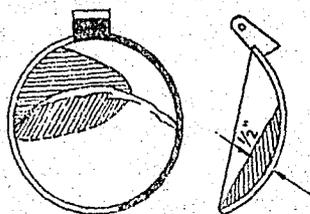


FIG. 17

4.—Haga una ranura en el centro de la pastilla a todo lo largo. Al mismo tiempo vaya ladeando el ranurador para que vaya permaneciendo perpendicular a la superficie inferior de la copa.

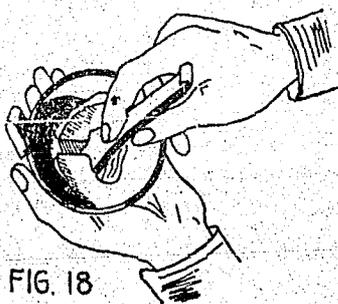
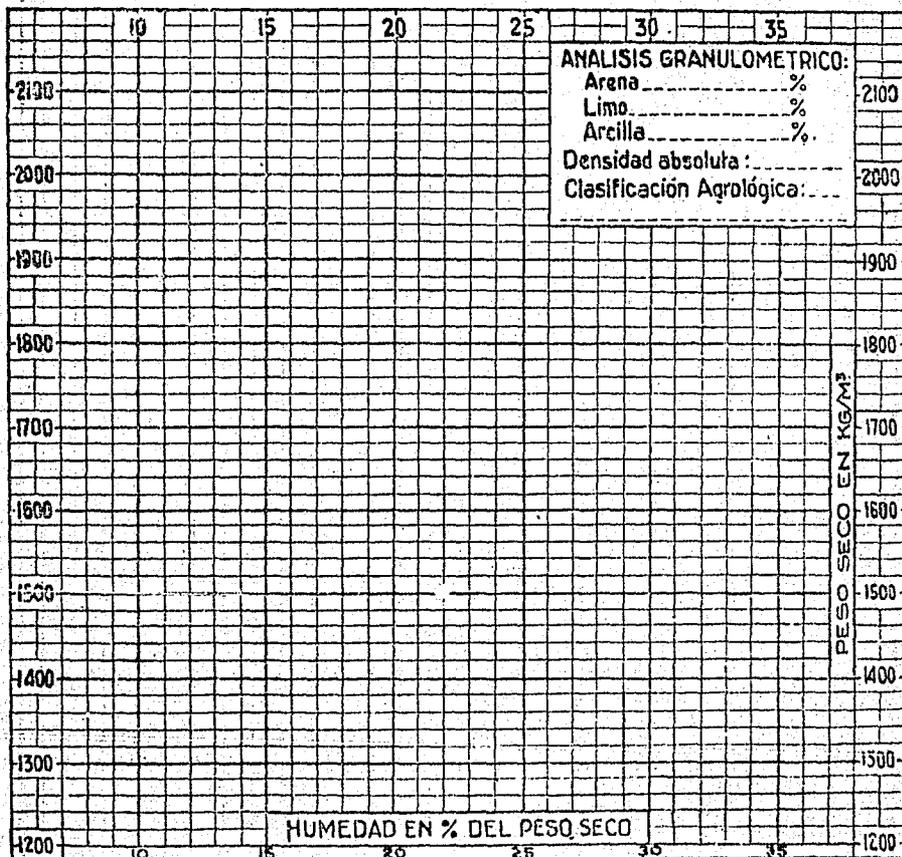


FIG. 18

Para arcillas conteniendo poco o nada de arena, haga la ranura con un solo movimiento suave y continuo.

GRAFICA "PROCTOR" DE COMPACTACION

Obra..... Fecha..... Pozo No.....
 Prueba hecha por..... Elevación.....
 Ubicación..... Profundidad bajo elev. indicada..... cm.
 Clase de material.....



Para arcillas muy arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador no puede correr a través de la pasta sin rasgar los lados de la ranura. Para estos suelos, corte la ranura con una espátula y cheque las dimensiones con el ranurador.

5.—Limpie el ranurador con el dedo pulgar antes de que se seque el material.

6.—Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, coloque la capa en el dispositivo y dele vuelta a la manija a razón de 2 golpes por segundo, y cuente el número de golpes requeridos, para que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de $\frac{1}{2}$ ".

NOTA.—Si la ranura no se cierra $\frac{1}{2}$ " en 25 a 35 golpes, añada agua a la pasta y remézclela; si por el contrario se cierra mucho antes, seque la muestra a la consistencia requerida.

7.—Quite la copa del aparato, remezcle y vuelva a ranurar y repita la operación. Si la segunda prueba da el mismo número de golpes que la primera o no difiere mucho (1 golpe), anote ambos números en el registro.

Si la diferencia es mayor de 1 golpe, repita la prueba hasta que 3 consecutivas pruebas den un número razonable, como 30-32-30 o 30-28-30, (típico de atmósfera húmeda) o 30-32-34 (típico de atmósfera seca).

8.—Quite aproximadamente 10 gramos del material de la porción cerrada de la ranura. Póngalos en una caja metálica, pequeña y cúbrala bien.

NOTA.—Hágase un segundo grupo de pruebas entre 25 y 35 golpes, repitiendo 6, 7 y 8.

9.—Ponga cerca de 20 gramos del material de la cápsula dentro de la copa. Añádale una ligera cantidad de agua y mézclela haciendo una pasta uniforme de consistencia entre 10 y 20 golpes.

10.—Ranure y repita los párrafos 6, 7 y 8 para tener otro grupo de pruebas (entre 10 y 20 golpes).

NOTA.—Determine el % de humedad de todas las muestras obtenidas durante la prueba. (Estas pueden ser numeradas y registradas).

Registro

Anotados todos los datos en el registro, haga los cálculos necesarios y proceda a hacer lo siguiente:

1.—Encuentre la relación entre % de humedad y número de golpes, usando papel semilogarítmico en que las abscisas en escala logarítmica son los números de golpes y las ordenadas en escala aritmética son los % de humedad.

2.—Una el centro de los puntos entre 10 y 20 golpes, con el centro de los puntos entre 25 y 35 golpes.

3.—La intersección de esta línea con la de 25 golpes, nos da un % de humedad que es el límite líquido.

Precauciones para el ensayo.

1.—Para que la determinación del límite líquido sea uniforme, hay que descansar la base en 4 hules, ya que la diferencia de rigidez del lugar de apoyo de la base ocasionaría discrepancias en los resultados.

2.—Asegurarse de que la base donde golpea la taza esté perfectamente seca y limpia de polvo o tierra, pues, de lo contrario la energía del golpe sería amortiguada.

3.—Pesar inmediatamente la muestra colocada en la caja metálica, pues aunque teóricamente está bien cerrada, siempre se produce cierta evaporación que altera el valor del contenido de agua.

Límite Plástico.

La pequeña muestra que fué separada al comienzo de la prueba de L. w. es dejada a secar al aire a una consistencia a la cual el material no puede pegarse a las manos, pero que, sin embargo, pueda ser rodillado en forma de cilindro delgado sin romperse.

Procedimiento.

1.—Tome aproximadamente la mitad de la muestra y rodíllela con la mano, en una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel, o un vidrio, hasta formar un cilindro de 3 mm. de diámetro, ($\frac{1}{8}$ ").

2.—Amase la tira y vuelva a rodillarla.

3.—Repita esta última operación, para ir reduciendo gradualmente la humedad por evaporación, causando que el cilindro se empiece a endurecer.

4.—El límite plástico es alcanzado cuando el cilindro se rompe en varios pedazos cuando es rodillado.

NOTA.—Si hay alguna duda de cuando se alcanzó el P. w., amase de nuevo las piezas del cilindro y rodíllelas de nuevo.

5.—Inmediatamente ponga los pedazos de cilindro en una caja metálica y determine el % de humedad, secándolo en un horno a 105° C.

6.—Cheque la determinación del P.w haciendo otro ensayo con la otra porción de la muestra original.

De la curva de escurrimiento, del límite líquido Lw. y del límite plástico Pw, pueden determinarse los siguientes índices importantes.

a).—El índice de plasticidad, (I_w), que es igual a la diferencia numérica entre L_w y P_w .

$$I_w = L_w - P_w.$$

b).—El índice de escurrimiento (F_w), que es igual a la pendiente de la curva de escurrimiento. Numéricamente es igual a la diferencia entre el contenido de agua a los 10 y a los 100 golpes, o entre 1 golpe y 10.

c).—El índice de tenacidad T_w , que es el cociente de dividir el índice plástico entre el índice de escurrimiento.

Haciendo un estudio comparativo de los límites y los índices, se puede hacer una distinción entre las arcillas y los suelos no plásticos, así como su clasificación de acuerdo con el grado de plasticidad.

Los granos muy finos de suelos de arcilla dan una área total de contacto entre los granos, mucho mayor que la de los granos mayores en los suelos de arena y limo. En consecuencia, la cohesión del suelo es mayor y se le debe agregar más agua para separar los granos y hacer que el suelo escurra fácilmente. El L_w es por lo tanto alto y bajará al mezclarse al suelo arena o limo. En este caso el P_w también se baja, pero más lentamente que el L_w , de modo que el índice de plasticidad también descendiéndole llegando a 0 para los suelos arenosos. El P_w es afectado materialmente por la forma de los granos, siendo menor para las partículas de forma escamosa. También es afectado por el contenido de materia orgánica, que hace subir su valor.

LIMITES DE ATTERBERG

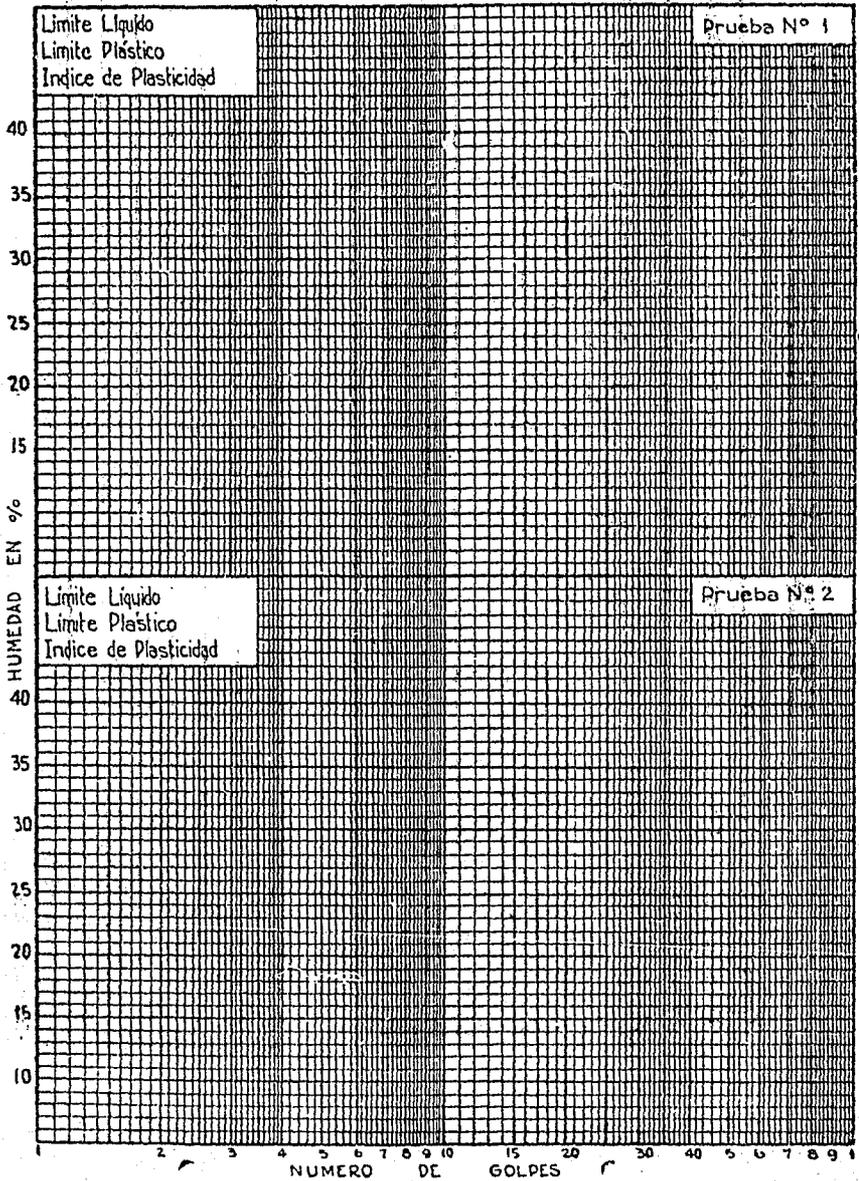
Obra _____ Fecha _____ de 194_____ Operador _____
 Pozo _____ Elev. _____ Prof. _____ Muestra N°. _____ Material pasado por
 Procedencia _____ la malla N°. _____

LIMITE PLASTICO						
Charola N°						
Peso de la Charola y Tierra Humeda.						
Peso de la Charola y Tierra Seca.						
Peso de la Charola.						
Contenido de agua.						
Tierra Seca.						
Por ciento de Humedad						

LIMITE LIQUIDO						
N° de Golpes.						
Charola N°.						
Peso de la Charola y Tierra Humeda.						
Peso de la Charola y Tierra Seca.						
Peso de la Charola.						
Contenido de Agua.						
Tierra Seca.						
Por ciento de Humedad.						

LIMITES DE ATTERBERG "LAMINA X"

Obra: _____ Procedencia: _____
 Pozo N°: _____ Profundidad: _____
 Fecha: a _____ de _____ de 194 _____ Operador: _____



III.—PERMEABILIDAD.

Las pruebas de suelo descritas antes se hacen principalmente, como ya se dijo, con fines de clasificación y tienen poca aplicación directa en los problemas de terracería y cimentaciones, aunque son una buena ayuda y nos hacen sospechar el comportamiento que pueden tener los materiales. En esta parte vamos a considerar las pruebas que son de especial importancia en la ingeniería y con las cuales encontramos las características de diseño de un suelo, es decir, datos que nos sirven para determinar el comportamiento de un suelo en masa al ser sometido a esfuerzos conocidos.

Una de las características físicas más importantes de los suelos es la permeabilidad, o sea la mayor o menor facilidad al paso del agua a través de ellos. Es obvio que la permeabilidad es uno de los factores de mayor importancia en el proyecto de cortinas de tierra, diques y terraplenes.

Puesto que la permeabilidad controla la rapidez con que el agua entra o sale de un suelo, tiene una relación íntima con el cambio de aquellas propiedades del suelo que dependen del contenido de humedad. En los suelos el escurrimiento del agua es por lo general del tipo laminar; para suelos de grandes poros pasa de laminar a turbulento y en tal caso en una parte hay movimiento por capas y en otras turbulento. En el régimen laminar la velocidad varía directamente con el gradiente hidráulico que es la relación entre la carga de agua y la longitud del paso de filtración.

La ley que gobierna el escurrimiento del agua a través de los suelos finos se expresa por la Ley empírica de Darcy:

$$Q = k.i.A.t.$$

en la cual:

Q , es la cantidad total de agua que escurre por una sección recta del suelo, A , bajo un gradiente hidráulico, i , en un tiempo, t . El factor k , llamado coeficiente de permeabilidad, depende no sólo del tamaño y de la forma de los granos del suelo y de la estructura, sino también de la relación de vacíos, e , y de la temperatura del agua.

La relación de vacíos e , se define como el volumen de vacíos, por unidad de volumen de partículas sólidas contenidas en una masa de suelo. Se puede calcular del peso seco de los sólidos W_s , el volumen total de una muestra ($V = L \cdot A$) y la densidad, S_s , de la materia sólida.

$$e = \frac{V \cdot S_s - W_s}{W_s}$$

Consideraciones teóricas indican que para los suelos arenosos k es aproximadamente proporcional a e^2 . La relación de vacíos depende mucho de la composición granulométrica.

La influencia de la temperatura se refleja en un cambio de la viscosidad cinemática del agua. El coeficiente k es tanto mayor cuanto más grueso es el grano. Con objeto de comparar los coeficientes de permeabilidad de los diferentes suelos, los valores de k , se refieren a la temperatura normal de 20°C .

Conociendo el coeficiente de permeabilidad a cualquier temperatura, T , puede determinarse el coeficiente a 20°C por la ecuación:

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}}$$

siendo η_T y η_{20} las viscosidades cinemáticas del agua a la temperatura T y a la temperatura 20°C , respectivamente.

El coeficiente de permeabilidad puede determinarse por métodos directos e indirectos.

Directos:

- a).—Prueba de permeabilidad con carga constante.
- b).—Prueba de permeabilidad con carga variable.
- c).—Prueba de permeabilidad usando pozos de observación.

Indirectos:

Prueba de capilaridad horizontal.

En el diseño de cualquier estructura de tierra generalmente es necesario conocer la permeabilidad que tiene el suelo originalmente y también con las modificaciones que puede sufrir. En el caso de una cortina de tierra cimentada sobre una formación permeable, se deben obtener muestras inalteradas del suelo de la cimentación. También se deben preparar muestras "remoldecadas" que representen el terraplén que se vaya a construir.

El valor del coeficiente de permeabilidad k , para los distintos suelos, varía entre límites muy amplios. Debido a esto, nunca es conveniente aceptar los resultados de una sola prueba, siempre deben hacerse varias y promediar los resultados. Esto es especialmente cierto para las muestras inalteradas que se han seleccionado para determinar la permeabilidad de una gran masa de suelo que puede variar mucho en sus propiedades físicas de un punto a otro.

El agua tomada de las cañerías contiene siempre burbujas de aire. Si se usa esta agua en las pruebas de permeabilidad, se juntará aire en los poros del suelo haciéndolos impermeables y dando resultados falsos en la prueba de permeabilidad. Este factor siempre debe tenerse en cuenta al interpretar estas pruebas a menos que se tomen precauciones especiales para extraer el aire del agua. Para evitar esta dificultad al hacer las pruebas se usará agua destilada y hervida, después de dejarla enfriar.

En el siguiente cuadro del Dr. Casagrande, se señala el margen de aplicación de cada uno de los métodos para determinar el coeficiente de permeabilidad.

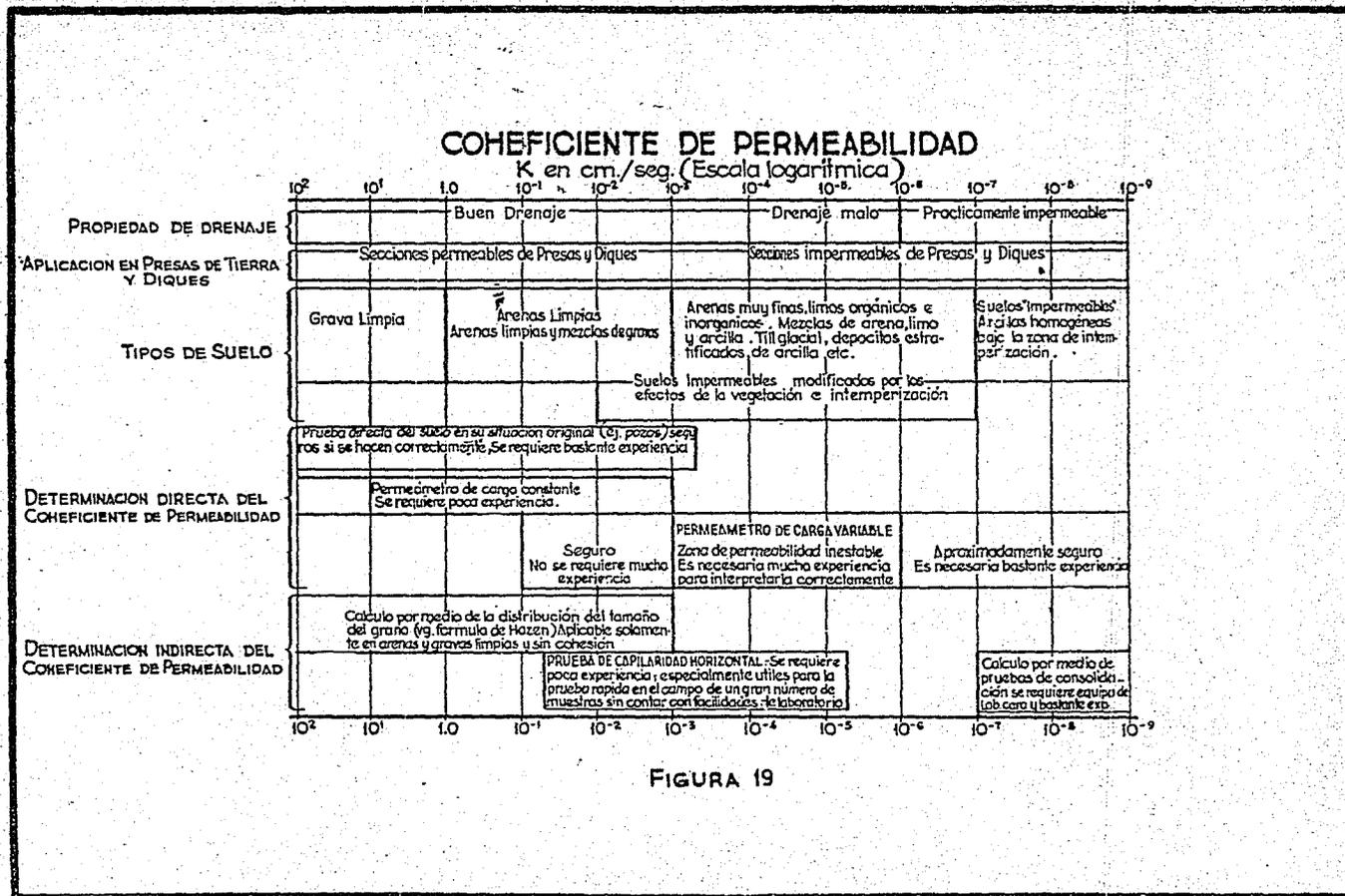


FIGURA 19

Aparatos requeridos para las pruebas de permeabilidad.

Tubos de lucite de 2" y 4" diámetro interior y de 10 a 20 cms. de longitud.

Tubos de vidrio de 3 mm. diámetro interior.

Tubo de goma de 3 mm. " "

Pinzas Mohr y pinzas de Hoffmann.

Mallas de alambre del No. 200.

Discos metálicos perforados para proteger la malla, del diámetro del tubo.

Abrazaderas para sostener la malla y el disco.

Tapones de hule con 2 perforaciones.

Horno.

Pisones metálicos o tornillo de carpintero para preparar la muestra.

Balanza de 0.1 gr. de sensibilidad.

Preparación de muestras:

La preparación de las muestras que se describirá, es igual para ser usadas en prueba de carga constante que en las de carga variable.

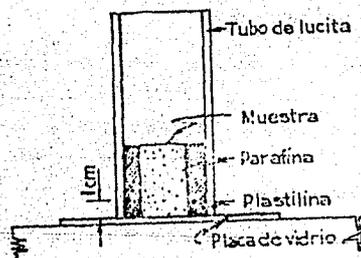
α).—Inalteradas:

1.—Córtese la muestra cuidadosamente en forma cilíndrica, de un diámetro menor que el del tubo de lucite y de una altura de unos 10 cm. para materiales arenosos y unos 4 para arcillosos, pudiéndose bajar estas hasta 2 cm. para materiales muy impermeables.

2.—Mídase el área media de la sección recta, A , y la longitud L de la muestra.

3.—Colóquese el espécimen de prueba en posición vertical sobre una

FIG. 20

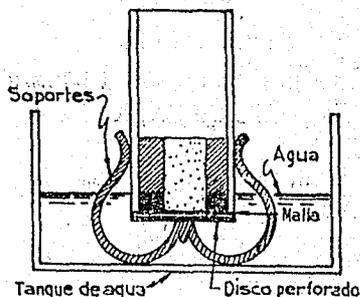


placa de vidrio húmeda y rodee la muestra con plastilina en su parte inferior, de tal modo que al colocar después el tubo de lucite, sirva de empaque en una altura como de 1 cm.

4.—Llénese el espacio entre la muestra y el tubo y desde la plastilina hasta la parte superior de la muestra con parafina derretida, cuidadosamente colocada en capas delgadas, dejando enfriar un poco siempre la capa anterior.

5.—Quítese el vidrio que sirvió nada más para colocar la muestra y póngase una malla del No. 200 del mismo diámetro que el tubo, para proteger a la muestra. Colóquese abajo de la malla un disco de lámina con perforaciones grandes, para soportar la malla y por último las agarraderas que sostienen el disco y la malla.

FIG. 21



6.—Coloque el tubo y la muestra así empacada en una charola con agua hasta un poco más arriba de la parte inferior de la muestra, con objeto de que el material se sature de abajo a arriba por capilaridad, teniéndose así la ventaja de que al ir entrando el agua por los poros de la muestra se va expulsando el aire que contiene.

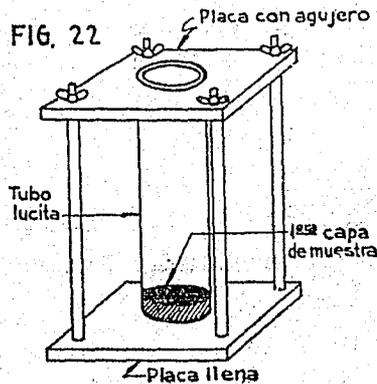
b).—Muestras remoldeadas:

La muestra remoldeada es aquella que es compactada por capas, dentro del cilindro de lucita, debiendo quedar compactada con el peso volumétrico seco, máximo obtenido con la prueba Próctor, para el mismo material.

La muestra total deberá tener unos 10 cm. de altura para muestras arenosas y unos 4 cm. para muestras arcillosas. La longitud depende también de la carga de agua disponible y del gradiente hidráulico que se desee.

La compactación de la muestra, se puede hacer por medio de golpes con un martillo, sobre la capa floja, tal como se hace en la Próctor, pero usando un martillo de menos peso y menos área y capas más delgadas o bien se pueden compactar las capas flojas por medio de un aditamento que produzca presión como un tornillo de carpintero. Se ha encontrado más sa-

tisfatorio este último sistema y también es conveniente presionar cada capa sucesiva ligeramente más que la precedente. Esto tiende a lograr una compactación más uniforme en toda la extensión de la muestra.



Procedimiento.

1.—Coloque el tubo de lucita entre 2 placas metálicas, una llena para la base y otra con un agujero al centro y fíjelas con los tornillos como se ve en la figura.

2.—Ponga una capa de 1 cm. de muestra con la humedad óptima, en el fondo del tubo.

3.—Con un tornillo de carpintero, o por medio de golpes con un martillo compacte esa capa.

4.—Repita el 2 y 3, hasta tener la altura deseada.

5.—Quite los tornillos y las placas y coloque en la base inferior del tubo la malla del No. 200, el disco perforado y los soportes.

6.—Sature la muestra por capilaridad, como en el caso de muestras inalteradas.

A fin de determinar la relación de vacíos del espécimen ya sea inalterado o remoldeado, es necesario obtener el peso seco de la muestra al concluir la prueba de permeabilidad. La relación de vacíos puede calcularse del peso seco, W_s , el volumen total $V = L \cdot A$ y la densidad de la materia sólida S_s , por la siguiente ecuación

$$e = \frac{V \cdot S_s - W_s}{W_s}$$

Prueba de permeabilidad con carga constante.

Los permémetros de carga constante, fueron de los primeros aparatos ideados para determinar el coeficiente de permeabilidad. Sin embargo, sus resultados solamente son satisfactorios con suelos relativamente permeables, como las arenas. Para suelos más finos la prueba requiere tanto tiempo que puede ser afectada por la evaporación o por el cambio de la naturaleza del suelo. Se aplica también la Ley de Darcy:

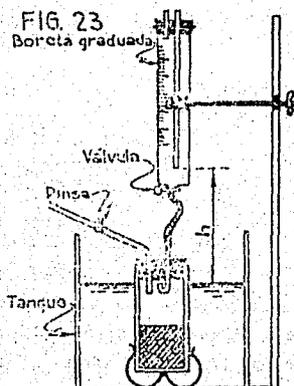
$$k = \frac{Q}{iAT}$$

Durante la prueba se mide la cantidad de agua Q que escurre en el tiempo t , y puesto que el gradiente hidráulico es, $i = h/l$ tenemos

$$k = \frac{QL}{hAT}$$

Procedimiento.

1.—El tubo de lucita con la muestra ya preparada y saturada, se coloca dentro de una charola o tanque con agua.



2.—Ponga un tapón de hule en la parte superior del tubo, que tenga 2 agujeros; uno para ponerle un tubo de hule, por el cual se expulsa el aire de la parte que queda entre la muestra y el tapón al llenarlo de agua y otro para insertarle el tubo de vidrio por el cual tiene entrada el agua durante la prueba.

3.—Por el tubo de vidrio y por medio de un embudo vacíe agua sin aire (hervida), para llenar el espacio entre la muestra y el tapón abriendo la pinza que obtura el tubo de hule y así expulsar el aire. Cierre después esta pinza permanentemente durante la prueba.

4.—Coloque el otro extremo del tubo de vidrio, a la bureta graduada, estando ésta a tal altura h sobre el agua del tanque, que se tenga el gradiente que se desea, teniendo en cuenta que los gradientes usuales son: para arenas menos de 1 y para arcilla hasta 8.

5.—Estando la bureta ya sujeta y con agua sin aire, con su tapón de hule como se ilustra en la figura, de tal modo que introduciendo un tubo dentro de ella que comunique con el exterior se tenga, aunque el nivel de agua descienda, la carga h constante. Abra la válvula que comunica la bureta con el tubo y deje que el agua se filtre a través de la muestra, hasta que se regularice el régimen.

6.—Añada agua en la bureta hasta aforarla a un nivel fijo, que debe registrarse; empiece a contar el tiempo. Haga lecturas del nivel del agua, y el tiempo transcurrido. Determine el gasto Q , escurrido a través de la muestra en esos tiempos. Durante la prueba obsérvese la temperatura T del agua.

7.—Conociendo t , Q , h se puede ya calcular el coeficiente k , por la fórmula

$$k_T = \frac{QL}{hAt}$$

8.—Calcúlese el valor del coeficiente K_{20} , como se ha descrito.

9.—Háganse lecturas y calcúlese los valores de k hasta que se haya logrado una concordancia satisfactoria en los datos.

Prueba de permeabilidad con carga variable.

Esta prueba que fué introducida por Terzaghi, se lleva a cabo del mismo modo que la de carga constante, excepto precisamente que la carga bajo la cual tiene lugar el escurrimiento no se mantiene constante, sino que se permite que descienda en un piezómetro conectado directamente con la muestra.

La cantidad de agua que escurre a través de la muestra se determina calculándola del área del tubo y del descenso de la carga, por la siguiente ecuación en la cual se ha introducido una carga variable en el gradiente hidráulico i , expresado en la Ley de Darcy:

$$k = \frac{2.3 \alpha L}{\sqrt{A} t} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

en la que:

α = área del piezómetro.

A = Sección recta de la muestra.

L = longitud de la muestra.

h_1 = carga al principio de la muestra.

h_2 = carga al finalizar la prueba.

t = tiempo necesario para el descenso de la carga de h_1 a h_2 .

Para todos los suelos de grano fino es usado este permámetro con ventaja sobre el de carga constante.

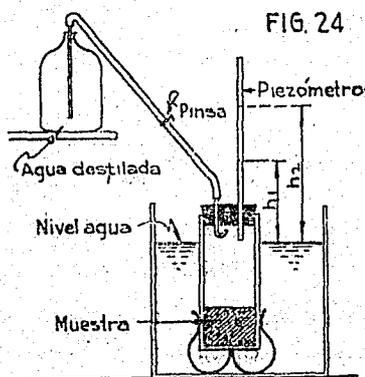
De acuerdo con la permeabilidad del suelo, la relación del área del piezómetro con el de la muestra se deberá seleccionar de modo que la rapidez de descenso del nivel de agua no sea mayor de 1 cm. por segundo. Para los suelos de granos muy finos, se requieren piezómetros de diámetros muy pequeños.

Procedimiento.

1.—Colóquese como en el procedimiento anterior, el tubo de lucita con la muestra ya preparada dentro de un recipiente con agua.

2.—Coloque también un tapón de hule con 2 agujeros: uno para hacer la conexión de entrada de agua para llenar el permeámetro y otro que servirá para dar la carga durante la prueba.

3.—Abriendo una válvula o pinza del tubo de entrada de agua sin aire, llene el espacio entre la muestra y el tapón, sirviendo el tubo de carga para expulsar el aire.



4.—Cierre la válvula de entrada cuando el agua ya derrame por la parte superior del piezómetro.

5.—Déjese escurrir agua a través de la muestra hasta que se establezca el régimen.

6.—Llénese de nueva cuenta el piezómetro y haga una marca en el tubo que será h_1 . Empiece a contar el tiempo t_1 .

7.—Haga una lectura cuando el agua ya llegue a la parte baja del tubo de carga, que será h_2 , y anote el tiempo t_2 .

NOTA:—Los valores h_1 y h_2 están medidos desde la superficie del agua del recipiente.

8.—Anotando esos datos en el registro de la prueba haga los cálculos para determinar k_{π} y K_{20} .

9.—Repítase 6, 7 y 8 cuando menos 3 veces o hasta que haya concordancia en los resultados.

Determinación de la relación de vacíos.

Tanto en la prueba de carga constante como en la de carga variable se necesita, como ya se dijo, determinar la relación de vacíos e , para esto hágase lo siguiente:

1.—Quítese cuidadosamente el tapón de hule, la malla, el disco y el soporte y pásese la muestra a una cápsula cuyo peso haya sido previamente determinado y registrado.

2.—Coloque la cápsula en un horno de secado a temperatura constante de 105°C.

3.—Después de secada, sáquese del horno la cápsula, deje que se enfríe y pésele con aproximación de 0.01 gr. la cápsula más la muestra seca.

4.—Determínese la relación de vacíos por la fórmula

$$e = \frac{V.Ss - Ws}{Ws}$$

Pruebas de permeabilidad por medio de pozos de observación.

Este tipo de prueba se hace observando en "pozos testigos" las fluctuaciones de la elevación del agua subterránea ocasionados por el bombeo en un pozo de prueba. Estas pruebas, aunque comparativamente costosas, proporcionan la información más segura sobre la permeabilidad media de los suelos, y son especialmente usadas para determinarla en problemas de cimentación, en aquellos casos en que se tengan suelos muy permeables (casi siempre arenosos), que puedan poner en peligro la ejecución de un proyecto de una cortina, por ejemplo, ya que la permeabilidad de las arenas tiene interés no sólo para estimar las pérdidas por filtración, sino que es necesario conocerla con detalle dentro de ciertos límites de profundidad con el objeto de conocer la capa más apropiada para cimentar la cortina al determinar la velocidad adecuada del agua subterránea para no comprometer la estabilidad de la estructura.

Estas pruebas pueden ser más o menos complicadas, según que el suelo de cimentación sea un material homogéneo o heterogéneo.

Se abren pozos a cielo abierto, o si el manto permeable es muy profundo por medio de perforadoras y aún se puede aprovechar el pozo principal sue en cualquier caso hay que hacerlo, para obtener muestras a varias profundidades del manto y determinar si el material es homogéneo o cambia mucho a distintas profundidades o por zonas.

Si el material es homogéneo la prueba consiste en términos generales en hacer un pozo, donde se instala un equipo de bombeo, y otros dos pozos de observación en los que se mide el abatimiento del nivel freático al estar bombeando en el pozo principal, pudiéndose hacer decreciente la profundidad en los pozos de observación a medida que se alejen del de bombeo. Se utiliza entonces la fórmula de Thiem que dice:

$$k = \frac{Q \text{ Log.}e R_1/R_2}{\pi (Z_1^2 - Z_2^2)}$$

en sistema métrico, y en que:

k = coeficiente de permeabilidad en $m^3/m^2.s$.

Q = gasto del equipo de bombeo durante las observaciones.

R_1 = distancia del pozo más alejado.

R_2 = distancia del pozo más cercano.

Z_1 = altura del nivel del agua en el pozo más lejano, después del bombeo y contando a partir del plano horizontal que pasa por el fondo del pozo principal.

R_2 = distancia del pozo más cercano.

Z_2 = lo mismo que Z_1 pero para el pozo más cercano.

Tanto el pozo principal como los de observación deben ser ademados, pero de tal manera que se permita la entrada libre del agua al pozo, por ejemplo con tubos perforados.

Una vez abiertos y ademados los pozos, se miden las distancias entre ello y el nivel del agua freatica antes del bombeo.

Se instala el equipo de bombeo en el pozo principal y se bombea durante un cierto número de horas, procurando que el gasto sea lo más uniforme posible y hasta que el régimen se haya establecido.

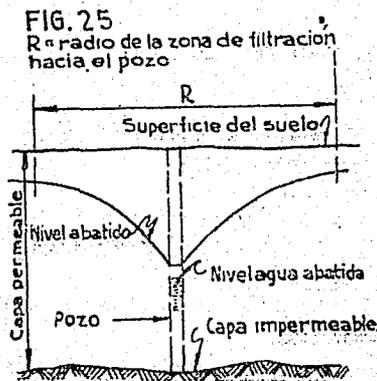
Una vez abatido el nivel del agua se hacen lecturas simultáneas en los 3 pozos, del nuevo nivel, conociéndose así todos los datos para calcular k por medio de la fórmula.

Para ilustrar con un ejemplo este procedimiento, se tomaron los datos de unas pruebas para determinar el coeficiente de permeabilidad que se efectuaron en la boquilla de la Presa de Hermosillo, Son., por el Dr. Waitz en marzo de 1944. (Ver Fig. siguiente página).

Debe hacerse notar que A. Thiem hizo sus experiencias y las aplicó en frecuentes ensayos, bajo la hipótesis de que el terreno fuera uniforme, de que la pendiente de la superficie libre del agua fuese muy pequeña y de que había independencia entre la permeabilidad k y la velocidad del líquido y además sin conocer la profundidad de la capa permeable por lo que el pozo de bombeo no necesita llegar hasta la capa impermeable.

Como ya se dijo el procedimiento se simplifica bastante cuando el material es homogéneo, puesto que el bombeo en un pozo produce una depre-

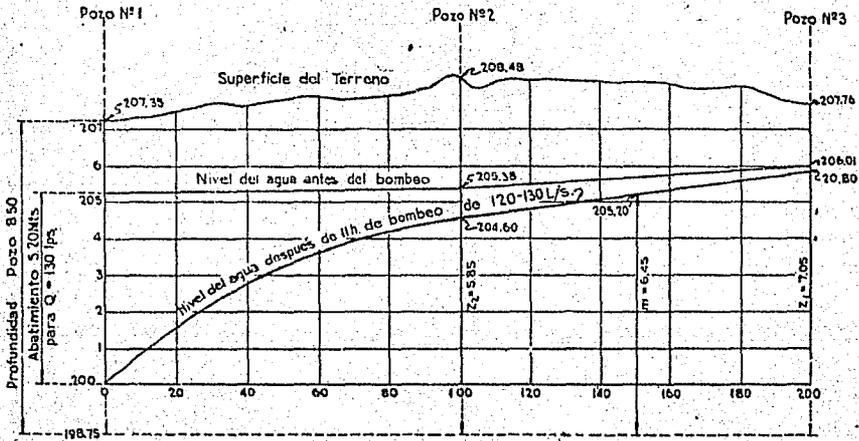
sión en forma de embudo (Fig.) en la capa acuífera, cuyo radio R , aumenta con el tiempo y si el material es homogéneo todas las curvas de nivel de este como son círculos, pudiéndose aplicar así la fórmula de Thiem, en cambio si el material es heterogéneo las curvas de nivel siguen formas caprichosas; que hay que determinar por medio de un número mayor de pozos de observación. El radio R , en un tiempo dado t , es independiente del diámetro del pozo \bar{r} de la cantidad de agua Q que es bombeada del mismo. (Terzaghi, pág. 316 y 317).



El procedimiento general, para suelos heterogéneos es en esencia el mismo descrito anteriormente, haciendo un pozo central en el cual se bombea y una serie de pozos de observación en forma radial, en los cuales se miden los niveles antes y después del abatimiento del agua en el pozo central. Es en estos casos sobre todo en los que se necesita que el pozo central tenga la mayor profundidad posible dentro del manto impermeable y aún llegar al lecho impermeable, para tener un valor representativo de la permeabilidad media del suelo. Al igual que en el caso anterior los pozos deben ademsarse de preferencia con tuberías perforadas o ranuradas.

En el pozo central conviene instalar una bomba de pozo profundo cuyas características dependerán de la profundidad del pozo y el gasto por bombearse.

Los pozos de observación de ser posible se necesita equiparlos con medidores de nivel que permitan hacer lecturas simultáneas en todos los pozos. Los pozos se van espaciando más a medida que se alejan del central, pues la diferencia de niveles va siendo menor y por lo mismo se van haciendo menos profundos.



CALCULO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad es según la fórmula de Thieme:

$$P = \frac{Q \log_e \frac{R_1}{R_2}}{\pi (Z_1^2 - Z_2^2)}$$

De la figura se obtienen los valores de $R_1 = 200$; $R_2 = 100$; $Z_1 = 7.05$; $Z_2 = 5.85$

para $Q = 0.130 \text{ m}^3/\text{seg}$; que sustituidos en la fórmula (1) da:

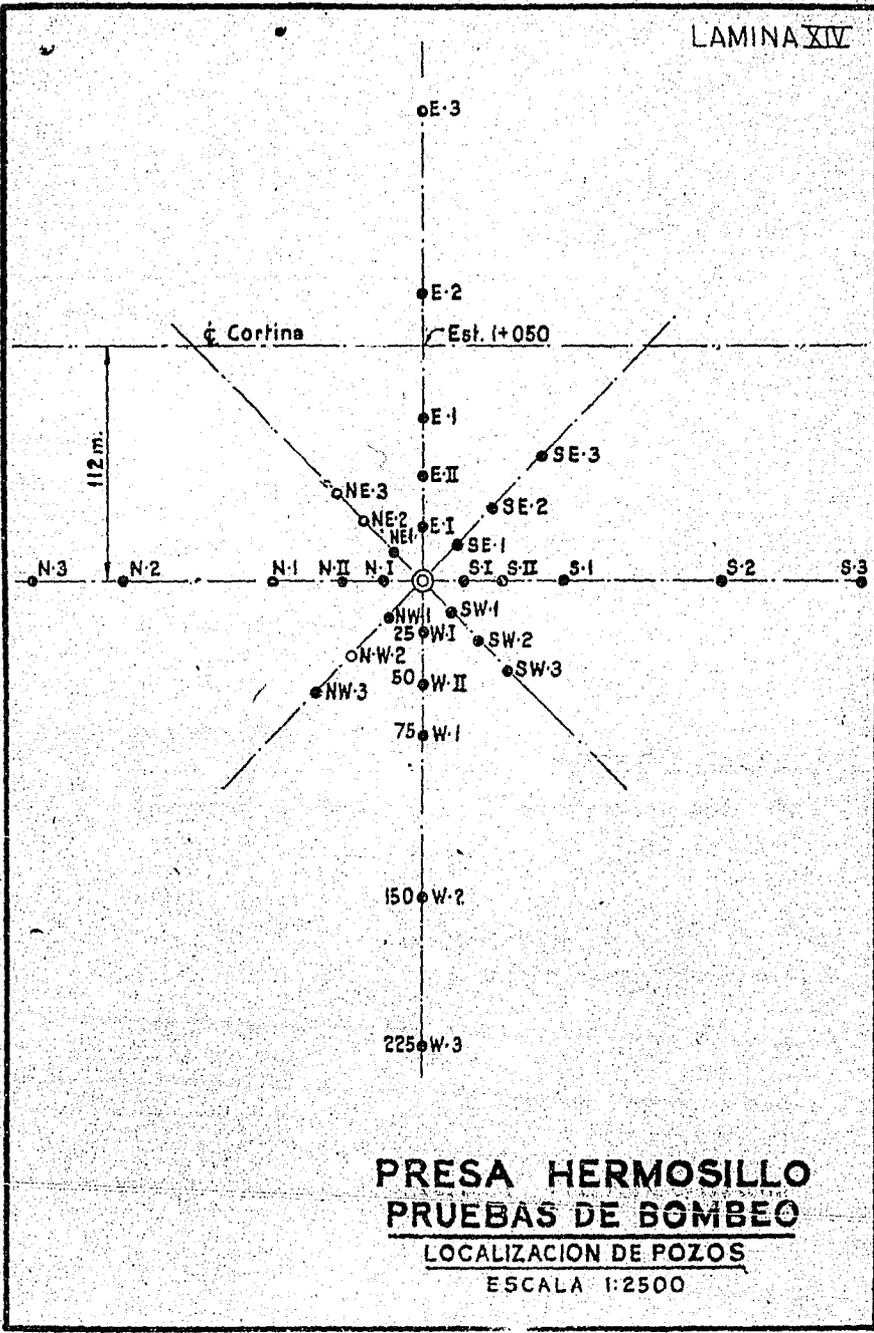
$$P = \frac{0.130 \log_e 2}{\pi (7.05^2 - 5.85^2)} = \frac{0.130 \times 0.695}{3.14 (70.7^2 - 585^2)} = 3.4 \times 15.5$$

$$P = 0.001857 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}; P = 0.001857 \times 86400 = 160.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

UNIVERSIDAD NAL. AUT. DE MEX.
ESC. NAL. DE ING.

TESIS PROFESIONAL
RAUL HARO VELEZ

CURVA DE ABATIMIENTO DE LAS
AGUAS SUBALVEAS EN LAS PRUEBAS
DE BOMBEO-BQ8 DE HERMOSILL O



PRESA HERMOSILLO
PRUEBAS DE BOMBEO
LOCALIZACION DE POZOS
ESCALA 1:2500

Procedimiento.

Abiertos y ademados los pozos tanto el central como los radiales e instalada la bomba, se toman los niveles del agua freática en todos ellos, antes del bombeo.

Se procede después a bombear requiriéndose un gasto tal que abata el nivel a bastante profundidad, por ejemplo, 10 m. para un pozo de 50 m., para que se tengan valores con los que los errores debidos a las hipótesis para valuar la permeabilidad sean tolerables. El bombeo debe hacerse además hasta que se regularice el régimen del agua.

Una vez abatido el nivel y regularizado el régimen se toman lecturas simultáneas en todos los pozos, del nivel del agua ya abatida.

Se hace un levantamiento de los pozos y se dibuja en un papel, poniendo en ellos las cotas del nivel del agua abatida, referidas a un mismo plano, trazándose las curvas de nivel. Después se dibuja la red de flujo sobre el mismo papel. Teniendo las curvas de nivel como equipotenciales sólo resta trazar las líneas de flujo, que son el recorrido a lo largo del cual viaja una partícula de agua a través de una masa de suelo proyectadas sobre un plano horizontal; estas líneas de corriente son normales a las líneas equipotenciales o de nivel. Las curvas individuales que constituyen las redes de flujo son siempre dibujadas de modo que todos los campos encerrados entre 2 líneas de flujo y 2 líneas equipotenciales sean aproximadamente cuadrados.

Luego de obtenida la red de flujo, la relación de filtración puede ser determinada por medio de la Ley de Darcy $v = k i$ en la que v es la velocidad de descarga, k es el coeficiente de permeabilidad, e i el gradiente hidráulico. Con el fin de facilitar el procedimiento, la red de escurrimiento es trazada de tal modo que la pendiente potencial entre 2 líneas de nivel adyacentes sea constante Δh . El espacio entre 2 líneas de corriente es conocido como un canal de escurrimiento. Si llamamos (α) la distancia media entre 2 líneas equipotenciales, el gradiente hidráulico medio dentro de la malla es $i = \Delta h / \alpha$ y la cantidad de agua que escurre a través de ella, por unidad de tiempo y unidad de ancho del canal de escurrimiento es $k i = k \Delta h / \alpha$.

Ahora si llamamos ΔL a la distancia media entre las líneas de escurrimiento to, la cantidad de agua total que escurre entre las líneas de flujo extremas que van al pozo es la suma de todos los gastos que pasan a través de los canales de escurrimiento y que es, siendo h la profundidad del manto per-

reable; $q = A k i = kh \Sigma \Delta L \frac{\Delta h}{\alpha}$ — $kh \Delta L \Sigma i$. Siendo ΔL constante α lo largo de una curva de nivel, se puede sacar como factor.

De aquí podemos despejar k que es lo que queremos conocer:

En esta fórmula, q se conoce pues es el gasto con que se ha estado bombeando durante la prueba h , es la profundidad del manto permeable y que debe conocerse ya sea porque al hacerse el pozo central se haya llegado hasta la capa impermeable, o por medio de sondeos. ΔL son los incrementos en que se divide la línea de nivel que se escoja, y Σi es la suma de los gradientes hidráulicos obtenidos para cada ΔL y que como se dijo son iguales a $\Delta h/\alpha$ siendo Δh la diferencia de cotas entre la curva de nivel escogida y una muy próxima, y por lo tanto es constante. (α) es la distancia horizontal entre las 2 curvas de nivel, para cada ΔL que se tome. Ej: (Ver fig.) En la figura $\Delta h = 5.1 - 5.0 = 0.1$: $\alpha =$ distancia entre esas 2 curvas ΔL partes en que hemos dividido la longitud total de la curva de nivel comprendida entre las líneas de flujo extremas que van a dar al pozo y que son precisamente las últimas que aportan agua para poderle estar extrayendo un gasto constante.

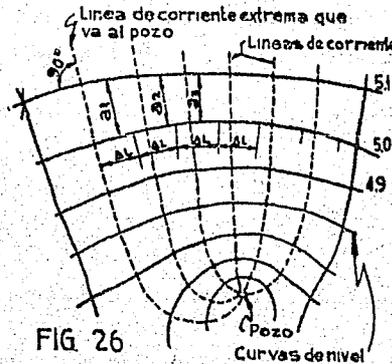
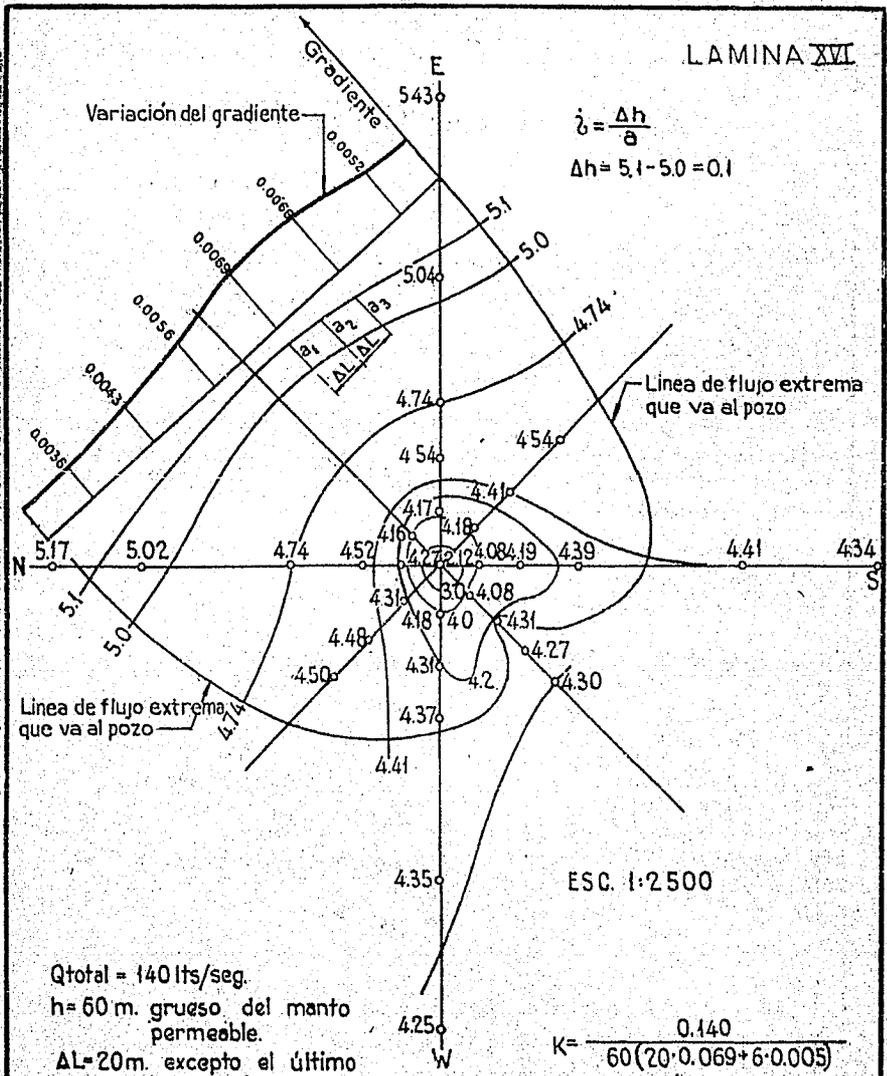


FIG 26

Como un ejemplo para ilustrar mejor este procedimiento, se tomó el estudio de filtración que se hizo también en la Presa de Hermosillo, Son. (Ver Láminas).

Prueba de Capilaridad Horizontal.

Aprovechando que las fuerzas capilares absorben el agua con cierta velocidad se puede determinar el coeficiente de permeabilidad de un suelo, indirectamente, en función de ella. Esta prueba es adecuada especialmente para ensayar rápidamente un gran número de muestras en el campo.



$$i = \frac{\Delta h}{a}$$

$$\Delta h = 5.1 - 5.0 = 0.1$$

$Q_{total} = 140 \text{ lts/seg.}$
 $h = 60 \text{ m. grueso del manto permeable.}$
 $\Delta L = 20 \text{ m. excepto el último incremento que es de 6 m.}$

$$K = \frac{0.140}{60(20 \cdot 0.069 + 6 \cdot 0.005)}$$

$$K = 0.16 \text{ cm/seg.}$$

$$K = 138.2 \text{ m/día.}$$

$$K = \frac{Q_i}{h(\Delta L \cdot \Sigma i)}$$

$\Sigma i = 0.0688$ en el último incremento $i = 0.0048$

PRESA HERMOSILLO
PRUEBAS DE BOMBEO
SUPERFICIE DEL AGUA DESPUES
DE 180 HORAS DE BOMBEO

Procedimiento.

1.—En un tubo de lucita de los que se usan para permeabilidad se coloca una muestra del suelo seco, cuidadosamente preparada. El tubo tiene un extremo abierto y el otro tapado, dejando insertado un tubo de vidrio para tener la presión atmosférica.

2.—Colóquese en posición horizontal el tubo, en un recipiente con agua de tal modo que ésta quede de 1 a 5 cm. arriba del tubo.

3.—El progreso de la línea de humedecimiento medida en función del tiempo, puede expresarse por la ecuación $X^2 = m \cdot t$, en la cual X es la distancia horizontal que ha avanzado la línea de humedecimiento en el tiempo t (contado desde el instante en que se colocó el tubo en el agua) y m es una constante para una muestra particular. Esta constante es una medida de la permeabilidad y que se determina de la ecuación anterior.

5.—Conociendo m , el coeficiente de permeabilidad k puede obtenerse de: $k = m^2/Z$.

en la cual Z es un índice de conversión constante para un tipo dado de suelo. El valor de Z depende de la composición granulométrica del suelo, es pequeño para suelos de granos de tamaño muy variado y es grande para suelos muy uniformes, variando entre 10 y 100.

6.—Para determinar Z , cuya variación es pequeña comparada con la variación de la permeabilidad, hágase una prueba de permeabilidad y compárese el resultado con una prueba de capilaridad horizontal ejecutada en la misma muestra.

Otro Procedimiento

Haciendo variar la carga de agua, en la prueba se puede determinar el coeficiente k sin necesidad de determinar Z .

1o.—Prepárese la muestra dentro del tubo, igual que en el procedimiento anterior, y que por otra parte es similar al que se sigue para preparar una muestra de permeabilidad de carga constante o variable.

2o.—En el extremo abierto se pone un tapón de hule con un tubito de vidrio que pase de lado a lado y entre el tapón y la muestra se coloca un resorte o arena de Otawa.

3o.—Antes de colocar el tubo en posición horizontal llene el espacio entre la muestra y el tapón, con agua, insertando en el tubito una manguera de hule que venga de un recipiente con agua colocado a mayor altura, de tal modo que penetre por abajo y vaya subiendo para expulsar la mayor cantidad de aire. Interrumpa la operación un poro antes de que el agua llegue a la muestra.

4o.—Inmediatamente colóquese en posición horizontal, en la charola con agua y tómesese el tiempo. Se tiene entonces la muestra trabajando con la carga h_0 . Cada vez que el agua avance 1 cm. dentro de la muestra tome el tiempo. Así se continúa hasta que se ha llegado a la mitad de la muestra.

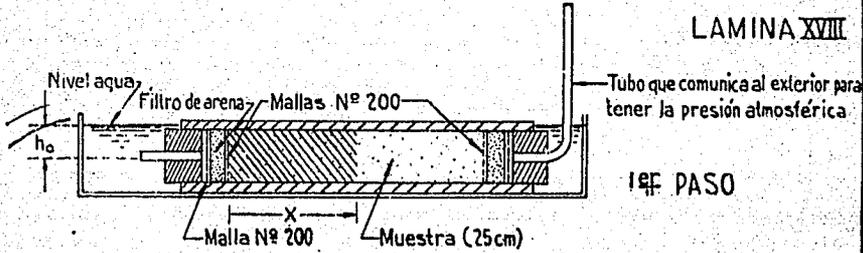
5o.—Insertándole una manguera que comunique con un depósito más alto, se tiene la carga h_1 y se continúa tomando tiempos cada vez que el agua avanza 1 cm.

6o.—Finalizada la prueba, construya una gráfica en que las abscisas son los tiempos registrados y las ordenadas, los cuadrados de las distancias avanzadas por el agua dentro de la muestra. Se obtiene una línea recta con 2 pendientes distintas, cambiando a partir de que se aumentó la carga de h_0 a h_1 .

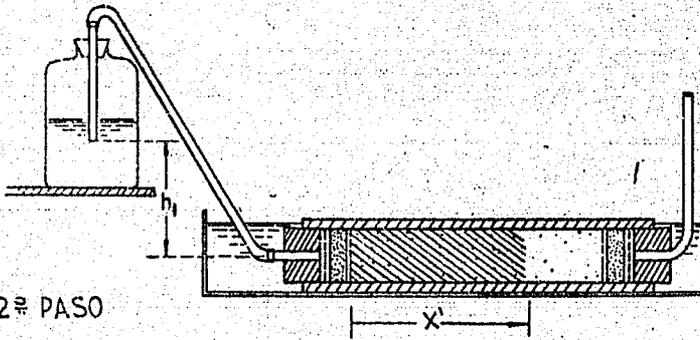
Por medio de las pendientes de esta recta, se puede establecer un sistema de 2 ecuaciones en que las incógnitas son k y h_c , siendo h_c la altura a que el agua subiría por capilaridad, y que no se conoce. De aquí podemos calcular k . (Ver figura).

DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD POR CAPILARIDAD HORIZONTAL

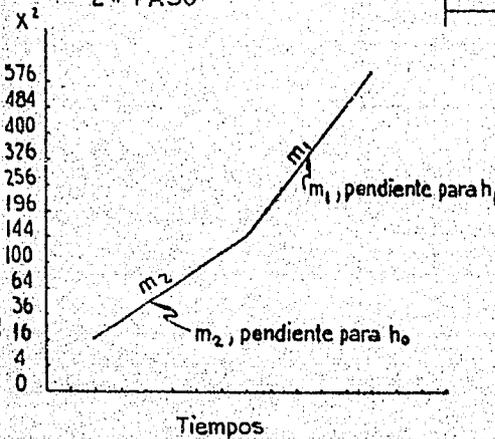
LAMINA XVIII



1er PASO



2er PASO



Gráfica Avance = tiempos

Calculos:

$$m_1 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1}$$

$$m_2 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1}$$

Sistema de 2 ecuaciones

$$m_1 = \frac{2K(h_c + h_i)}{n}$$

$$m_2 = \frac{2K(h_c + h_0)}{n}$$

K = Coeficiente de permeabilidad (incognita)

h_c = Altura que alcanzaria el agua por capilaridad en la muestra (incognita)

h_0 = Carga inicial, conocida.

h_i = Carga aumentada, conocida.

n = Porosidad de la muestra, conocida.

IV. RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE.

Es la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante la que hace posible que sobre él se cimente una estructura, o que se construya un terraplén de una masa de granos minerales individuales que no están cementados unos con otros.

La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante depende de muchos factores. Los más importantes son: el tamaño y forma de los granos, la estructura del material del suelo, su tratamiento previo y su contenido de agua.

Generalmente se considera que la resistencia de un suelo al esfuerzo cortante depende de la "fricción interna" y de la cohesión.

Se considera como cohesión aquella parte de la resistencia al esfuerzo cortante que es independiente de toda presión aplicada. La fricción interna se considera como el equivalente de la fricción ordinaria de deslizamiento, y generalmente se supone que es igual a la presión normal multiplicada por el coeficiente de fricción. El coeficiente de fricción se toma con la tangente de un ángulo ϕ llamado ángulo de fricción interna.

Así la resistencia por unidad de área, al esfuerzo cortante puede representarse por una ecuación empírica:

$$v = C + s \tan \phi$$

siendo s el esfuerzo normal de compresión y C la cohesión. Si $C = 0$ para materiales sin cohesión, la correspondiente ecuación es:

$$v = s \tan \phi$$

Los valores de C y ϕ pueden determinarse por medio de ensayos de laboratorio, midiendo la resistencia al esfuerzo cortante, para diferentes valores del Esfuerzo Normal S .

En la práctica se debe tener especial interés en la resistencia al esfuerzo cortante de suelos saturados o casi saturados.

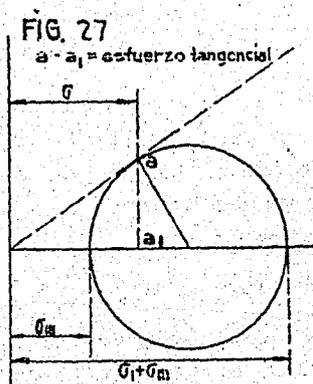
Los valores C y Φ dependen no solo de la naturaleza del suelo y de su estado inicial sino también del valor del esfuerzo aplicado, de la duración de la prueba y de las dimensiones de la muestra de ensayo.

Para arcillas el ángulo Φ puede ser excepcionalmente mayor de 20° y para arenas es mayor de 35° .

La prueba para encontrar los valores de C y Φ para un suelo, se llama prueba de compresión triaxial y determina las características esfuerzo-deformación y resistencia de suelos que se someten a esfuerzos cortantes producidos variando los esfuerzos principales que actúen en un espécimen cilíndrico de suelo.

En el tipo común de aparato de compresión triaxial dos de los esfuerzos principales se producen por la presión del líquido que rodea a la muestra y que son por lo tanto iguales. En pruebas de corta duración se emplea agua como medio para producir las presiones horizontales $s_2 = s_3$ y la presión vertical, s_1 se dá con una báscula o un gato.

Diagrama de Mohr. Mohr ideó un sistema gráfico, llamado círculo de Mohr en que liga la fatiga normal y la tangencial para un punto. En este diagrama, las fatigas de compresión están representadas sobre un eje horizontal y las fatigas tangenciales sobre un eje vertical. Los puntos que quedan sobre el eje horizontal corresponden a las fatigas principales, ya que para los mismos las fatigas tangenciales son nulas.



Encontrando por medio de la prueba de compresión triaxial las fatigas principales s_1 y s_2 se puede trazar el círculo (ver figura), y podemos trazar tantos círculos como pruebas hagamos variando s_1 y encontrando s_1 .

La envolvente de una serie de círculos define el ángulo Φ que se buscamos y la ordenada de esa envolvente, medida en el eje vertical es la cohesión C de un material.

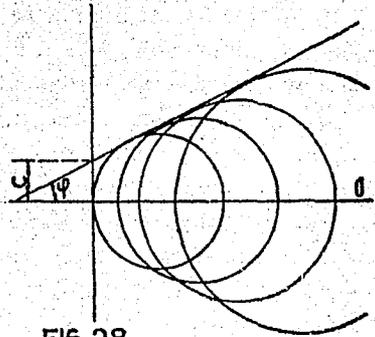


FIG. 28

Aparato.—El aparato de compresión triaxial consiste esencialmente, en una cámara de compresión formada por un cilindro de lucita y 2 placas metálicas, una superior y otra inferior. Dentro de la cámara se coloca la muestra y se rodea de agua para darle la presión, por lo tanto el cierre de la cámara debe ser hermético. La placa superior es atravesada por un vástago que es el que transmite la carga vertical a la muestra. Debe tenerse un dispositivo de carga para dar la presión vertical y que puede ser una báscula que directamente nos de los valores de la carga o un gato que dé la carga y algún dispositivo para medirla, por ejemplo un anillo de prueba, que debe ser perfectamente calibrado en un laboratorio. En este caso se requiere un micrómetro que nos mida las deformaciones del anillo.

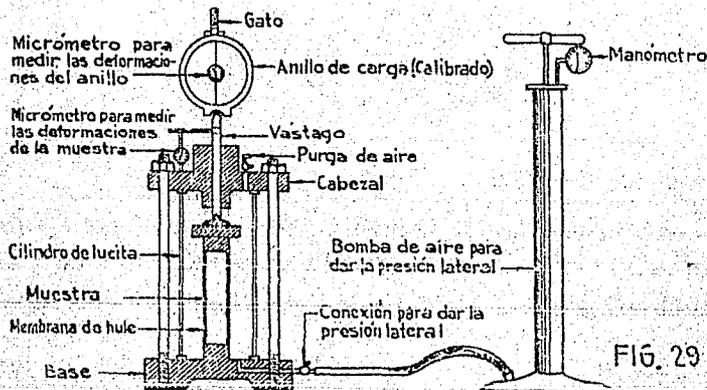
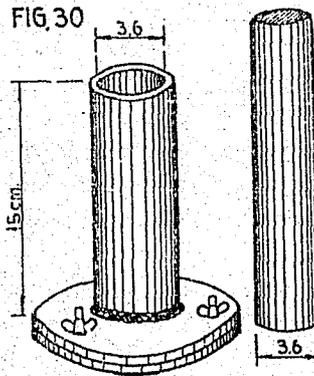


FIG. 29

El aparato además se completa con un micrómetro para medir las deformaciones verticales de la muestra y por último de bomba de aire con un manómetro para dar la presión al líquido dentro de la cámara.

Preparación de la muestra.

Se toma una muestra representativa de unos 2 ó 2.5 Kg. del suelo que se va a analizar, del material pasado por la malla No. 4. Este se pone en una charola para poderle dar la humedad uniforme y que debe ser un 2 o 3 % mayor que la óptima encontrada en la prueba Próctor para ese material. Lo que se necesita es compactar esta tierra con la relación de vacíos encontrada en la Próctor para el peso seco óptimo. Para compactarla se usa un cilindro de 3.6 cm. de diámetro (ver figura) dentro del cual la tierra se coloca en 5 capas hasta alcanzar una altura de 9 cm. A cada capa se le da presión por medio de un vástago y una báscula Fairbanks. Al compactar cada capa la carga debe hacerse creciente para que toda la muestra al final tenga la misma relación de vacíos, puesto que al compactar la 2a. capa la presión aplicada se trasmite a la primera y así sucesivamente. Estas muestras deben quedar saturadas, es decir el agua debe llenar todos los vacíos. La muestra se mide y se pesa antes de ser ensayada. Se toman 3 diámetros, arriba, al centro y abajo.



Procedimiento de prueba.

- 1.—Monte cuidadosamente la muestra sobre la base del aparato y colóquele la cabeza sobre la que se apoya el vástago de carga. La muestra debe quedar herméticamente encerrada en una membrana de hule que se agarra en la cabeza y en la base del aparato.
- 2.—Coloque el cilindro de lucita y la placa superior del aparato, nivelándola al apretar los tornillos.
- 3.—Llénese de agua el interior de la cámara, dejando salir el aire por una llave de purga.

4.—Coloque con cuidado el vástago que transmite la carga vertical y monte el anillo de prueba (ya calibrado) como se vé en el esquema. Colóquense los micrómetros tomando las lecturas iniciales.

5.—Dé la presión requerida al líquido por medio de una bomba de aire, registrando la lectura del manómetro antes y después de la prueba.

6.—Empiece a dar carga al anillo por medio de un gato.

7.—Váyanse tomando lecturas, en lapsos más o menos iguales de los micrómetros, simultáneamente, hasta que la muestra falle y sobre todo tómense lecturas en este momento.

8.—Al fallar la muestra haga un esquema de ella dibujando los planos de falla o los combamientos que haya tenido.

9.—Desmunte la muestra y póngala a secar en un horno a 105° C.

10.—Se hacen varias muestras y se prueban, variando la presión que se dá; al líquido.

Cálculos.—

1.—Conviértanse las deformaciones lineales (lecturas del micrómetro colocado para medir deformaciones en la muestra), en deformaciones unitarias, dividiendo la deformación entre la altura h , original de la muestra.

2.—Corrijase el área correspondiente a la sección transversal de la muestra para cada incremento de carga, teniendo en cuenta el aumento de dicha área conforme se comba lateralmente la muestra. Para ese fin supongase que el área original de la muestra ha ido aumentando hasta el punto de falla,

1

según la razón _____

1 — deformación.

3.—Calcúlese la carga unitaria del pistón para cada incremento, dividiendo la carga total entre el área corregida correspondiente y súmese la presión hidrostática para obtener el esfuerzo vertical en cada caso.

4.—Con la s_3 constante y la s_1 mayor de todas las calculadas dibújese un círculo.

5.—Calcule la relación de vacíos e de la muestra y el grado de saturación (G), al conocer el peso del material seco.

Anote todos estos datos en la hoja de cálculos.

W_s es el peso de la muestra seca

S_s es la densidad del suelo

W peso húmedo de la muestra

V , volumen de la muestra igual a $A \times h$ (inicial).

Entonces:

$$V_s = \frac{W_s}{S_s} \quad \text{volumen de sólidos en la muestra.}$$

$$e_o = \frac{V - V_s}{V_s} \quad \text{relación inicial de vacíos en la muestra.}$$

$$W_\alpha = W - W_s \quad \text{con peso del agua contenida en la muestra.}$$

$$\Omega = \frac{W_\alpha}{W_s} \quad \text{contenido de humedad.}$$

$$G = \frac{\Omega S_s}{e_o} = \text{grado de saturación} = \frac{W_\alpha}{V - V_s} = \frac{W - W_s}{V - V_s}$$

siendo $V - V_s$ el volumen de los huecos que hay en la muestra.

TERRAPLENES DE PRUEBA.

1.—*Consideraciones generales.*

Dada la importancia que tiene el control de los procedimientos y equipo durante la construcción por todas aquellas causas que lo hacen imprescindible, pues como dije en la introducción, de nada sirve que se efectúen todas las pruebas enumeradas hasta el presente, realizadas con el objeto de llegar al mejor conocimiento posible de las características de los materiales y aún elaborar un buen diseño que asegure la estabilidad en un proyecto si durante la construcción y por deficiencias en los procedimientos y el equipo no se puede hacer que el suelo en masa se comporte como se ha supuesto en el proyecto, haciéndolo trabajar adecuadamente y bajo ciertas normas para que pueda soportar las fatigas a las que se le va a someter. Es necesario hacer una serie de pruebas para determinar la eficiencia del equipo y los procedimientos y especificaciones de construcción que aseguren el buen comportamiento del material. Para esto se hacen los terraplenes de prueba.

Se llana terraplén de prueba, a un bordo construido con el equipo que se va a usar durante la construcción, colocando y compactando el material en las mismas condiciones en que se va a hacer durante la obra. Estos terraplenes tienen por objeto principal como ya se dijo:

- a).—Determinar la máxima eficiencia del equipo de compactación, de que se pueda disponer.
- b).—Verificar las características mecánicas de diseño del material una vez colocado y compactado.

Estos terraplenes se pueden hacer en el sitio de la obra al empezar a construirla o en cualquier terreno adyacente a ella. Se construyen de unos 60 o 80 cm. de alto, colocando capas de espesor entre 15 y 30 cm. radillándolas determinado número de pasadas. El terraplén debe tener el ancho y largo suficiente para que el equipo de compactación pueda moverse como se explica posteriormente.

2.—*Materiales.*

La clase de material que se va a usar en la construcción, es un factor determinante para escoger el equipo de compactación y fijar las normas que regirán durante la obra.

No todos los suelos pueden ser compactados por el mismo equipo y aún para el mismo equipo tendrá que trabajar en distintas condiciones para distintos suelos, por ejemplo, variará el número de pasadas. Debe tomarse pues en cuenta la clase de material teniendo en cuenta sus características, tales como granulometría, porcentaje de grava, humedad óptima, etc..

Uno de los objetos de los terraplenes de prueba es determinar el máximo porcentaje de grava admisible para un suelo dado. El aumento de grava ofrece la posibilidad de atacar un espesor mayor del préstamo en aquellos en que las capas inferiores están formadas por grava y tierra o grava sola, que se pueden mezclar perfectamente con la tierra de la o las capas superiores, por medio del equipo de excavación. El aumento de la grava, hace aumentar la densidad del material combinado, sin embargo el aumentarla mucho, aparte de dificultar la compactación sobre todo cuando se usan rodillos "pata de cabra", aumenta la permeabilidad del suelo debido a 2 causas principales: la disminución de la densidad del suelo sólo y la presencia de líneas de menor resistencia al paso del agua, en el contacto del suelo y la grava. Para investigar pues hasta donde se puede aumentar la grava se marcan distintas zonas, en las cuales se tiende material con distintos porcentajes de grava, y después se obtienen muestras inalteradas de cada zona haciéndose una prueba de permeabilidad. En las pruebas efectuadas en la presa de El Palmito se vió que con un 30 o 35 % de grava la permeabilidad no aumentó gran cosa y en cambio se obtuvieron mayores pesos.

No siempre es conveniente aumentar los pesos volumétricos del terraplén, pues hay que tomar en cuenta las fatigas que se producen en la cimentación. Esto requiere un estudio para cada obra en particular.

3.—Equipo.

El equipo usado en la compactación de los suelos es de dos tipos principales: Rodillos "pata de cabra" y rodillos lisos. Dentro de estos dos tipos hay una gran variedad, atendiendo sobre todo a dimensiones y pesos.

Al escoger el equipo de compactación se debe tener en cuenta su peso, número de patas, el área de éstas y su longitud, espaciamiento de las patas, etc. . . . Hay una serie de especificaciones para los rodillos y las casas vendedoras dan las características de cada uno. En realidad lo que se busca es el área de cubrimiento del equipo y las fatigas proporcionadas con él.

Tanto los rodillos lisos como patas de cabra son tambores de 1, 2 o 3 secciones cilíndricos, de fierro, huecos, a los que hay que lastrar para obtener el mayor peso posible. El lastre puede ser agua, arena y agua, arena grava y agua y aún concreto.

Ambos necesitan ser jalados por un tractor que tenga la potencia necesaria. Necesitan como un aditamento, un sistema de limpiadores, sobre todo los pata de cabra, pues la tierra húmeda se les pega aumentando el área de contacto y por lo tanto disminuyendo las fatigas producidas. Mientras más humedad necesita el material para compactarse y mientras más arcilla tiene, se hace más necesario estarlos limpiando cada cierto tiempo para que trabajen en buenas condiciones.

Se ha demostrado la ventaja de rodillos pesados para eliminar la dificultad de compactación del material con grava. En experiencias hechas se ha visto que a menor fuerza de compactación es menor el peso volumétrico, mayor la humedad óptima y menor la resistencia a la penetración; por lo tanto el uso de rodillos ligeros es perjudicial tanto para la buena compactación de terraplén como para la economía. Cuando se usa equipo de acarreo pesado y se trabaja con humedades altas, éste se atasca y forma lodo que hay necesidad de eliminar recortando el terraplén ya apisonado.

Como no siempre son de desearse pesos volumétricos bajos ni equipo de acarreo de poca capacidad, la solución es adoptar un equipo de apisonado que proporcione, con un número razonable de pasadas y poca humedad, un buen grado de compactación. Se ha observado que se obtienen mejores resultados aumentando el peso de los rodillos que el número de pasadas.

En pruebas efectuadas en la construcción de El Palmito donde se usaron tanto rodillos lisos como pata de cabra, se obtuvieron las siguientes ventajas al usar los rodillos lisos en suelos con un alto porcentaje de grava.

1.—Con los rodillos pata de cabra se restringía la cantidad de grava y aún el tamaño de ella para evitar que se atorara entre las patas y rompiera frecuentemente los limpiadores. Al usar el rodillo liso se puede aumentar el espesor del manto atacado en el préstamo, aumentando en esta forma el rendimiento del equipo de excavación y disminuyendo el área del préstamo.

2.—Se reduce el tiempo en la compactación debido que el rodillo liso presenta menos resistencia a la tracción, que el rodillo pata de cabra de peso equivalente y por consiguiente el tractor camina más aprisa y con menor consumo de combustible. Por otra parte se reduce el número de pasadas con rodillos lisos, como se vió en experiencias hechas.

3.—El rodillo liso es de construcción tan sencilla que puede hacerse prácticamente a prueba de descomposturas. Esto es importante si se toma en cuenta que además del costo de la reparación, al dejar de trabajar el equipo, automáticamente quedan ociosos los equipos de excavación y de transporte que los sirven.

4.—Los esfuerzos que ocasiona el tránsito por la superficie floja y de-

sigual de los terraplenes, consolidados con rodillo pata de cabra, son la causa de la ruptura o desgaste excesivo de muchas piezas de los camiones que transportan la tierra. En los terraplenes con grava y compactados con rodillo liso los camiones transitan en la superficie del terraplén como si caminaran en una carretera revestida y en tiempo de aguas facilita mucho el tránsito de los vehículos. El uso de la grava parece que hace disminuir la humedad óptima de los materiales arcillosos y por consiguiente se evita en parte la formación de atascaderos.

4.—Humedad.

Al construir los terraplenes de prueba, hay que tener especial cuidado en la humedad con que se compacta el suelo, pues un mal control de ella puede hacer que se tenga una falsa idea de la eficiencia del equipo.

La compactación de un suelo cuyo contenido de humedad está por abajo del óptimo, da por resultado un terraplén duro y firme que prácticamente no tiene plasticidad. Si se compacta el suelo por el mismo procedimiento pero con un contenido de humedad ligeramente mayor, se obtiene un nuevo arreglo de las partículas de diferentes tamaños, con el mismo esfuerzo, debido al aumento de lubricación proporcionado por el agua agregada. El resultado es un suelo de mayor densidad, que contiene menos vacíos y que es más plástico. Éste efecto continúa hasta que el contenido de humedad, mas una pequeña cantidad de aire que no puede ser eliminada por el apisonamiento, tiene el volumen exactamente necesario para llenar todos los vacíos cuando el procedimiento ha terminado. El suelo tiene entonces la mayor densidad y el menor número de vacíos que se pueden obtener con este método; una mayor reducción de los vacíos es imposible a no ser que se expulse parte del aire o agua contenida y se ha encontrado que es imposible hacerlo con los equipos de construcción de que se dispone en la actualidad. Un contenido de agua mayor limita el apisonamiento del suelo hasta el punto en el cual el volumen de vacíos es igual al volumen de agua más el volumen de aire contenidos, resultando un suelo apisonado con más vacíos, menor densidad y mayor plasticidad. Este efecto continúa con el aumento de más agua hasta que el suelo viene a ser tan plástico que ya no puede sostener al equipo. Resulta evidente que el contenido de humedad que tiene un suelo mientras se le apisona, controla el peso volumétrico del terreno y consiguientemente los vacíos que pueden obtenerse por un método especial de compactación. Los vacíos son los canales de escurrimiento de las aguas que se infiltran; al reducirlos a un

mínimo compactando las tierras con una cantidad de humedad apropiada, se reduce a un mínimo también, la filtración.

Ahora bien, para el control de la humedad, una de las cosas que se necesitan cuidar es la uniformidad de esa humedad al estar compactando un suelo, pues puede quedar muy húmedo en unos lados y muy seco en otros y al hacer pruebas obtener resultados falsos. Es por esto que se pueden hacer pruebas en el mismo terraplén de experimentación o ya durante la construcción de la estructura, para determinar el mejor modo de darle la humedad al suelo. Hay dos procedimientos principales para dar esta humedad:

a).—Regar en el tendido.

b).—Regar en el préstamo.

El regado en el tendido se hace al vaciar la tierra los camiones y al extenderla el bulldozer o cualquier otro equipo, y puede hacerse por medio de camiones con tanques de agua y un dispositivo para dar una lluvia uniforme o bien con mangueras.

El regado en el préstamo se hace por medio de canales y cajas de agua, de tal modo que el agua se infiltre en el suelo y al excavarlo ya traiga la humedad adecuada.

La humedad con que deben compactarse los terraplenes de experimentación debe ser cercana a la obtenida en la prueba Próctor para el material que se va a compactar.

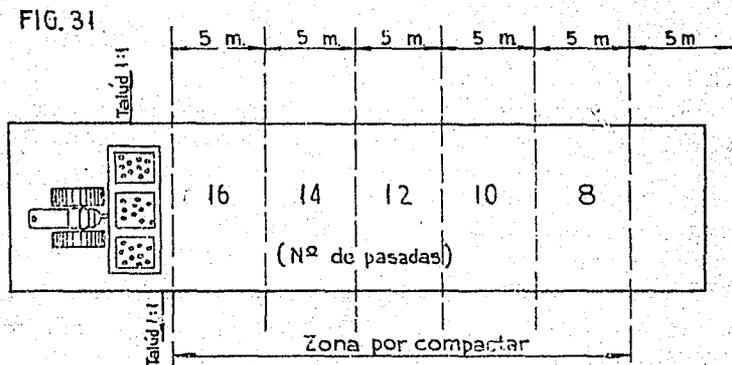
5.—Construcción de los terraplenes.

a).—Para determinar la eficiencia del equipo.

Estos terraplenes de prueba se construirán compactando el material en capas sueltas de 15 a 30 cm. El espesor de las capas se debe determinar experimentalmente para cada material y para cada tipo de equipo de compactación. Esto es uno de los objetos de los terraplenes de prueba, ya que el poder aumentar el espesor de las capas redundará en la economía y la rapidez de la construcción.

Con las dimensiones de ancho del equipo de compactación y unos 30 m. de largo se marca una zona que se limpia lo mejor posible y en la cual los camiones o el equipo que se tenga de transporte tiran los montones a lo largo de ella, espaciados de tal modo que al entrar el bulldozer o el equipo que extiende los montones se pueda tener una capa floja de 15 o 30cm. Es conveniente dar un primer riego sobre los montones al estarlos volteando los camiones para que el agua penetre en la tierra. Después

un segundo riego sobre la capa ya tendida y antes de entrar el equipo de compactación. Después pasa el equipo de compactación y se empieza a contar el número de pasadas, haciendo la distribución de éstas en la forma siguiente:

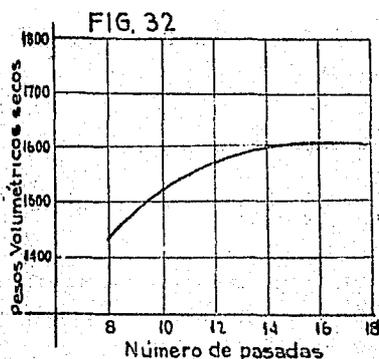


El equipo dará 8 pasadas a todo lo largo de la zona, contando 4 de ida y 4 de vuelta. Para las siguientes 2 pasadas, el equipo ya no llegará hasta el final de la zona, sino unos 5 m. antes, quedando por lo tanto estos 5 m. ya en 8 pasadas definitivas y el resto con 10 pasadas. Para las siguientes 2 pasadas (una de ida y otra de regreso) se hace llegar el equipo hasta otros 5 metros menos, quedando por lo tanto esta otra faja de 5 m. con 10 pasadas definitivas y el resto con 12 pasadas. Así se van disminuyendo 5 m. en la zona por cada dos pasadas más que dé el equipo, quedando al final 5 fajas distintas a 8, 10, 12, 14 y 16 pasadas.

Vuelven a entrar los camiones a dejar sus montones de tierra, se extienden en 15 a 30 cm. de capa floja y vuelve a regarse el material y al entrar el equipo de compactación se repite la operación anterior, teniendo cuidado de que sean las mismas fajas las que queden en 8, 10, etc. . . pasadas. Así se continúa el trabajo hasta que el terraplén tenga unos 60 cm. de alto, altura que queda determinada porque como se verá más adelante, al obtener una muestra, se necesitan limpiar 20 cm. de profundidad y abajo de ellos sacar la muestra de otros 20 o 25 cm. y no deben llegarse al fondo del terraplén.

En estas condiciones el terraplén queda listo para hacer los muestreos necesarios para obtener la densidad del material en cada una de las 7 fajas. Es recomendable hacer 2 o 3 muestras en cada faja para tener un cheque en cada una de ellas.

Estas pruebas para obtener la densidad del material se verán detalladamente al ver "Pruebas de control de Terrplén" y en razgos generales consisten en hacer pozos en los cuales se encuentra el peso seco del material extraído y se determina el volumen del pozo, obteniendo así el peso volumétrico seco del material. Estos pesos volumétricos van aumentando a medida que van incrementándose las pasadas, pero llega un momento en que aumentan las pasadas pero el peso volumétrico permanece constante. Se puede construir una curva en que las abscisas sean los pesos volumétricos y las ordenadas el número de pasadas, escogiéndose el número de pasadas mínimo para obtener el peso volumétrico máximo, como las adecuadas para que el equipo trabaje con ese material.



Esta curva será más de tomarse en cuenta cuando más uniforme hayan sido las condiciones del material compactado, en cuanto a granulometría, humedad, etc.

Sin embargo, si después de hacer las pruebas se comparan los pesos volumétricos obtenidos, con los pesos volumétricos de una prueba Próctor hecha con el mismo material, en igualdad de condiciones de humedad y son inferiores, el equipo de compactación debe ser mejorado o cambiado por otro.

Hay que hacer hincapié en que una curva así obtenida es válida únicamente para esa clase de material y para ese tipo de equipo de compactación, pues variando el material o variando el equipo los valores que se tengan podrán diferir bastante.

b).—Para verificar las características mecánicas de los materiales.

La construcción de un terraplén para este objeto sigue exactamente los mismos lineamientos que en el caso anterior, en cuanto al procedimien-

to, únicamente que basta con que tenga unos 15 m. de largo y que el número de pasadas no será variable a lo largo de él sino las mismas en toda su longitud y que deberán ser aquellas con las que se encontró en la prueba anterior que el equipo compactaba al máximo el terraplén.

Con el terraplén así construido se procede a efectuar una serie de pruebas con las que obtenemos las características medias de la masa de suelo.

Estas pruebas se describirán en párrafo aparte por su importancia y porque son las mismas que deberán seguir haciendo durante todo el tiempo que dure la construcción y que denominaremos precisamente "Pruebas de control durante la construcción".

6).—Conclusiones.

Por la variabilidad de los materiales y el equipo, en cada obra debe procurarse hacer estos terraplenes, para en cada caso particular, escoger el equipo adecuado, o si ya se tiene un determinado tipo, hacerlo trabajar a su máxima eficiencia pero dependiendo de la magnitud de la obra el que se haga necesario adquirir el de mayores ventajas aunque se cuente con otro. Esto se verá sobre todo al hacer las pruebas de verificación si los resultados de ellas se alejan mucho de las características de diseño y se tiene confianza en los procedimientos de construcción, quiere decir que el equipo es inadecuado, pero en todos los casos se deberá tender a mejorar el equipo y los procedimientos.

Por último, cuando ya se han hecho los terraplenes y las pruebas y se tienen los resultados, el encargado de los estudios deberá hacer sus conclusiones y dictar una serie de especificaciones que deberán regir durante la construcción, pero siempre sujetas a correcciones o ampliaciones de acuerdo con los resultados de pruebas y observaciones que se tengan durante el avance de la obra.

PRUEBAS DE CONTROL DURANTE LA CONSTRUCCION.

Generalidades.

Estas pruebas sirven, como ya se dijo, para determinar las características mecánicas de la masa de suelo durante todo el tiempo que dure la construcción. De ellas hay algunas como la de "pesos-secos" y grado de humedad que deben efectuarse diariamente pues si no se logra que el terraplén tenga los pesos óptimos con las humedades óptimas, la relación de vacíos del material variará mucho y por tanto se tendrán distintos valores de la permeabilidad y la resistencia al esfuerzo cortante, disminuyendo el factor de seguridad con que se haya diseñado la estructura hasta un grado que puede ser peligroso.

De estas pruebas las más importantes son:

- a).—Contenido de humedad.
- b).—"Pesos-secos" de la tierra y el enrocamiento.
- c).—Filtración.
- d).—Esfuerzo cortante.

Contenido de humedad.

El efecto del contenido de humedad de un suelo sobre la densidad a la cual debe ser compactado, es el principio más importante del apisonamiento de los suelos y ya ha sido discutido. Durante la construcción se requiere estar controlando constantemente la humedad con que se compacta el suelo. Esta prueba es muy rápida y muy sencilla.

Procedimiento.

1.—Tómese una muestra de unos 50 o 100 gr. del material que se quiere determinar su humedad, colocándolo dentro de una cajita metálica limpia, bien tapada, hasta que sea pesada.

2.—Pese la caja mas el material húmedo con una aproximación de 0.01gr.

3.—Póngase a secar el material dentro de la caja en un horno a temperatura constante de 105°C. durante unas 12 horas o si se necesita tener el resultado rápido, séquese en una parrilla a fuego directo, teniendo cuidado de que el material no se calcine.

4.—Deje enfriar la caja y la tierra y pése las ya secas con una aproximación de 0.01 gr.

5.—Tire el contenido de la caja, limpiándola bien por dentro y obtenga el peso de la caja sola. Para hacer más rápida la prueba es conveniente tener ya taradas una serie de cajitas y clasificándolas con un número.

6.—Determine el contenido de humedad por la diferencia entre los pesos de caja más tierra húmeda y caja más tierra seca.

7.—Para determinar el por ciento de esta humedad respecto al peso de la tierra seca, divida el contenido de humedad entre el peso de la tierra seca y multiplíquese por 100. El peso de la tierra seca se obtiene del peso de la caja más tierra seca menos el peso de la caja.

"Pesos-secos" de las terracerías.

Como ya se vió al estudiar la prueba Práctor se llama peso volumétrico o "peso-seco" al peso de las partículas sólidas secas contenidas en la unidad de volumen que ha sido compactada con un cierto grado de humedad. Y se llama "peso-seco" óptimo al mayor peso de partículas sólidas por unidad de volumen compactado, que se puede obtener, para un material y con un por ciento de humedad dado, que en este caso recibe el nombre de humedad óptima.

La prueba de "peso-seco" tiene por objeto determinar en un terraplén, el peso de la materia sólida seca, por unidad de volumen de terraplén y poderse comparar el resultado con el peso-seco obtenido en pruebas de laboratorio para el mismo material y por los procedimientos normales. De esta comparación se puede obtener el por ciento de compactación que se tiene con el equipo de rodillado en el terraplén y que debe estar dentro de ciertos límites de tolerancia.

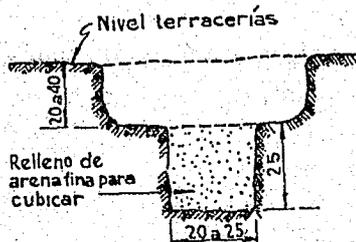
La prueba en sí consiste en excavar un pozo en el terraplén y obtener su volumen y el peso de los sólidos secos contenidos en él, determinándose al mismo tiempo la humedad del material. Dividiendo el peso de los sólidos entre el volumen del pozo tendremos el "peso-seco" del terraplén para el por ciento de humedad obtenida.

Procedimiento.

1.—Escójase el lugar en que se quiera obtener el peso-seco y en un área de 60×60 cms². excávense 20 cm. de profundidad, nivelando lo mejor posible la superficie que se descubre. (El objeto de quitar estos 20 cm. es que la última capa tendida en un terraplén nunca queda bien compactada que la última capa tendida en un terraplén nunca queda bien compactada.

2.—Con la superficie descubierta limpia y nivelada excávase en el centro de ella, cuidadosamente, un pozo de unos 25 cm. de profundidad por 20 a 25 de lado, no necesitándose afinar estas dimensiones ni tratar

FIG. 33



de hacer una figura regular. Todo el material que de este pozo se extraiga debe ser guardado, con todo cuidado, en un bote de lámina, el cual se tapará cuando se acaba de sacar el material, para que no se pierda humedad.

3.—Obtégase el volumen del pozo.

a).—Para obtener el volumen se han ideado varios procedimientos usando aceite, mercurio, bolsas de hule muy delgado que al ser llenada con agua se pega a las superficies del pozo, etc., etc. . . Todos estos procedimientos resultan más laboriosos y costosos que el que vamos a indicar y que es el más generalizado: Usando arena fina.

Para obtener el volumen del pozo con arenas finas se requiere que previamente se haya preparado. La preparación consiste en escoger una arena cuya granulometría se ha fijado que esté comprendida entre la malla No. 8 y la malla No. 50, es decir, debe pasar por la No. 8 y ser retenida por la No. 50. Esta arena debe estar bien lavada y bien seca. Por lo tanto conviene tener preparada una buena cantidad, que se conservará en un cajón cerrado para proteger de la humedad y el polvo. Además debe determinarse lo mejor posible el peso volumétrico medio de esta arena colocándola en tales condiciones que puedan ser repetidas a la hora de cubicar el pozo.

Con la arena ya lavada y secada, se llena un cajón que tenga las

dimensiones aproximadas del pozo, determinando perfectamente su volumen. El llenado de la arena se hace dejándola caer en forma de chorro lo más regular posible y desde una altura fija, sin tratar de compactarla sino por su propio peso. Se enrasa cuidadosamente el cajón con una espátula y se pesa para conocer el peso de la arena; dividiendo el peso de la arena entre el volumen del cajón, se tendrá el peso volumétrico.

Se repite unas 10 veces la operación y se obtiene un promedio que será con el que se trabaje.

b).—Para obtener el volumen del pozo efectuado en el terraplén, se llevan unos 15 o 20 kg. de la arena preparada, en un bote, (lo que se calcule que puede caber en el pozo efectuado). Debe registrarse el peso del bote más la arena.

c).—Vacíese la arena del bote, dentro del pozo, procurando al hacer esta operación, tener un chorro uniforme y la misma altura de caída de la arena que cuando se determinó su peso volumétrico. Enrase bien el pozo con una espátula hasta tener el nivel original del pozo.

d).—Pésese el bote más la arena sobrante y regístrese.

4.—Si se quiere se puede recuperar la arena que no se ha ensuciado para ser usada en otras pruebas. Pero de todos modos sáquela del pozo y rellene toda la excavación con el material que se había sacado procurando apretarlo.

5.—Como se conoce la cantidad de arena que entró en el pozo (P) y su peso volumétrico (D), el volumen del pozo será igual al volumen de la arena usada (V) ya que $D = P/V$.

6.—Pésese todo el material húmedo extraído del pozo.

7.—Tómese una muestra de unos 100 gr. de tierra y determínese, secándola, el procentaje de humedad que contiene.

8.—Desmorónese y pásese el material por la malla No. 4 para separar la grava de la tierra.

9.—Límpiese bien la grava y pésese. Por diferencia con el peso húmedo total, se conocerá el peso húmedo del material menor que la No. 4.

10.—Determínese el peso de material seco menor que la no. 4.

$$\text{Peso material seco} = \frac{\text{Peso material húmedo}}{1 + \text{humedad expresada en fracción decimal.}}$$

11.—Determínese el volumen de la grava, colocándola en una probeta graduada y viendo el volumen de agua que desaloja.

12.—Para obtener el "peso-seco" del pozo (del material menor que la

No. 4), divídase el peso calculado en 10 entre el volumen del pozo descontándole el volumen de la grava. Este valor nos sirve para ser comparado con la prueba normal de compactación.

13.—Para encontrar el peso-seco del material, tierra y grava, divídase: el peso del material seco menor que la 4 + el peso de la grava entre el volumen total del pozo.

14.—Con el material que se le ha quitado la grava y con la humedad que trajo del terraplén, llénese el cilindro "Próctor" compactándolo, como se vió al describir esa prueba. Determínese el peso-seco del material y la humedad. (Ver prueba Próctor).

15.—Dividiendo el "peso-seco" del pozo de prueba entre el "peso-seco" encontrado en 14, obtenemos lo que se ha llamado el porciento de compactación.

Consideraciones:

Si el porciento de compactación no baja del 95 % quiere decir que el equipo de compactación es eficiente y adecuado.

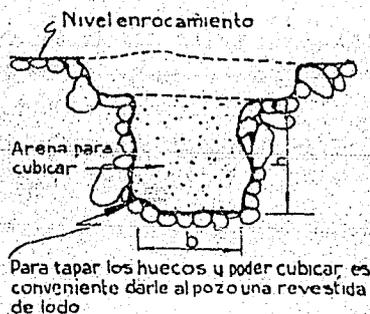
Si es menor de 95 % habrá que aumentar el número de pasadas. Eso por lo que respecta al equipo. Todavía habría que hacer una prueba Próctor con el material del pozo para ver si no es posible que aumentándole o disminuyendo el agua en el terraplén se pueda alcanzar un peso-seco más alto. Esto por lo que respecta al control de humedad.

"Peso-seco" del enrocamiento".

Procedimiento:

1.—Una vez escogido el lugar en que se desee sacar la muestra se procura que la superficie de este lugar esté lo más nivelado posible para

FIG. 34



facilitar la cubicación con arena. Se abre el pozo de las dimensiones que se desee, siendo preferible que "h" sea mayor que "b" para que al enrasar el pozo el error al nivelarlo tenga menos influencia sobre el volumen del pozo que debe ser cuando menos de 400 o 500 lts.

2.—Se extrae el material al ir abriendo el pozo y se va pesando, para al final tener el peso de todo el material contenido en él. Si el pozo es chico, digamos de unos 500 a 800 litros, todo el material después de pesado se vacía sobre una lámina para facilitar, después de extender el material, el cuartear la muestra y tomar una parte de ella, que se pesa, y después poder obtener el peso volumétrico, el % de humedad y la granulometría del material.

Cuando el pozo es muy grande, 1 a 2 m³, entonces como método de cuarteo se puede ir pesando todo el material en costales y de cada 4 costales pesados, tirar 3 y conservar uno, para que al final todos los costales que se han separado sean la muestra representativa de todo el pozo.

3.—Una vez pesado todo el material húmedo que había dentro del pozo y pesada también la muestra representativa, se procede a cubicar el pozo, para lo cual se va llenando con arena, pesándola primero, para después de enrasar perfectamente el pozo, saber los kilos que entraron de ella. Esta arena no necesariamente es la misma que la usada en las muestras de terraplén, pues dada la tosqueada del pozo, cualquier arena seca, es buena.

Para obtener el peso volumétrico de la arena, conviene tener un cajón de volumen conocido. Al ir llenando el pozo de vez en cuando llene el cajón y péselo, obteniendo después un promedio de pesadas. Naturalmente el promedio del peso de arena, dividido entre el volumen del cajón nos dará el peso volumétrico de ella. Después para conocer el volumen del pozo divide el peso de arena usada entre el peso volumétrico de la misma.

4.—La muestra que se conservó, de la excavación del pozo, se extiende en algún lugar y se pone a secar, para obtener el peso del material seco y determinar el % de humedad de todo el material.

5.—Conociendo el peso de todo el material excavado, seco, conociendo el volumen del pozo: determínese el "peso-seco" del enrocamiento.

Filtración.

Estas pruebas tienen por objeto determinar la permeabilidad en el terraplén. Ya se ha visto la importancia que tiene la permeabilidad en una estructura de tierra, por lo tanto es necesario ir haciendo pruebas a medida que avanza la obra y lo más a menudo que se pueda.

Las pruebas de filtración pueden ser de 2 tipos:

a).—Indirectas.

b).—Directas.

Las pruebas indirectas consisten en obtener muestras inalteradas de la terracería y labrar especímenes cilíndricos que son probados en los permeámetros ya descritos lo mismo que el procedimiento de prueba, en el capítulo de permeabilidad.

De estas pruebas descritas la que más ayuda, por su rapidez, nos puede dar, es la de capilaridad horizontal, solo que con muestras inalteradas existe la dificultad de que el espécimen hay que empacarlo con parafina y entonces no nos deja ver el avance del agua en la muestra. Entonces se requiere hacer la muestra remoldeada, procurando en lo posible que tenga la relación de vacíos que tiene el terraplén y que es fácil conocerla por medio de una muestra inalterada. Si se usa este procedimiento el valor de Z se puede determinar con los valores de la permeabilidad que se tengan de los bancos de préstamos. (ver prueba de capilaridad horizontal)

Las pruebas directas consisten en dispositivos tales que se puede medir la filtración precisamente en la masa del terraplén. La prueba que vamos a describir puede ser la más ventajosa y práctica.

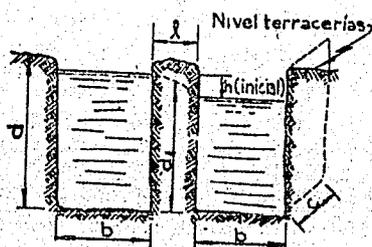


FIG. 35

Se hacen dos pozos, separados como un metro, de las mismas dimensiones y profundidad. Digamos de 1.50 x 1.00 de área y de 1.00 m de alto. Se llenan de agua los dos y se deja que se esté filtrando un cierto tiempo que puede variar entre unas horas y 1 o 2 días.

Este tiempo queda determinado por la observación de la velocidad con que se filtra el agua. Al principio el agua descenderá rápidamente por acción de la capilaridad, y llega un momento en que se estabiliza el régimen. En estas condiciones se puede empezar la prueba que consiste en llenar uno de los pozos más que el otro, de tal modo que la diferencia de niveles sea como de 10 cm. El objeto es establecer una diferencia de carga para que el agua del pozo más lleno se pase al otro a través de la pared que los separa. Es claro que tanto por capilaridad como por gravedad se perderá una cierta cantidad de agua de cada pozo pero si el material que rodea los pozos es homogéneo, se perderá la misma cantidad de agua de ambos pozos y no tendrá influencia en la prueba.

Al principio al llenar los dos pozos al mismo nivel se puede observar, precisamente, las condiciones del suelo en los 2 pozos. Si el nivel de los 2 baja casi parejo quiere decir que el material es homogéneo, si nó, la prueba dejará mucho que decaer pues el agua que se pase de un pozo al otro no será la filtrada a través de la pared sino que será menor o mayor, dependiendo de las permeabilidades y capilaridades del suelo que rodea a cada pozo.

Una vez que se ha regularizado el descenso en los pozos, decíamos que se llenan con una diferencia inicial en los niveles de unos 10 cm. y se anota la hora. Después de un cierto tiempo que depende de la permeabilidad del material y antes de que se nivelen los dos pozos por el paso del agua de uno a otro se tomará, anotando el tiempo, una o dos lecturas observando cuidadosamente los niveles de ambos pozos y determinando su nuevo desnivel para cada lectura.

Para calcular la permeabilidad sabemos que $Q = k i A t$. Para cada observación conocemos el tiempo transcurrido; podemos calcular Q o sea el volumen del agua que se le ha pasado a uno de los pozos en este tiempo t , por medio del desnivel medio. La diferencia entre el desnivel original y el desnivel en el tiempo t , multiplicada por el área del pozo nos dá Q . Podemos conocer A , suponiendo como área media el valor $d_1 \times c$.

El gradiente i lo podemos tomar como el promedio del gradiente inicial h/l y el gradiente para el desnivel en el tiempo t .

Para otra lectura posterior se tienen Q , y t , y se calcula otro valor de k . Si no se diferencia mucho el promedio de los dos es el bueno.

Esfuerzo cortante.

Para obtener el esfuerzo cortante del terraplén se sacan muestras inalteradas de él, se labran muestras cilíndricas y se prueba en la cámara de compresión triaxial después de dejarlas saturar, cosa que a veces lleva mucho tiempo.

CONCLUSIONES.

1o.—Para poder llevar a cabo un estudio de los suelos con que se cuenta en una obra, será necesario cuando la magnitud de ella lo amerite, instalar un laboratorio de campo. Sin embargo este Laboratorio habrá que instalarlo cuando se inicie la construcción de la obra.

Para aquellos casos en que no sea costeable instalarlo o que se necesiten estudios antes de decidirse si la obra se llevará a cabo (los suelos pueden ser un factor determinante para desechar un proyecto), debe improvisarse un laboratorio, aun en tiendas de campaña o aprovechando un local cercano siguiendo los lineamientos descritos en este trabajo.

Muchas de las pruebas que han sido mencionadas, se hacen igual en un laboratorio improvisado que en uno montado con todos los elementos necesarios; pero en otras se puede tener resultados mucho más exactos con métodos más laboriosos y aparatos más bien diseñados.

2o.—Cuando el número de obras aumente, será preferible equipar un laboratorio móvil con todo lo necesario para hacer este tipo de pruebas preliminares y aun para cubrir las necesidades domésticas.

Este equipo móvil servirá para hacer frecuentes visitas a las obras en construcción y verificar las características de diseño de los suelos, los procedimientos y equipo de construcción, etc., etc.

3o.—Hay necesidad de preparar elementos, como laboratoristas, que se encarguen de estos estudios, pues como ya se dijo el factor "operador" es de suma importancia.

BIBLIOGRAFIA

- Mecánica Teórica de los Suelos.— Karl Terzaghi.
Notas sobre Mecánica de Suelos y Cimentaciones.— Fred L. Plummer.
Resistencia de los Suelos al Esfuerzo Cortante y su Relación con la Estabilidad de Presas de Tierra.— Arthur Casagrande (Memorándum técnico No. 83 Comisión Nal. Irrigación).
Soil Testing Set No. 1 and Expedient Tests.— Wor Departament Technical bolletin TB5 — 253— 1.
"Notes on Soil Testing Fof Engineering Purposes"— A. Casagrande y R. E. Fadum.
Hidráulica.² Forchheimer

PRUEBAS PARA LA ELECCION DE PRETAMOS.

I. ANALIS'S DE PRETAMOS.

- 1.—Identificación preliminar de los suelos.
- 2.—Muestreo.

II. CLASIFICACION DE PRETAMOS.

- 1.—Densidad.
- 2.—Análisis mecánico.
- 3.—Compactación. (Prueba Pröctor).
- 4.—Plasticidad. (Límites de Atterberg).

III. PERMEABILIDAD.

IV. ESFUERZO CORTANTE.

TERRAPLENES DE PRUEBA

- 1.—Equipos de compactación.
- 2.—Construcción de los terraplenes.
- 3.—Pruebas.

PRUEBAS DE CONTROL DURANTE LA CONSTRUCCION.

- 1.—Pruebas de control en el terraplén.
- 2.—Pruebas de control del enrocamiento.