

24.65



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"INSTRUCTIVO PARA REALIZAR PRUEBAS DE
MECANICA DE SUELOS EN EL LABORATORIO
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNAM, 2a. PARTE CARACTERISTICAS
MECANICAS E HIDRAULICAS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
ALEJANDRO LOPEZ MANJARREZ



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



ESTADO NACIONAL

SECRETARÍA

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERAS PROFESIONALES
60-1-172

A) Presenta señor ALEJANDRO LOPEZ MANJARRIZ,
P R O F E S O R

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Francisco Zamora Millán, para que lo desarrolle como tesis de su Examen Profesional de Ingeniería CIVIL.

"INSTRUCTIVO PARA REALIZAR PRUEBAS DE MECANICA DE SUELOS EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM, 2a. PARTE. CARACTERISTICAS MECANICAS E HIDRAULICAS"

- I. Introducción
- II. Prueba de permeabilidad
- III. Prueba de consolidación unidimensional
- IV. Pruebas de resistencia al esfuerzo cortante
 - IV.1 Pruebas triaxiales
 - IV.2 Prueba de compresión simple
 - IV.3 Prueba de corte directo
- V. Conclusiones

Después de usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERANZA"
C. Universitaria, 3 de septiembre de 1979
EL DIRECTOR

JOSÉ JAVIER JIMÉNEZ LÓPEZ

JJS/OSL/par

CAPITULO I

INTRODUCCION .

El instructivo para realizar pruebas de Laboratorio de Mecánica de Suelos en la facultad de Ingeniería de la UNAM se ha dividido en 3 partes que son:

- 1 - Propiedades Índice
- 2.- Características mecánicas e hidráulicas
- 3.- Compactación.

El presente trabajo es la segunda de éstas partes, y en él se describen pruebas importantes como son las de permeabilidad, consolidación y resistencia al esfuerzo cortante.

Se inicia la presentación de cada una de las pruebas con una descripción del porqué y para qué se realizan; en seguida, se muestra el diagrama de flujo que señala la secuencia de actividades necesarias para realizar la prueba y finalmente se hace una descripción detallada con la ayuda de filmillas. De esta manera se presenta cada prueba de 3 formas diferentes con lo que se busca una mejor comprensión de ellas.

Al final de cada prueba se da un ejemplo del cálculo de ella.

Este trabajo busca principalmente ayudar a los alumnos del Área de Geotécnia a comprender mejor los conceptos obtenidos en clase, así como capacitarlos para realizar pruebas de laboratorio, pero también

se aspira a que una persona que no se dedique a esta rama de la ingeniería pueda encontrar material que le sea de utilidad.

En todos los casos se ha buscado dar crédito debido al autor de las relaciones utilizadas, si en algún caso no se ha cumplido este propó_ sito se hace la aclaración que ha sido un error sin intención de dolo. Para la realización de este estudio se consultaron libros especializa_ dos de Mecánica de Suelos, instructivos de pruebas de Laboratorio, - revistas etc.; así como también se siguieron las valiosas indicaciones del Ing. Francisco Zamora Millán jefe del Departamento de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

CAPITULO II

PRUEBA DE PERMEABILIDAD

II.1 Introducción

El flujo de agua a través de los suelos, está regido por una ley establecida en 1856 por Henry Darcy.

Con un dispositivo como el que se muestra en la figura II.1, Darcy demostró experimentalmente que para velocidades de flujo laminar, el gasto queda expresado como sigue:

$$Q = kiA \quad (II.1)$$

$$v = ki \quad (II.2)$$

en donde:

Q = gasto que pasa a través de la muestra

k = coeficiente de permeabilidad

i = gradiente hidráulico

A = área total de la sección transversal de la muestra

v = velocidad espacial del agua

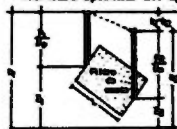


Fig II.1

La velocidad v es solo aparente porque en el área A por donde pasa el agua existen sólidos y se reduce el área $Av = An$, donde n es la porosidad. Por consiguiente la velocidad real V_r será

$$V_r = \frac{v}{n} \quad (II.3)$$

El flujo es laminar cuando las partículas se mueven siguiendo trayectorias separadas, perfectamente definidas, no necesariamente paralelas, sin existir mezcla o intercambio transversal entre ellas.

El coeficiente de permeabilidad K , del suelo, indica la mayor o menor facilidad, con que el agua fluye a través de él, es función del tamaño y forma de las partículas que lo componen, de la relación de vacíos, grado de saturación y solubilidad de sus componentes sólidos; también es función de las propiedades del agua esencialmente la viscosidad, la cual varía con la temperatura. Con objeto de establecer una base comparativa, el coeficiente de permeabilidad, se expresa refiriéndolo a una temperatura de 20°C . Si se conoce el valor de k_t a cualquier temperatura T , su valor k_{20} a 20°C se puede obtener como sigue:

$$K_{20} = \frac{\mu_t}{\mu_{20}} k_t \quad (II.4)$$

en donde:

k_{20} = coeficiente de permeabilidad a 20°C

VISCOSIDADES DEL AGUA DE 10° a 30°C

Y RELACIONES

$$\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$$

GRADOS	μ_T	$\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$
10.0	1.307	1.301
11.0	1.271	1.263
12.0	1.236	1.230
13.0	1.203	1.197
14.0	1.171	1.165
15.0	1.140	1.135
16.0	1.111	1.105
17.0	1.083	1.077
18.0	1.056	1.051
19.0	1.030	1.025
20.0	1.005	1.000
20.2	1.000	0.995
21.0	0.981	0.976
22.0	0.958	0.953
23.0	0.936	0.931
24.0	0.914	0.909
25.0	0.894	0.889
26.0	0.874	0.869
27.0	0.854	0.850
28.0	0.836	0.832
29.0	0.818	0.814
30.0	0.801	0.797

μ_T = VISCOSIDAD DEL AGUA A T °C

μ_{20} = VISCOSIDAD DEL AGUA A 20 °C

TABLA II :

k_r = coeficiente de permeabilidad a $t^\circ\text{C}$

η_r = viscosidad del agua a la temperatura $t^\circ\text{C}$

u_{20} = " " " " " " " " 20°C

Los valores de η_r/u_{20} para diferentes temperaturas, aparecen tabulados en la tabla II.1

II.2 Determinación del coeficiente de permeabilidad.

Los procedimientos empleados en el laboratorio, para determinar el coeficiente de permeabilidad, pueden ser directos e indirectos.

a) Directos

1. - Permeámetro de carga constante
2. - Permeámetro de carga variable

b) Indirectos

1. - De la curva granulométrica
2. - De la prueba de consolidación
3. - De la prueba horizontal de capilaridad

II.3 Permeámetro de carga constante

Este dispositivo permite el estudio de suelos, relativamente permeables, tales como gravas, arenas y masclas de ambos: los coeficientes de permeabilidad en estos suelos varían de 10^2 a 10^{-3} cm/seg.

En suelos poco permeables, el tiempo de ensayo se hace tan largo, que la prueba deja de ser práctica, al originarse pérdidas de agua - por evaporación que afectan los resultados.

La prueba se efectúa sobre una muestra de suelo con área transversal A , y de longitud L , confinada en un tubo que generalmente es - de lucita.

La probeta de suelo puede ser tamizada o compactada, buscando -- obtener la relación vacíos y el contenido de agua que se tiene o tendrá en el sitio donde se utilizará el suelo en estudio. Es necesario - evitar que se filtre el agua en la junta del permealmetro con el suelo.

El espécimen de suelo se somete a una carga hidráulica h , constante durante toda la prueba; cuando se establece el régimen de flujo, - se procede a medir el volumen de agua, que pasa a través del suelo en un tiempo t .

El coeficiente de permeabilidad se obtiene aplicando la ley de Dar- - cy:

$$Q = k A = \frac{v}{t} \quad l = \frac{h}{L}$$

$$k = \frac{v L}{h A t} \quad (2.3)$$

en donde:

k = coeficiente de permeabilidad

v = volumen de agua medido

L = longitud de la probeta

b = carga bajo la cual se produce la filtración

A = área de la sección transversal del espécimen

t = tiempo en el que se efectuó la prueba

El valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de 20°C se obtiene con la expresión (II.4)

Para obtener la relación de vacíos con la que se compactó el material se hace uso de la expresión:

$$e = \frac{V_{\text{vs}} - W_s}{W_s} \quad (\text{II.6})$$

en donde :

e = relación de vacíos

v = volumen de la muestra

S_s = peso específico de sólidos

W_s = Peso de sólidos

Durante el desarrollo de la prueba, se pueden cometer errores tales como mala compactación de la probeta, incompleta saturación del material etc., que con cuidado y atención se logran evitar.

II.4 Permeámetro de carga variable.

Se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos poco permeables tales como arcillas y mezclas de arena, limo y arcilla, cuyo coeficiente varía de 10^{-1} a 10^{-9} cm/seg.

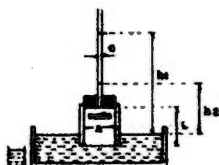
Para suelos menos permeables, los tiempos de prueba, resultan tan prolongados que la evaporación y las variaciones de temperatura durante el ensayo, producen errores importantes, y es necesario usar un dispositivo diferente.

El aparato usado es semejante al de carga constante (con menor diámetro de muestra) y al cual se le agrega una tapa provista de un conducto por donde se alimenta de agua al suelo, y un tubo de vidrio de diámetro igual o menor a 0.5 cm. que permite medir los volúmenes de agua filtrada, así como las cargas hidráulicas que actúan sobre la probeta.

La prueba se realiza en una muestra de suelo (de área A y longitud L) colocada dentro del permeámetro generalmente de lucita. La muestra de suelo puede ser inalterada o compactada con la relación de vacíos del sitio en estudio. El agua no debe tener mayor facilidad de paso en la junta entre suelo y permeámetro.

El agua contiene aire y gases que se adhieren al suelo y afectan la permeabilidad al disminuir los vacíos, por lo que es necesario contar con un sistema para desairar agua tal que permita tener una cantidad suficiente de ella.

Para realizar la prueba se llena de agua desairada el tubo vertical del permeámetro (piezómetro) y bajo la carga originada, se permite que ocurra el agua a través del suelo saturando la muestra, se repite el proceso hasta establecer un régimen de flujo, y una vez logrado esto, se realiza el ensayo midiendo el tiempo que tarda el agua en bajar de una a otra de las marcas fijadas en el piezómetro, cuya altura con respecto a la salida libre del agua se conoce figura II.2.



Esquema del permeámetro de carga variable

FIGURA II 2

Sea:

L = longitud del espécimen de prueba

a = Área del tubo vertical de carga (piezómetro)

A = área de la probeta

h_1 = carga hidráulica al tiempo t_1

h_2 = " " " " " " t_2

t = tiempo requerido para que la carga hidráulica pase
de h_1 a $h_2 = t_2 - t_1$

En el tiempo dt la cantidad de agua que atraviesa la muestra será:

$$dv = kAh dt = \frac{kAh}{L} dt \quad (11.7)$$

Durante el tiempo dt , el agua habrá tenido en el tubo vertical un descenso dh . El volumen que atravesó la muestra en el tiempo dt será:

$$dv = a dh \quad (11.8)$$

igualando (11.7) y (11.8)

$$\frac{kAh}{L} dt = -a dh \quad (dh \text{ es negativo porque } h \text{ disminuye al aumentar } t)$$

$$\frac{kA}{L} dt = -a \frac{dh}{h}$$

Para los límites t_1 a t_2 ; h_1 a h_2

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{kA}{L} dt = - \int_{h_1}^{h_2} a \frac{dh}{h}$$

$$\frac{kAt}{L} = a \ln \frac{h_1}{h_2}$$

despejando k

$$k = \frac{aL}{At} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

convirtiendo a logaritmos de base 10

$$k = 2.3 \frac{La}{At} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (II.9)$$

La expresión (II.9) se utiliza para calcular la permeabilidad en un permeámetro de carga variable.

El valor del coeficiente de permeabilidad a 20°C se obtiene con la expresión (II.4)

La relación de vacíos se obtiene con la expresión (II.6)

Durante el desarrollo de la prueba, se pueden cometer errores tales como mala compactación de la probeta, incorrecta saturación de suelo, que pasa agua entre suelo y permeámetro etc. El cuidado y la atención que se tenga en la prueba ayudarán a evitar errores.

Métodos indirectos.

II.5 De la curva granulométrica.

La determinación del coeficiente de permeabilidad a partir de la curva granulométrica, se realiza utilizando la relación empírica de --

Hazen u otras semejantes.

La expresión de Hazen es la siguiente:

$$k = C D_{10}^2 \quad (II.10)$$

en donde:

k = coeficiente de permeabilidad en cm/seg.

C = coeficiente experimental

D_{10} = diámetro efectivo en cm; tamaño de la malla que permite pasar el 10% de la muestra de suelo con respecto al total de ella.

El experimento de Hazen se realizó en arenas uniformes con diámetro efectivo comprendido entre 0.01 y 0.3 cm y en donde C varió entre 41 y 146. Esta variación excesiva de C , hace que la relación sea poco confiable y como consecuencia de resultados poco precisos; por otro lado no toma en cuenta otros factores como temperatura, relación de vacíos etc.

Otra relación semejante es la de Schlichter

$$k = 771 \frac{D_{10}^3}{C_s} (0.7 + 0.03 \, e) \quad (II.11)$$

en donde:

k = coeficiente de permeabilidad en cm/seg

D_{10} = diámetro efectivo

C_s = valor que depende de la porosidad n

t = temperatura

Ferzaghi da para suelos arenosos la expresión:

$$k = C_1 D_{10}^2 (0.7 + 0.03 \eta) \quad (II.12)$$

$$C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0.18}{3 \sqrt{1 - n}} \right)^2$$

en donde:

k = coeficiente de permeabilidad cm/seg

D_{10} = diámetro efectivo

n = porosidad

t = temperatura

C_0 = valor experimental

II.6 De la prueba de consolidación

El cálculo a partir de la prueba de consolidación, se mencionará en el capítulo correspondiente a esta prueba.

II.7 De la prueba horizontal de capilaridad

Esta prueba es útil para obtener resultados rápidos en el campo en materiales arenosos, limosos y masclas de ambos. Debido a las fuerzas capilares, el agua que penetra en un suelo seco, avanza con cierta velocidad y en función de ésta, se puede determinar la permea-

bilidad del suelo.

La muestra de suelo de área A y longitud L , se confina en un tubo de lucita al que se le coloca una escala. El tubo debe poder girar sobre su eje figura II.3

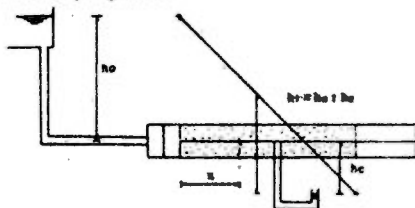


FIGURA II.3

La probeta de suelo se compacta hasta obtener la relación de vacíos que se tendrá en el sitio de estudio. El permeámetro se coloca en posición horizontal y se conecta al dispositivo de abastecimiento de agua, la carga inicial h_0 debe ser pequeña para aumentarse posteriormente a h_0^1 .

El cero en la escala del permeámetro debe coincidir con el inicio de la probeta; los tiempos se miden cada centímetro de avance del agua. Cuando el agua avanza la mitad de la longitud de la muestra se aumenta la carga de presión h_0 a h_0^1 .

Durante el desarrollo de la prueba se rueda el permeámetro en una y otra direcciones, buscando en lo posible que el agua avance con frente vertical.

Se dibuja en papel aritmético, en las ordenadas los cuadrados de los avances del agua X^2 y en las abscisas los tiempos t fig II. 4.

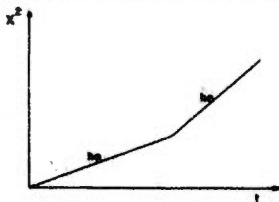


FIGURA II. 4

Uniendo los puntos se obtienen dos rectas de distinta pendiente las cuales corresponden a cada una de las cargas h_o y h_c .

De la velocidad real del flujo en el suelo II.3 y de la ley de Darcy

$$V_{ru} = ki$$

donde i es variable, ver figura II.3 se tiene:

$$n \frac{dx}{dt} = k \frac{h_o + h_c}{x}$$

e integrando se obtiene

$$n \frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1} = 2k(h_o + h_c) \quad (II.13)$$

Se definen dos puntos de cada una de las rectas y se aplica la relación (1.13)

$$n \frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1} = 2 k (h_0 + h_c)$$

y al cambiar h_0 a h_0^1

$$n \frac{x_4^2 - x_3^2}{t_4 - t_3} = 2 k (h_0^1 + h_c)$$

en donde:

x^2 = ordenadas de los puntos definidos, longitud recorrida por el agua

t = abscisas de los mismos puntos, tiempo de recorrido entre los puntos definidos

n = porosidad

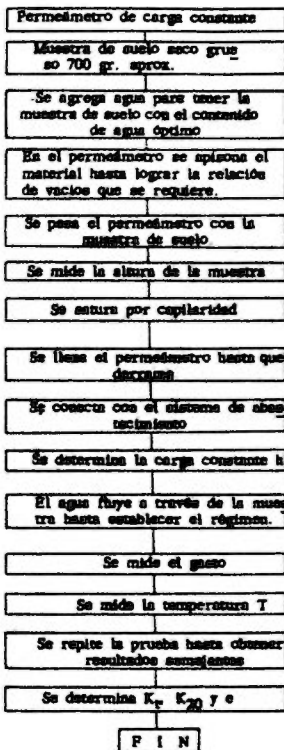
k = permeabilidad

h_0 = carga de agua inicial

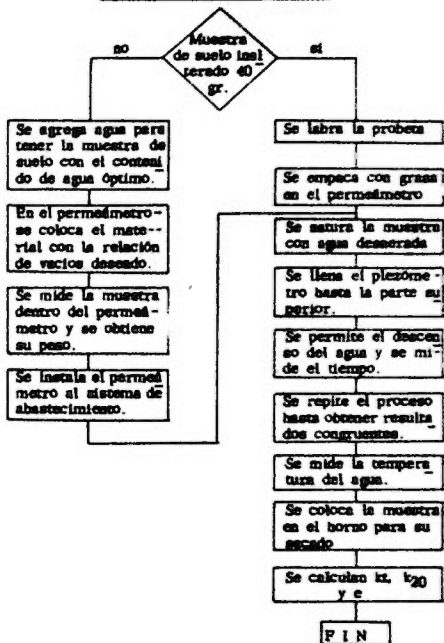
h_0^1 = carga de agua final

h_c = altura capilar

Se tienen entonces dos ecuaciones, una para cada carga, y dos incógnitas h_c y k . Resolviendo las ecuaciones simultáneas se obtienen los valores de k y h_c .



Permeámetro de carga variable



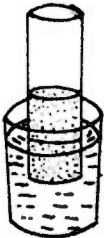
FALTA
LA PAG.

20

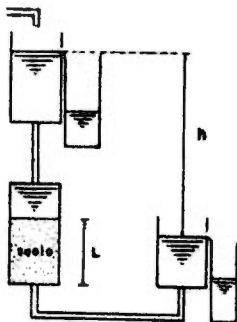


- 2.- El material alrededor de 700 gr. se coloca en capas, las cuales deben apisonarse uniformemente a fin de que la muestra quede compactada con la relación de vacíos y al contenido de agua que tiene o tendrá en la obra. La relación de vacíos obtenida se comprueba posteriormente.

- 3.- Se pesa el perimetro con la muestra compactada y se anota en el registro, éste peso menos la tara representa el peso de la muestra con el contenido de agua utilizado en la compactación.



- 4.- Se mide L. longitud de la probeta. Se anota en el registro (lámina II.1) y se sella por capilaridad.



- 5.- Se llena el permeámetro hasta que derrame. Se coloca en posición de prueba, y se conecta con el sistema de abastecimiento.
- 6.- Se mide la carga h constante durante la prueba y se anota.
- 7.- Se permite que el agua fluya a través de la muestra a fin de establecer el régimen de flujo.
- 8.- Se mide V_w volumen de agua que sale de la prueba en un tiempo t .
- 9.- Se repite el paso anterior hasta obtener resultados constantes.
- 10.- Se mide la temperatura del agua.

- 11.- Terminada la prueba, la muestra se coloca en el horno para después medir su peso seco.

II

II.10 Cálculo

$$\begin{aligned} L &= 5.30 \text{ cm} & A &= 46.2 \text{ cm}^2 \\ V_w &= 50 \text{ cm}^3 & h &= 10.6 \text{ cm} \\ t &= 482 \text{ seg.} \end{aligned}$$

- 1.- En el registro (Lámina II.1) se tienen anotados L , V_w , A , h y t de los ensayos efectuados.

- 2.- El coeficiente de permeabilidad k se determina aplicando la ley de Darcy:

$$k = \frac{80 (5.30)}{46.2 (10.6) 482} = 0.001122 \text{ cm/seg}$$

$$k = \frac{V_w L}{A h t}$$

donde:

- V_w = volumen de agua medido
- L = longitud de la muestra
- A = área de la sección transversal de la muestra.
- h = carga bajo la cual se produce la filtración.
- t = tiempo en el que se efectuó la prueba y se midió V_w .

3. - El valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de 20°C se obtiene con la expresión:

$$k_{20} = 0.001122 (1.05064)^t = 0.0011787$$

cm/seg.

$$k_{20} = k_t \frac{u_t}{u_{20}}$$

donde:

k = coeficiente de permeabilidad

u = viscosidad del agua

4. - La relación de vacíos en la compactación se obtiene:

$$e = \frac{490.6(2.65) - 745.30}{745.30} = 0.77$$

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

donde:

e = relación de vacíos

S_s = peso específico de sólidos

V = volumen de la muestra

W_s = peso de sólidos

II.11 Posibles errores

1. - compactación no uniforme de la probeta.

2. - Incompleta saturación del material.
3. - Lecturas mal tomadas
4. - Flujo de agua entre probeta y permeámetro

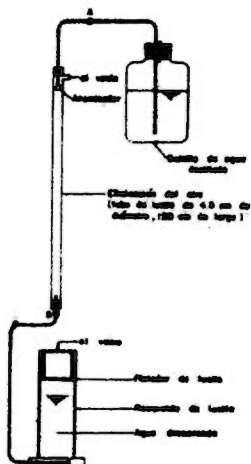
II.12 Permeámetro de carga variable

II.12.1 Equipo

1. - Sistema para desearar agua
2. - Permeámetro de carga variable
3. - Cápsulas, compactador, sismómetro, balanza, cronómetro, - probeta graduada, sistema de vacío, piedras porosas, cuchillos, grasa y registro.



II.13 Obtención del agua desecrada



1.- Se aplica vacío a la columna de desecrado y al recipiente de almacenamiento de agua.

2.- Se permite que el agua destilada fluya por el atomizador, colocado en el interior de la columna de desecreción.

3.- Cuando se tenga suficiente cantidad de agua en el recipiente de almacenamiento, se interrumpe el flujo de agua destilada y se suspende el vacío. Se desconecta el tubo de la base de la columna y se utiliza para extraer agua cuando sea necesario.

II.14 Determinación del área de

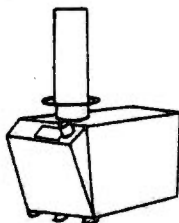
la sección transversal interior de la bureta del permeámetro (plasmómetro).



1. - Se vierte en la bureta una cantidad conocida de agua.
2. - Se mide la longitud del tubo -- que se llenó con ella.
3. - El área interior media (a) se calcula dividiendo volumen entre longitud.

II.15 Preparación del espécimen

a) Muestras intactas

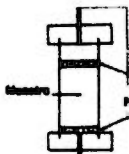


1. - Se mide el diámetro interior y se determina el área transversal A del permeámetro. Se pasa y se anotan los datos en el registro (lámina II.2).
2. - En las paredes del permeámetro se coloca una capa delgada de grasa que sirve para cerrar el posible espacio entre suelo y cilindro.

3.- Se corta un trozo de material y se labra la probeta con cuchillo, de tal manera que el diámetro del espécimen se ajuste al diámetro interior del permeámetro. La base y cabeza del espécimen deben ser paralelas.

4.- La longitud L de la probeta se la varía entre 0.5 y 2 cm. dependiendo de la permeabilidad del material.

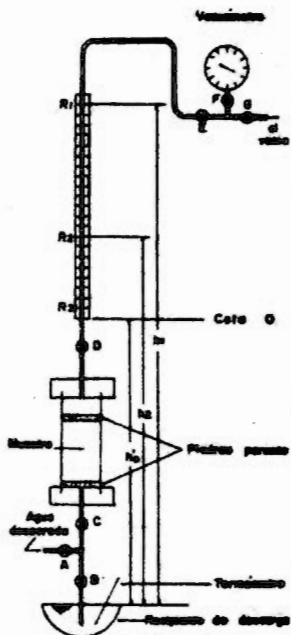
5.- Se pesa el material con el permeámetro y se anota (límina - II.2).



6.- En la base y cabeza de la muestra se instala un disco poroso de permeabilidad mucho mayor que el material en estudio. La tapa se atornilla en el extremo abierto del tubo del permeámetro.

tro.

- 7.- Se instala el permedmetro.
- 8.- Con la válvula B cerrada, se aplica vacío en G, en la parte superior de la bureta, permitiendo que el agua pase lentamente hasta D esturando la muestra.
- 9.- Se cierra C y se abre B para que el agua fluya al recipiente inferior, hasta tener la seguridad de que el aire en el tubo, abajo de B fue expulsado.
- 10.- Se cierra B, se abre C y se permite que el nivel de agua suba en la bureta, hasta la parte superior de la escala arriba de D. se cierra la válvula A y se deja de aplicar vacío a la bureta cerrando G, el extremo a la derecha de G se deja al aire libre.



11.- Se llena el recipiente de descarga hasta que derrame.

12.- Se mide la distancia h_0 de la cota de agua del recipiente - hasta la marca cero de la escala de la bureta.

13.- Se abre G y posteriormente - B, con lo que el agua fluye hacia abajo. Cuando el nivel de agua pase por la lectura R_1 - en la escala, el cronómetro - se pone en marcha.

14.- Cuando el nivel de agua se encuentra a la altura de las marcas R_2 , R_3 , R_4 se registran los tiempos t_2 , t_3 , t_4 y se anotan en la Minuta II.2

15.- Se cierra B antes que el agua descienda bajo el extremo inferior del tubo de carga (cota cero).

16.- Se permite que el agua desae_
rada llene la bureta nuevamen_
te. Se repite la prueba desde
el paso 9 hasta obtener medi_
ciones semejantes.

17.- Se mide la temperatura del -
agua en el recipiente de des-
carga.

18.- Se coloca la muestra en el -
horno para su secado.

b) Muestras alteradas

1.- El suelo en estudio se seca al
horno.

2.- Se mide el diámetro interior -
del permeámetro y se obtiene
su área transversal A_p se -
pesa y se anotan los datos en
la lámina II.2

3.- Se atornilla el tubo del permeámetro a la base y se coloca un disco poroso dentro del tubo.

4.- Dentro del tubo el suelo se coloca en capas, las que se compactan en forma uniforme para lograr la relación de vacíos deseada. Si la finalidad de la prueba lo requiere el material puede colocarse con el contenido de agua óptimo y proporcionarle la misma energía que en la prueba estándar de compactación.

5.- Se obtiene la longitud L y el peso del permeámetro más el suelo, anotando los datos en la lámina II.2

Si la probeta se preparó con -

un determinado contenido de -
agua, éste se calcula al final -
de la prueba, después de obte-
ner el peso seco de la mues-
tra.

6. - En la cabeza del espécimen se
instala un disco poroso. La m
pa se atornilla en el extremo -
abierto del tubo del permeáme-
tro.

7. - Se instala el permeómetro

8. - Se siguen los pasos indicados -
en II.15.8 a 2.15.18 para las
muestras (alteradas).

II.16 Cálculo

$L = 3.0 \text{ cm}$; $a = 0.312 \text{ cm}^2$; $A = 8.55 \text{ cm}^2$ 1. - En el registro (Lámina II.2) se tienen anotados los datos del ensayo L, a, A, t, h_1, h_2 .

2. - El coeficiente de permeabilidad

se calcula con la fórmula:

$$k = 2.3 \frac{(3.0)(0.312)}{8.55(118)} \log \frac{30}{25}$$

$$k = 2.3 \frac{L a}{A t} \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k = 0.000169 \text{ cm/seg}$$

dónde:

L = longitud del espécimen en cm.

A = área de la muestra en cm^2 .

a = área de la burbuja en cm^2

h_1 = carga inicial de la prueba

h_2 = carga final de la prueba

t = tiempo para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2

3. - El valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de

20°C se obtiene con la expresión:

20°C se obtiene con la expresión:

$$k_{20} = 0.000169 (1.0) = 0.000169$$

$$k_{20} = kr \frac{u_T}{u_{20}}$$

Donde:

k = permeabilidad del suelo

u = viscosidad del agua

4. - La relación de vacíos se obtiene:

$$e = \frac{25.65 (2.30) - 32.0}{32.0} = 1.004$$

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

Donde:

e = relación de vacíos

V = volumen de la muestra

S_s = peso específico de sólidos

W_s = peso de sólidos

II.17 Posibles errores

1. - Sistema de desecado defectuoso
2. - Compactación no uniforme de la probeta
3. - Huecos entre suelo y permeámetro
4. - No haberse establecido el flujo

en el interior de la muestra.

5 - Masas medidas



FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE

38

OBRA Barro La Galia
 LOCALIZACION 1-110.00 SONDEO No. 1
 MUESTRA No. 2 PROF. 1.50 m
 DESCRIPCION Arilla limonosa café
 FECHA 3-11 OPERADOR Luis Escobar A. López

DATOS DE ENSAYE								
Diámetro de la muestra	d =	3.20	cm	Tasa i. s. húmeda	=	98.60	gr	
Longitud de la muestra	L =	1.00	cm	Tasa i. s. seca	=	92.00	gr	
Área de la muestra	A =	8.45	cm ²	Peso de arena	=	60.00	gr	
Volumen de la muestra	V =	32.65	cm ³	Peso del agua W =	=	6.60	gr	
Área del tubo de carga	S =	0.112	cm ²	Peso arena seca W _s =	=	32.00	gr	
Peso capilares sólidos	S _s =	2.50		Contenido agua W =	=	20.6	%	
Temperatura t _{pr} °C	Tiempo t en seg	h ₁ en cm	h ₂ en cm	$\frac{h_1}{h_2}$	$\log \frac{h_1}{h_2}$	K _T m ² /cm/seg	K ₃₀ cm/seg	
20.0	118	30	25	1.20	0.0792	1.69	1.69	
	250	30	20	1.50	0.1761	1.77	1.77	
	420	30	15	2.00	0.3010	1.81	1.81	
20.2	120	30	25	1.20	0.0792	1.66	1.65	
	260	30	20	1.50	0.1761	1.71	1.70	
	430	30	15	2.00	0.3010	1.76	1.75	
20.2	115	30	25	1.20	0.0792	1.73	1.72	
	255	30	20	1.50	0.1761	1.74	1.73	
	440	30	15	2.00	0.3010	1.72	1.71	
$c = \frac{VW_s - W_h}{W_h}$ $c = 1.006$ $K_T = \frac{2.254 \log \frac{h_1}{h_2}}{K_1 \frac{A}{L}}$ $K_{30} = \frac{K_T \frac{A}{L}}{K_1 \frac{A}{L}}$								

CAPITULO III

PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

III.1 Introducción

Un problema importante que se presenta al ingeniero civil cuando trabaja con suelos, es cuantificar la deformación que sufren, al ser sometidos a una carga, ya que la deformación aumenta con el tiempo, aún cuando la magnitud de la carga no varíe.

El cambio de la deformación con el tiempo bajo un esfuerzo dado, no es una propiedad exclusiva de los suelos; se presenta en todos los materiales, pero en la mayoría de ellos, el tiempo durante el cual la deformación aumenta, es muy corto, o la variación muy pequeña; no así en los suelos donde ambas magnitudes, el tamaño de la deformación y el tiempo que tarda en efectuarse, son importantes para el trabajo del ingeniero civil.

Las deformaciones del agua y de las partículas sólidas que constituyen el suelo, son muy pequeñas comparadas con las de la estructura formada por los sólidos, por lo que se pueden considerar incompresibles, y la deformación que sufre el suelo atribuirse únicamente a la modificación de su estructura.

Establecidas las hipótesis anteriores, el suelo estrado solo se de-

forma si se desaloja el agua de sus vacíos, y puede modificarse su estructura, la variación de la deformación, dependerá de la velocidad con la que el agua esiga del suelo, factor que depende de la permeabilidad del material.

El proceso descrito se llama de consolidación, el cual se puede definir como la variación de volumen provocada por la carga aplicada al suelo y que tiene lugar en un lapso.

La carga aplicada a la masa de suelo produce esfuerzos, que varían de un punto a otro, por lo que resulta que el proceso de consolidación es función de:

- 1) La magnitud de los esfuerzos a que está sometido
- 2) La posición del punto analizado en la masa total del material
- 3) El tiempo
- 4) Las características del suelo, que permitirían la deformación de su estructura.

Si la carga aplicada se divide en dos partes, la que es soportada por la estructura del suelo (a la que se llama esfuerzo efectivo) y la que sostiene el agua (esfuerzo neutro), se puede establecer que el momento en que se aplica una carga, el incremento de esfuerzo provocado por ella, es tomado inicialmente por el agua de los

poros (la presión neutra es igual al esfuerzo aplicado) y con el tiempo se traslada a la estructura sólida del suelo, haciéndose esfuerzo efectivo.

Este último deforma la estructura y disminuye el volumen del suelo, ya que el agua intersticial sujeta a una presión mayor, es drenada hacia las fronteras permeables del estrato, por lo que se pueden disminuir los vacíos y la estructura deformarse.

En este fenómeno de deformación pueden distinguirse dos etapas:

La consolidación primaria y la Secundaria.

La consolidación primaria la estudió Terzaghi y obtuvo un modelo matemático de ella. En ésta, la deformación del suelo se debe al flujo laminar del agua expulsada por el aumento de presión neutra y cuya velocidad de salida es directamente proporcional al gradiente hidráulico provocado por la carga.

Durante la consolidación secundaria, la deformación continúa más --después que durante la consolidación primaria, y la variación del volumen se atribuye generalmente, al deslizamiento progresivo entre las partículas más finas del material, que se acomodan retrazando se el fenómeno porque el agua de los vacíos, sumamente pequeñas, se desaloja con dificultad en un flujo viscoso, no newtoniano, no di-

rectamente proporcional al gradiente hidráulico.

Puede contribuir también en la deformación del material el flujo plástico de las partículas laminares constitutivas de los suelos arcillosos. Con el fin de cuantificar las deformaciones totales y determinar los tiempos de asentamiento, se realiza la prueba de consolidación estándar; en ella bajo condiciones establecidas, se miden las deformaciones que sufre el suelo por efecto del monto de carga y con el tiempo. En esta prueba se establece la variación con el tiempo y con el esfuerzo que soporta el grueso de una muestra de suelo, tal variación mostrará el efecto de ambas partes de la consolidación:

La primaria y la secundaria.

En este trabajo se estudiará exclusivamente la consolidación primaria.

III.2 Descripción general de la prueba

La prueba estándar confina lateralmente el espécimen de suelo en estudio por medio de un anillo de bronce y en sus caras superior e inferior con piedras porosas. La muestra se sujeta a una serie fija de cargas, midiendo la variación de las deformaciones con el tiempo que produce cada carga.

Las piedras porosas son circulares y de diámetro ligeramente menor

que el anillo. El conjunto de espécimen y piedras porosas se coloca dentro de una cazuela que se rodea de agua a fin de evitar tensiones superficiales que perjudiquen el ensayo.

La prueba puede hacerse en dos formas:

- A) Con el anillo de bronce flotante (la prueba más usada). El dispositivo que se usa en este caso se llama consolidómetro de anillo flotante.
- B) Con el anillo fijo; en esta prueba se puede realizar la de permeabilidad simultáneamente con la consolidación.

Antes de iniciar el ensayo se determina la compresibilidad del equipo las cargas que van a actuar sobre el espécimen de suelo.

Colocada la muestra con el anillo y las piedras porosas en el consolidómetro se sujeta a la primera carga de una sucesión de 7 cargas fijadas por especificación.

Para que la fuerza aplicada a la muestra se reparta de manera uniforme en el área total, se utiliza una placa metálica, a través de la cual se aplica la carga, y a fin de tener cargas normales, sobre la placa se coloca una esfera, también metálica; ésta última se pone en contacto con el marco del dispositivo de consolidación que proporciona la fuerza con que se hace el ensayo. Esta fuerza expulsa el

agua del espécimen saturado y orientado tal y como estará en el sitio de estudio.

Al salir el agua se disminuye la altura de la muestra, la variación se mide con un micrómetro, colocado sobre el marco de fuerzas.

Los incrementos de carga en la prueba de consolidación estándar, duplican la presión actuante sobre ella, cada vez que se incrementan. Esta norma tiene por objeto poder comparar los resultados de un ensaye con los de otro. La serie de cargas se puede modificar de acuerdo a la naturaleza del problema por resolver.

Generalmente las presiones utilizadas son 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 y 16.0 kg/cm². En cada incremento de carga aplicado se miden las deformaciones que sufre la muestra utilizando intervalos de tiempo fijados también por la norma que se siga, la frecuencia usual es 5, 10, 15, 30 seg., 1, 2, 4, 8, 15, 30 min., 1, 2, 4, 8 hrs.

Los datos de estas lecturas se dibujan en la llamada CURVA DE CONSOLIDACIÓN: en las abscisas en escala logarítmica, los valores de los tiempos transcurridos y en las ordenadas en escala aritmética las lecturas del micrómetro.

La lectura de las deformaciones se suspende después de que la relación deformación - logaritmo del tiempo se ha hecho lineal Fig. III.1

da bien establecida la parte recta y el flujo de agua ya no se -
ce por efecto del exceso de presión hidrostática.

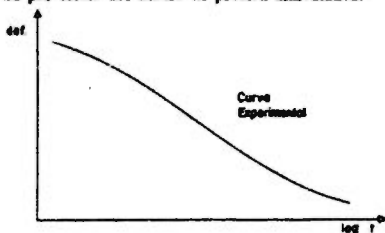


FIGURA III.1

po durante el cual se continúa la prueba siendo lineal la rela-
deformación - logaritmo del tiempo, varía dependiendo de la -
tancia que tengan las deformaciones, en este caso debidas ya -
llamada consolidación secundaria. A medida que la pendiente -
recta sea mayor, la importancia de la consolidación secunda--
menta.

urvas de consolidación se obtienen una para cada incremento -
rga aplicado.

uz que el suelo bajo un incremento de carga tiene deformacio-
nales con respecto al logaritmo del tiempo, se aumenta la --
| aplicada y se inicia un nuevo ciclo de deformación hasta que

se define la curva de consolidación.

Cuando se ha completado el ciclo de cargas dado por la norma que se siga, se descarga la probeta en forma inversa a como se hizo la carga. El tiempo entre dos decrementos, suele ser más corto que el empleado entre dos incrementos, ya que la expansión es menor y el fenómeno se estabiliza con mayor rapidez.

Al terminar el efecto de una carga, la relación de vacíos de la muestra llega a un valor menor que el inicial, y se calcula a partir de los datos iniciales de la muestra y las lecturas del micrómetro que miden la deformación.

Cada incremento de carga aplicado origina una curva de consolidación y con la deformación definida en ella se obtiene el valor de la relación de vacíos e_j que produjo la presión P_j actuante sobre el espécimen. La presión P_j es efectiva dado que la presión neutra se anuló.

Terminados todos los incrementos de carga, se tienen los valores de P_j y e_j para cada uno de ellos y se dibujan en la llamada CURVA DE COMPRESIBILIDAD, usando en las abscisas los valores de la presión actuante P_j en escala logarítmica y en las ordenadas las correspondientes relaciones de vacíos e_j en escala aritmética fig. III.2

La curva de compresibilidad proporciona las características de deformabilidad del suelo para cada carga efectiva dada.

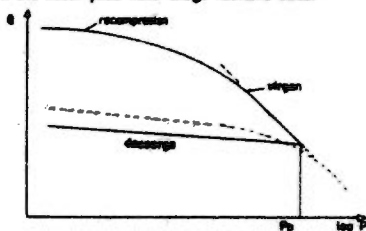


FIGURA III. 2

En la curva de compresibilidad se distinguen tramos sucesivos bien definidos ver fig. III. 2. El tramo de menor pendiente se llama de recompresión, y se une al siguiente tramo llamado virgen con el que se llega al final de las etapas de carga de la prueba.

Al someter al espécimen a una etapa contraria a la de carga se tiene una recuperación de la prueba que define el tramo de descarga. Experimentalmente se encuentra que la región de mayor curvatura, entre la recompresión y la curva virgen (P_p en la fig.), contiene la máxima carga a que ha estado sujeto el suelo en cualquier tiempo de su historia, esta carga es la denominada de preconsolidación. En el ejemplo dado al final de la descripción de la prueba, se muestra una curva de consolidación fig. III. 3, la de compresibilidad

ión. III. 5 , y se señala la carga de preconsolidación.

III.3 De la prueba de consolidación se obtienen:

- a) coeficiente de consolidación
- b) coeficiente de compresibilidad
- c) carga de preconsolidación

a) coeficiente de consolidación

El modelo matemático del proceso de consolidación primaria obtenido por Terzaghi, define la variación del incremento de carga que soporta el agua (exceso de presión hidrostática), es decir el esfuerzo neutro u con el tiempo.

En la misma teoría se define la variable llamada por ciento de consolidación media $U_m = 1 - \frac{u}{u_i}$

Donde:

u = esfuerzo neutro en cualquier tiempo durante el proceso de consolidación

u_i = exceso hidrostático inicial igual al incremento de carga

y demuestra que U_m representa la deformación vertical que sufre un manto de suelo en el tiempo, para el cual se ha obtenido U_m en por ciento y ha sido provocada por una carga inicial u_i así

$$U_m = \frac{s}{P} 100 \quad (\text{III.1})$$

donde:

U_m = % de consolidación unidimensional, valor medio a lo alto del estrato $2H$

s = deformación que sufre el estrato de suelo de grueso $2H$ en un tiempo t

P = deformación total que se produce al cargarse el suelo con un incremento de carga Δp

El % de consolidación media a lo alto del estrato U_m se obtiene de la curva teórica de consolidación, desarrollada en la teoría de Terzaghi en la cual se define con un solo factor adimensional T las siguientes características del fenómeno:

- El tiempo t
- El grueso del estrato en proceso de consolidación (H ó $H/2$)
- Las características de deformación del material
- La carga total que soporta el manto incluyendo su propio peso, -
dado que C_v se determina para cada incremento de carga.

$$m = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 H^2} = \frac{(2n+1)^2 H^2 t}{4} \quad (\text{III.2})$$

$$T = \frac{C_v t}{H^2} \quad (\text{III.3})$$

donde:

n = la serie de los números enteros positivos

$T_1 = 3.1416$

= la base de los números superiores

T = parámetro adimensional, función del tiempo, del grueso del manto y de las características del suelo.

t = tiempo en el que se requiere el factor tiempo T

C_v = coeficiente de consolidación, representativo de las características de deformación con el tiempo del suelo y que es función de la carga inicial en el proceso de consolidación y de las propiedades físicas del material en estudio.

H = altura o semiestura del manto en consolidación (semiestura cuando está drenado por ambos lados.)

La ecuación III.2 se representa en ejes semilogarítmicos como se muestra en la fig. III.3

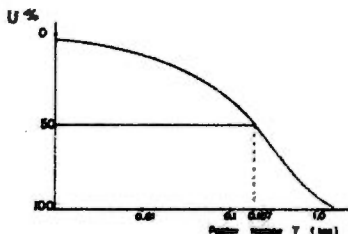


FIGURA III.3

El coeficiente de consolidación C_v se obtiene comparando la curva de consolidación experimental (en cada carga y por consiguiente C_v cambia con cada carga) con la curva teórica de Terzaghi para la consolidación primaria (ecuación III.2 o figura III.3). De la comparación geométrica de las dos curvas se tiene la equivalencia entre la deformación medida y el por ciento de consolidación; con lo que el eje de las ordenadas de la curva experimental se puede representar el por ciento de consolidación lo cual se hace en la forma siguiente:

La primera parte de la curva experimental deberá ser parábola como lo es en la teórica y por consiguiente $U_1 = U_2 \sqrt{t_1/t_2}$ y si se toma una relación de tiempo $t_1/t_2 = 4$ $U_1 = 2 U_2$ y conociendo la diferencia entre U_1 y U_2 se duplica esta y se obtiene el 0% de consolidación. Para el 100% se aprovecha la forma de la curva teórica en-

la que la prolongación de la parte donde cambia la curvatura se encuentra con la asíntota a la altura de la cota 100% y en la experimental se traza la prolongación de la parte donde se realiza el cambio de curvatura, hasta cortar la prolongación de la parte recta experimental. Con lo anterior queda fijado en el eje de las ordenadas los valores del % de consolidación.

El parámetro C_v se puede expresar como sigue:

$$C_v = \frac{T_1 \text{ hm}^2}{q}$$

si se toma el valor $U_j = U_{50}$ en la teoría $T_{50} = 0.197$ y

$$C_v = \frac{0.197 \text{ Hm}^2}{t_{50}} \quad \text{cm}^2/\text{seg} \quad (\text{III.4})$$

Donde:

Hm = longitud de la trayectoria de flujo de agua más corta en la prueba es igual al semigrueso de la muestra.

t_{50} = tiempo en segundos corresponde al 50% de consolidación primaria para el incremento de carga considerado en la prueba y se obtiene utilizando, en el eje de las ordenadas la escala de % de consolidación = 50% y leyendo t_{50} y leyendo t_{50} en las abscisas 0.197 = el factor tiempo definido en la teoría de

Terzaghi para el 50% de consolidación (U 50)

b) Coeficiente de compresibilidad

El coeficiente de compresibilidad a_v , es numéricamente igual a la pendiente de la curva relación de vacíos - presión Fig. III.2, es decir

$$a_v = - \frac{\Delta e}{\Delta p} = - \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1} \quad \text{cm}^2/\text{kg} \quad (\text{III.5})$$

Donde:

e_1 = relación de vacíos para la presión p_1

e_2 = " " " " " " " p_2

El coeficiente de compresibilidad, cambia para cada punto de la curva de compresibilidad, por consiguiente debe obtenerse para incrementos cortos de carga Δp y a partir de una carga p_1 conocida. Esta es una de las razones por las que la prueba de consolidación se realiza con incrementos de carga sucesivos y duplicando la carga, ya que incrementos muy cortos no muestran el fenómeno y muy grandes producen una poligonal en la curva III.2.

c) La carga de preconsolidación se obtiene como sigue:

En la curva de compresibilidad, entre las ramas de recompresión y virgen se toma el punto de máxima curvatura. Por dicho punto se traza una horizontal y una tangente a la curva, se obtiene la bisec-

triz del ángulo formado por esas dos rectas. Se prolonga el tramo virgen hacia arriba hasta interceptar la bisectriz. Este punto de la intersección tiene como abscisa la carga de preconsolidación. Esta construcción geométrica debida a Casagrande, localiza la carga máxima que en su historia ha soportado el suelo fig. III.4

Durante el desarrollo de la prueba, se pueden presentar errores en la preparación de la muestra, en el procedimiento de prueba y en la aplicación de las hipótesis teóricas a los resultados de ensayo. La experiencia y una técnica adecuada en la realización de la prueba, permitirá evitar los errores y obtener resultados confiables.

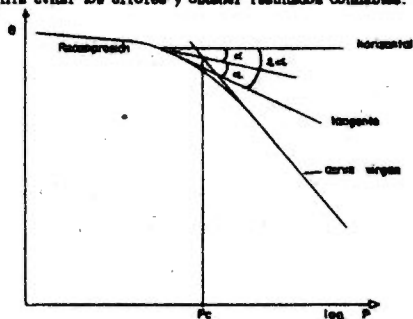


FIGURA III. 4

I Calibración y compresibilidad del equipo

Determinación de las cargas aplicadas al espécimen

Se coloca un dinamómetro (calibrado y provisto de micrómetro) entre el banco y el marco

Se lee el micrómetro

Se aplica una carga conocida

Se lee el micrómetro ya aplicada la primera carga.

Se obtiene la deformación del dinamómetro con la diferencia de lecturas

Con la curva de calibración se obtiene la fuerza aplicada en el marco.

La fuerza aplicada en el marco entre el peso colocado en el dispositivo, da la relación de brazos del aparato.

Conociendo el área del ensayo de consolidación se multiplica ésta por cada uno de los incrementos de presión que se requerirán.

Cada producto se divide entre la relación de brazos obteniendo así el peso que debe aplicarse en el dispositivo para obtener cada uno de los incrementos aludidos.

Determinación de la compresibilidad del aparato

Se coloca la cazuela del consolidómetro en el banco de carga con las dos piedras porosas, placa de carga y balda, las que se usarán en la prueba.

Se coloca el micrómetro que debe quedar vertical.

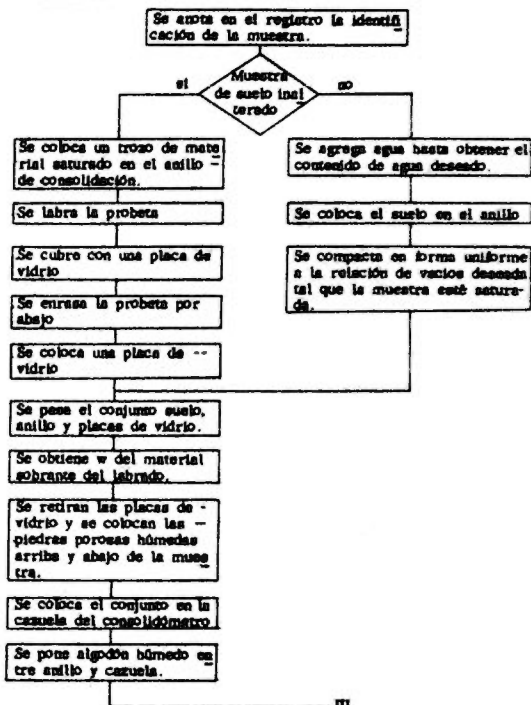
Se aplica la primera carga al dispositivo

Se mide la deformación indicada por la lectura del micrómetro y se anota.

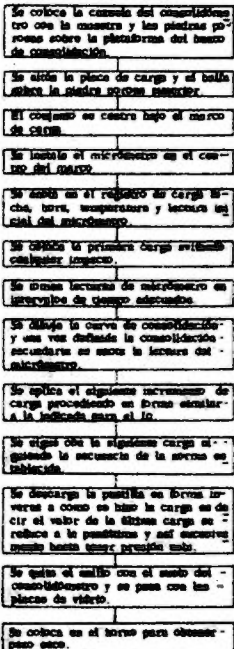
Se repite la operación de cargar y leer la deformación con cada incremento de carga de la norma establecida.

Se dibuja una gráfica de lecturas de micrómetro (deformaciones) contra cargas aplicadas.

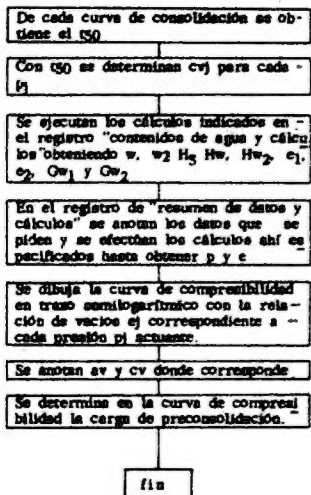
II Preparación de la probeta de suelo.



III Montaje y realización de la prueba.



IV Cálculo



III.4 Equipo

- 1.- Aparato de consolidación que --
consta de:

- 1.1 Anillo que contendrá el espécimen
1.2 Recipiente base
1.3 Dos piedras porosas
1.4 Micrómetro
1.5 Placa de carga
1.6 Balía
1.7 Juego de pesas
1.8 Banco de carga



- 2.- Equipo para labrado del espécimen.

- 2.1 Toruo de labrado
2.2 Cuchillos especiales y espátulas
2.3 Cortador de alambre
2.4 Regla metálica

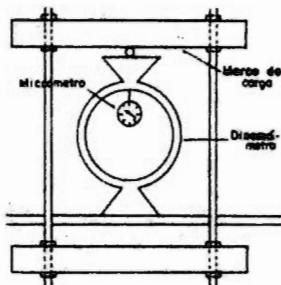


- 3.- Varios

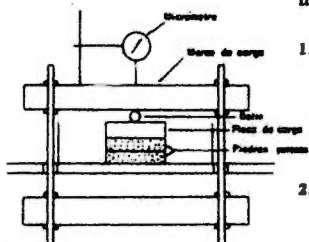
- 3.1 Balanza de 800 gr.
3.2 Cronómetro
3.3 Cápsulas
3.4 Termómetro
3.5 Horno
3.6 Formas para la prueba.

III.5 Procedimiento de prueba.

III.5.1 Determinación de las cargas aplicadas al espécimen durante la prueba.



1. - Se coloca un dinamómetro calibrado provisto de micrómetro entre el banco y el marco.
2. - Se toma lectura inicial del micrómetro; se aplica una carga conocida sobre el dispositivo y se lee nuevamente el micrómetro.
3. - La diferencia de lecturas da la deformación del dinamómetro; con este valor se encuentra en la curva de calibración la fuerza aplicada al marco.
4. - Se divide la fuerza aplicada en el marco entre el peso colocado en el dispositivo de carga. Este cociente es la relación de brazos del aparato.
5. - Conociendo el área del anillo de consolidación, se multiplica esta por cada uno de los incrementos de presión que se requerirán, y cada producto se divide entre la relación de brazos, obteniendo así, el peso que debe aplicarse



es el dispositivo para obtener -
cada uno de los incrementos.

III. 5.2 Determinación de la compresibilidad del equipo.

- 1.- Se coloca la cazuela del consolidómetro en el banco de carga - con las dos piedras porosas, placa de carga y balín. Se sujeta - el micrómetro que debe quedar vertical.
- 2.- Se aplican cargas al dispositivo midiendo las deformaciones indicadas por las lecturas del micrómetro.
- 3.- La calibración debe abarcar todos los incrementos de carga utilizados así como la etapa de -- descarga.
- 4.- Se hacen tablas de lecturas de micrómetro y cargas aplicadas.

III. 6 Preparación de la probeta de suelo.

a) Muestras inalteradas.

- 1.- Sobre el torno se coloca un trozo de material que tenga por lo menos el doble de espesor que el anillo de consolidación y de tamaño ligeramente mayor que el diámetro interior del anillo.



2. - Se coloca el estilo sobre la muestra y se le da la prueba con las espátulas y cuchillos adecuados girando lentamente el torno de labrado, y forzando ligeramente el estilo para que penetre en la muestra de suelo.
3. - Cuando se ha llenado completamente el estilo, y la muestra sobresale por lo menos 3 mm, se empuja la cara superior de la probeta, cortando el material sobrante, esto puede hacerse con sierra de siembre o con cuchillo, afilado con una regla metálica.
4. - Se corta la parte inferior con igual procedimiento y en seguida se ensaya la cara inferior de la pastilla.
5. - Se coloca el material sobrante del labrado en una cápsula para determinar un contenido de humedad testigo.



6. - Se anota en la lámina III.1 los datos de la muestra tales como obra, sondeo, muestra etc. y se hace una descripción del suelo en estudio así como área y altura del ensayo, su peso y el de las placas que se usan las cuales se han determinado previamente.
7. - Se pasa el conjunto suelo, ensayo y placa metálica, anotando el dato en el registro contenido de agua y cálculos (lámina III.1)
8. - Se retira la placa metálica y se colocan piedras porosas húmedas en las caras superior e inferior. Se coloca el conjunto en la cámara del consolidómetro, con la misma orientación del suelo en estudio.



- 9.- Se pone algodón húmedo en el espacio que queda entre el anillo y las paredes de la cámara del consolidómetro.

b) Muestras alteradas.

Si se dispone de una muestra compactada, obtenida por alguno de los métodos establecidos, se procede como si fuera inalterada en la forma antes descrita; en caso contrario, se compacta directamente el material en el anillo, colocándolo en 5 ó 6 capas que se apisonan en forma uniforme, buscando reproducir la compactación que se tiene o tendrá en el campo.

Una vez obtenida la pastilla de suelo, se procede como se indicó en III.6.6 a III.6.9

III.7 Montaje de la prueba

- 1.- Se coloca la cámara sobre la plataforma del banco de consolidación. Se sitúa la placa de carga y el balón sobre la piedra porosa superior.



- 2.- El conjunto se centra bajo el -- marco de carga y se ajusta la -- elevación de éste.
- 3.- Se instala el micrómetro en el -- centro del ensayo.

III.8 Realización de la prueba

- 1.- Se anota en el registro de carga (Módulo III.2) la fecha, hora, -- compensadora y lectura inicial del micrómetro.
- 2.- Se coloca cuidadosamente la pr -- mera pesa evitando cualquier -- impacto. Para suelos muy blandos, la carga puesta en el porta -- pesas, deberá aplicar una pre -- sión de 0.1 kg/cm^2 o menor a -- fin de evitar que el suelo fluya -- entre las placas porosas y el -- anillo. Para suelos duros la car -- ga puede ser mayor. Después -- que la muestra se consolidó bajo -- el primer incremento de carga -- cada incremento sucesivo será -- tal que la presión sobre la pes -- aña se duplique.



3.- Se toman lecturas del micrómetro en intervalos de tiempo adecuados. Es usada la siguiente frecuencia: 5, 10, 15, 30 seg. - 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240 min. (ver láminas III.2)

4.- Se dibuja la curva de consolidación (láminas III.3), y una vez que en ésta se tienen deformaciones lineales con respecto al $\log$ de t , se anota la lectura final del micrómetro.

5.- Se aplica el siguiente incremento de carga procediendo en forma similar a la indicada para el primero.

Generalmente el algodón se retira después de la consolidación bajo el segundo incremento de carga y la muestra se llena de agua a un nivel por encima de la parte superior del anillo.

Se observa el micrómetro hasta que se estabilice y se anota el valor final.

6.- Se continúa con la secuencia de carga hasta llegar a la presión



máxima proyectada en función del uso futuro de los datos.

- 7.- Se descarga la pastilla en forma inversa a la carga es decir, la última carga aplicada, se reduce al valor de la penúltima y así sucesivamente hasta obtener una presión nula sobre la pastilla.
- 8.- El tiempo entre dos decrementos es más corto que el transcurrido entre dos incrementos, pues la expansión ocurre con mayor rapidez que la consolidación. Se permite que la muestra se expanda bajo presión nula, hasta alcanzar el equilibrio.
- 9.- Se quita el micrómetro, se desarma el consolidómetro, se pega el anillo con el suelo y la placa metálica, anotando el dato en la lámina [1] 1
- 10.- Se coloca la muestra en el horno para obtener su peso seco.



III.9 Cálculo de la prueba

Se ejecutan los cálculos indicados en el registro contenidos de humedad y cálculos (Lámina III.1)

- 1.- Los contenidos de agua inicial y final w_1 y w_2 se obtienen:

$$w_1 = \frac{66.23}{20.81} \times 100 = 318 \%$$

$$w_1 = \frac{ww_1}{w_s} \times 100$$

$$w_2 = \frac{27.84}{20.81} \times 100 = 134\%$$

$$w_2 = \frac{ww_2}{w_s} \times 100$$

donde: ww = peso del agua

w_s = peso de sólidos

- 2.- Se tienen los datos del anillo — altura inicial H_1 y área A

$$H_1 = 15.0 \text{ mm} \quad A = 50 \text{ cm}^2$$

- 3.- Es necesario para los cálculos tener el peso específico de sólidos S_s

$$S_s = 2.47$$

- 4.- Se obtiene la altura de sólidos H_s con la expresión:

$$H_s = \frac{10 (20.81)}{50 (2.47)} = 1.685 \text{ mm.}$$

$$H_s = \frac{10 W_a}{A S_s}$$

donde: 10 es el factor para convertir cm a mm.

lectura inicial = 22.730

Lectura final = 14.979

$$\Delta H = 7.751 \text{ mm.}$$

5. - Se anota la variación en la altura de la muestra ΔH . Se obtiene de las lecturas anotadas en el - registro de carga (lámina III.2)

6. - Se obtiene la altura final H_2

$$H_2 = H_1 - \Delta H$$

7. - Se determinan las alturas del - agua inicial Hw_1 y final Hw_2

$$Hw_1 = 3.18 \times 1.685 \times 2.47 = 13.235 \text{ mm}$$

$$Hw_1 = w_1 H_s S_s$$

$$Hw_2 = 1.34 \times 1.685 \times 2.47 = 5.577 \text{ mm}$$

$$Hw_2 = w_2 H_s S_s$$

8. - Las relaciones de vacíos inicial e_1 y final e_2 se obtienen:

$$e_1 = \frac{15.0 - 1.685}{1.685} = 7.902$$

$$e_1 = \frac{H_1 - H_s}{H_s}$$

$$e_2 = \frac{7.249 - 1.685}{1.685} = 3.301$$

$$e_2 = \frac{H_2 - H_s}{H_s}$$

9. - Los grados de saturación inicial Gw_1 y final Gw_2 se obtienen:

$$Gw_1 = \frac{13.235}{13.315} \times 100 = 99\%$$

$$Gw_1 = \frac{Hw_1}{H_1 - H_s} \times 100$$

$$Gw_2 = \frac{5.577}{5.562} \times 100 = 100\%$$

$$Gw_2 = \frac{Hw_2}{H_2 - H_s}$$

10. - En el registro resumen de datos y cálculos (Lámina III.4) - se anotan las presiones y las correspondientes lecturas del milímetro tomadas del registro de carga.

lectura inicial p = 0	22.730	11. - La deformación δ' se obtiene
lectura sig. p = 0.125	22.709	restando de la lectura inicial, -
	$\delta' = 0.021$	las lecturas subsecuentes.

12. - La deformación corregida δ se obtiene así:

$$\delta = 0.021 - 0.002 = 0.019$$

$$= \delta' - \text{corrección por compresión}$$

$$\frac{\delta}{H_s} = \frac{0.019}{1.683} = 0.011$$

13. - Se divide δ/H_s , que representa la disminución de la relación de vacíos al actuar la presión

14. - Para obtener la relación de vacíos correspondiente a cada presión, se resta a la e quedada -- inicial los valores obtenidos en la columna anterior.

$$e = 7.902 - 0.011 = 7.891$$

$$e = e_1 - \delta/H_s$$

15. - La variación de contenidos de agua se obtienen:

$$w = \frac{7.902}{2.47} \times 0.994 = 318\%$$

$$w = \frac{e}{S_s} \cdot G_w$$

16. - Se dibuja la curva de compresibilidad en trazo semilogarítmico (Lamina III. 5)

17. - El coeficiente de compresibilidad a_v se calcula así:

$$a_v = - \frac{7.891 - 7.902}{0.125 - 0} = 0.089 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$a_v = - \frac{p_2 - p_1}{p_2 - p_1}$$

18. - La columna H_m en cm. se obtiene teniendo en cuenta las condiciones de los drenes utilizados.

$$H_m = \frac{0.180 + 0.14979}{4} = 0.7495 \text{ cm}$$

$$H_m = \frac{H_{11} + H_{12}}{4}$$

donde H_{11} es la altura obtenida después de aplicar el primer incremento de carga.

$$H_m = \frac{0.14979 + 0.14877}{4} = 0.7464 \text{ cm}$$

$$H_m = \frac{H_{11} + H_{12}}{4}$$

donde H_{12} es la altura obtenida después de aplicar el segundo incremento de carga

$$H_m^2 = 0.7495^2 = 0.5617 \text{ cm}^2$$

19. - Se elevan al cuadrado los H_m

20. - En las curvas de consolidación (Lámina III. 3) es posible obtener el cero por ciento teórico de consolidación como sigue: Se escoge un punto de la curva próximo al eje de deformaciones, se observa el tiempo t que le corresponde, y se localiza el punto correspondiente a un tiempo $t_1/4$ y se determina la diferencia de ordenadas de los dos puntos. Este valor se duplica, obteniendo un tercer punto, por el cual se hace pasar una paralela al eje de los tiempos que define el 0% de consolidación. El 100% teórico de consolidación queda definido por la intersección del tramo recto de consolidación secundaria y de la tangente a la parte curva en su punto de inflexión. Al punto medio del segmento entre el 0 y el 100% teóricos de consolidación corresponderá el 50%. El tiempo correspondiente a ese porcentaje es el t_{50} y su determinación debe hacerse para cada una de las cur

$$t_{50} = 57 \text{ seg.}$$

vas obtenidas en el proceso de consolidación.

- 21.- El coeficiente de consolidación se obtiene:

$$C_v = \frac{0.197 (0.2512)}{97} = 0.00087 \text{ cm}^2/\text{seg.} \quad C_v = \frac{0.197 \text{ Hm}^2}{50}$$

- 22.- La carga de preconsolidación se obtiene así:

En la curva de compresibilidad, se toma el punto de máxima curvatura de la zona de transición entre las ramas de recompresión y virgen. Por dicho punto se traza una horizontal y una tangente a la curva, se obtiene la bisectriz del ángulo formado por esas dos rectas. Se prolonga el tramo virgen hacia arriba hasta interceptar la bisectriz. Este punto de intersección tiene como abscisa la carga de preconsolidación.

$$P_c = 1.2 \text{ kg/cm}^2$$

III. 10 Posibles errores

- 1.- La muestra no está orientada como en el sitio de estudio.

2. - Mal labrado de la probeta.
3. - Mal tomadas las lecturas de -
tiempos o de micrómetro.
4. - Variación de la temperatura.
5. - Incorrecta medición de peso del
especimen.

FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONSOLIDACION
CONTENIDOS DE AGUA Y CALCULO

OBRA Edificio Torres
LOCALIZACION 0-115.90 SONDEO No 3
MUESTRA No 6 PROF 1.25 - 1.80 m
DESCRIPCION Arilla café de alta elasticidad.
FECHA 5-6-78 OPERADOR Gómez CALCULO A. López.

DETENCION DE V	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA		AL FINAL DE LA PRUEBA	
ANILLO Y VERNER No.	1	873	1	
PESO TARA + SUELO HEDRO gr	340.88	39.11	302.40	
PESO TARA + SUELO SECO gr	274.78	29.30	274.78	
PESO DEL AGUA gr	66.23	29.81	27.64	
PESO TARA gr	292.98	19.80	282.80	
PESO SUELO SECO V_s gr	30.81	9.40	20.81	
CONTENIDO DE AGUA w %	$P_1 = 31.0$	$P_2 = 31.7$	$P_3 = 13.4$	P_4
V S PERCENTUAL	$V_1 =$	$V_2 =$	$V_3 =$	$V_4 =$

ANILLO No. 1 DIAMETRO DEL ANILLO 7.87 cm AREA DEL ANILLO $A =$ 50 cm²
ALTURA DEL ANILLO = ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA $H =$ 15 cm



PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SUELO $\rho_r =$ 2.67

ALTURA SOLIDA $H_s =$ $\frac{H}{1 + e_0} = \frac{15}{1.25} =$ 12.00

VALORES DE LA ALTURA DE LA MUESTRA DEL PRINCIPIO

AL FINAL DE LA PRUEBA $H_f =$ 7.781

ALTURA FINAL DE LA MUESTRA

ALTURA INICIAL DEL AGUA

ALTURA FINAL DEL AGUA

RELACION DE VACIOS INICIAL

RELACION DE VACIOS FINAL

GRADO DE SATURACION INICIAL

GRADO DE SATURACION FINAL

$H_s = \frac{H}{1 + e_0} = \frac{15.0 - 7.781}{1.25} =$ 7.829

$H_{s1} = \frac{H_s}{1 + e_0} = \frac{7.829}{1.25} =$ 6.263

$H_{s2} = \frac{H_s}{1 + e_0} = \frac{7.829}{1.25} =$ 6.263

$e_0 = \frac{H - H_s}{H_s} = \frac{15.0 - 7.829}{7.829} =$ 0.922

$e_f = \frac{H - H_f}{H_f} = \frac{15.0 - 7.781}{7.781} =$ 0.921

$S_0 = \frac{H_s}{H} = \frac{7.829}{15.0} =$ 0.522

$S_f = \frac{H_s}{H} = \frac{7.829}{15.0} =$ 0.522

FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONSOLIDACION
REGISTRO DE CARBA

76

OBRA Edificio 3er piso
LOCALIZACION Edificio 20 SOMBRO No 1
MUESTRA No 1 PROF 3.35 - 3.50
DESCRIPCION arena casi de alta plasticidad.
FECHA 2-1-76 OPERADOR Edison OLIVERO A-10948.

FECHA	TIEMPO	TEMP.	CARBA	TIEMPO	TIEMPO
	h. m.	°C	g.	h. m.	h. m.
6/7/76	11:15	21.0	0.565	0	22.630
				.003	22.627
				.17	22.620
				.23	22.618
				.1	22.615
	11:16		1	22.612	
	11:17		2	22.610	
	11:18		4	22.611	
	11:21		2	22.612	
	11:30		15	22.613	
	11:45		10	22.610	
	12:15		60	22.609	
6/7/76	9:00		1105	22.605	
6/7/76	9:00	17.0	1.080	0	22.600
				.003	22.597
				.17	22.595
				.23	22.593
				.1	22.591
	9:01		1	22.589	
	9:02		2	22.587	
	9:04		4	22.589	
	9:08		8	22.585	
	9:15		15	22.583	
	9:30		10	22.580	
	10:00		40	22.576	
	11:00		120	22.575	
	11:00		260	22.570	
7/7/76	9:30		1410	22.567	
7/7/76	8:30	17.6	2.375	0	22.605
				.003	22.602
				.17	22.599
				.23	22.597
				.1	22.595
	8:31		1	22.593	
	8:32		2	22.591	
	8:34		4	22.590	
	8:38		8	22.588	
	8:45		15	22.586	
	9:00		10	22.585	
	10:30		120	22.580	
	11:00		270	22.574	
8/7/76	9:00		1470	22.575	
8/7/76	9:00	16.2	1.275	0	22.595
				.003	22.592
				.17	22.590
				.23	22.588
				.1	22.586
	9:01		1	22.584	
	9:02		2	22.582	
	9:04		4	22.580	
	9:08		8	22.578	
	9:15		15	22.576	
	9:30		10	21.986	
	10:00		40	21.980	
	11:00		120	21.970	
	11:00		260	21.960	
9/7/76	9:00		1660	21.955	

LAMINA III 2



FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONSOLIDACION
REGISTRO DE CARGA

77

OBRA Estaciones Zepheros.

LOCALIZACION 0-115.90 SONDEO No 3

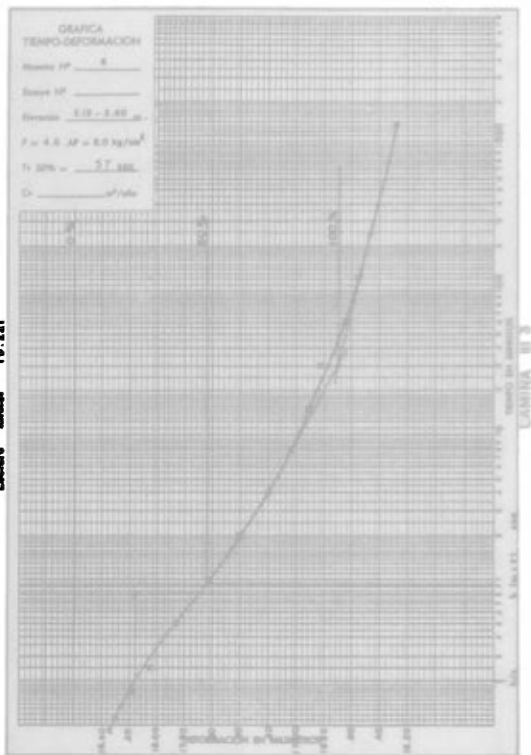
MUESTRA No 5 PROF 1.15 - 1.80 m

DESCRIPCION Arilla med de alta plasticidad.

FECHA 5-1-76 OPERADOR Adams CALCULO Alfons

SECCION	TIEMPO	TEMP.	CARGA	TIEMPO	SECCION	TIEMPO	TEMP.	CARGA	TIEMPO	SECCION	
cm. mm.	°C	kg.	cm. mm.	cm. mm.	cm. mm.	°C	kg.	cm. mm.	cm. mm.	cm. mm.	
01-1-76	9100	12.0	1.565	0	22.625	01-1-	9100	12.0	1.565	0	22.625
				0.05	22.600				0.05	22.600	
				0.10	22.550				0.10	22.550	
				0.25	22.450				0.25	22.450	
				0.5	22.350				0.5	22.350	
	9101			1	22.250		9101		1	22.250	
	9102			2	22.150		9102		2	22.150	
	9104			4	22.050		9104		4	22.050	
	9106			6	21.950		9106		6	21.950	
	9115			15	21.850		9115		15	21.850	
	9130			30	21.750		9130		30	21.750	
	10100			60	21.650		10100		60	21.650	
	11100			120	21.550		11100		120	21.550	
	13100			240	21.450		13100		240	21.450	
02-1-	9100			120	21.350	02-1-	9100		120	21.350	
02-1-	9100	12.2	1.565	0	22.625	02-1-	9100	12.2	1.565	0	22.625
				0.05	22.600				0.05	22.600	
				0.10	22.550				0.10	22.550	
				0.25	22.450				0.25	22.450	
				0.5	22.350				0.5	22.350	
	9101			1	22.250		9101		1	22.250	
	9102			2	22.150		9102		2	22.150	
	9104			4	22.050		9104		4	22.050	
	9106			6	21.950		9106		6	21.950	
	9115			15	21.850		9115		15	21.850	
	9130			30	21.750		9130		30	21.750	
	10100			60	21.650		10100		60	21.650	
	11100			120	21.550		11100		120	21.550	
	13100			240	21.450		13100		240	21.450	
03-1-	9100			240	21.350	03-1-	9100		240	21.350	

LAMINA 2



CONSOLIDACION
RESUMEN DE DATOS Y CALCULOS

OBRA Edificio Yaguajay
LOCALIZACION Q. 115.2 SONDEO No. 2
NUESTRA No. 6 FROM 215 - 120
DESCRIPCION Arriba del
FECHA 5-1-78 OPERADOR Gerardo CALVO A. Lora

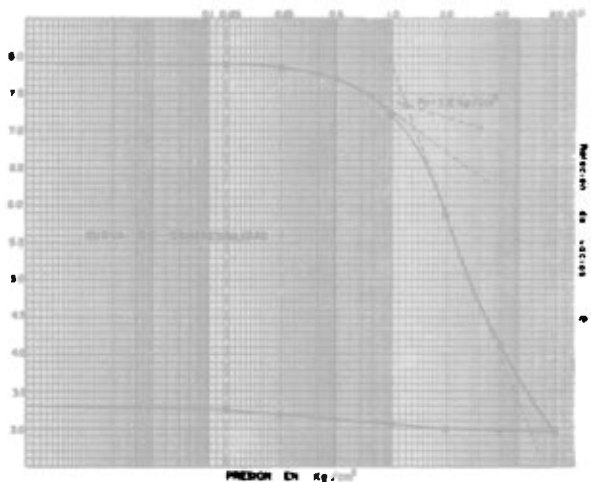
PRUEBA N	UNIFORME MEDIO	DEFORMACION L	DEFORMACION COMPLETA DEFORMACION DEFORMACION	DEFORMACION COMPLETA DEFORMACION DEFORMACION	$\frac{1}{2}$	RELACION DE TENSIONES	CONVERSION DE AREA	$\frac{Q_v}{H_m}$	H_m	H_m^2	$\frac{Q_v}{H_m}$	$\frac{Q_v}{H_m^2}$
$\frac{Q_v}{H_m}$	mm	mm	mm	mm	mm		%	mm ² /Kg	mm	mm	mm	mm ² /Kg
0	22.730	0	0	0	0	7.902	330	0.000	0.700	0.000	30	3.00
0.128	22.709	0.021	0.002	0.019	0.011	7.891	319	0.464	0.704	0.007	60	2.19
0.250	22.607	0.123	0.006	0.117	0.069	7.833	317	0.920	0.700	0.009	60	1.79
0.500	22.379	0.331	0.015	0.336	0.199	7.703	312	0.000	0.704	0.009	60	1.73
1.000	21.625	1.105	0.029	1.076	0.639	7.263	293	0.000	0.688	0.009	60	1.89
2.000	19.221	3.509	0.046	3.463	2.033	7.847	237	1.000	0.601	0.001	97	0.67
4.000	16.288	6.442	0.081	6.361	3.775	4.127	167	0.837	0.377	0.142	48	0.98
8.000	14.244	8.486	0.122	8.364	4.964	2.938	119					
4.000	14.339	8.391	0.085	8.306	4.929	2.973	121					
2.000	14.450	8.280	0.054	8.226	4.882	3.020	122					
1.000	14.571	8.159	0.032	8.127	4.823	3.079	124					
0.500	14.697	8.043	0.018	8.025	4.763	3.139	126					
0.250	14.763	7.967	0.009	7.958	4.723	3.179	128					
0.125	14.879	7.861	0.002	7.859	4.664	3.238	131					
0	14.079	7.751	0	7.751	4.600	3.302	133					



FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONSOLIDACION

GRAFICA PRESION - RELACION DE VACIOS

OBRA Intercambio Topografico
LOCALIZACION 2-113,90 SONDEO No 1
MUESTRA No 6 PROF 3.22 - 3.80 m
DESCRIPCION Aterro de alta plasticidad.
FECHA 2-1-76 OPERADOR 44009 CALCULO Acilios H.



LAMINA III. 5

CAPITULO IV

PRUEBAS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

IV.1 Introducción

La determinación de la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante, es necesaria para cualquier análisis de estabilidad de ellos en las obras de ingeniería civil. Se expresa en general mediante la hipótesis de ruptura de Coulomb como sigue:

$$\bar{\tau} = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad (IV.1)$$

donde:

$\bar{\tau}$ = resistencia al esfuerzo cortante

c = cohesión

σ = esfuerzo normal

φ = ángulo de fricción interna

La resistencia al esfuerzo cortante depende de un número importante de factores; en suelos gruesos los principales son:

La compactación, el contenido de agua, la forma de los granos, la mineralogía y el confinamiento.

En suelos cohesionados se agregan a los anteriores, la historia previa de consolidación del suelo, la velocidad de aplicación de las cargas, y las condiciones de drenaje.

En los suelos el esfuerzo normal debe ser el efectivo y la ley de Coulomb se modifica así:

$$\bar{\sigma} = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad (IV.2)$$

donde:

σ = esfuerzo normal total

u = presión neutra en el agua

Para determinar la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante en el laboratorio, se utilizan diferentes pruebas. las más usuales son:

- | | |
|--------------------------------|---|
| a) Prueba triaxial | $\left\{ \begin{array}{l} a_1 \text{ no consolidada - no drenada} \\ a_2 \text{ consolidada - no drenada} \\ a_3 \text{ consolidada - drenada} \end{array} \right.$ |
| b) Prueba de compresión simple | |
| c) Prueba de corte directo | |

Para que exista correlación, entre la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante obtenido en las pruebas de laboratorio y la resistencia al corte que se desarrolla en el campo, es importante elegir el tipo de prueba que mejor represente las condiciones del problema por resolver.

IV.2 Pruebas triaxiales

IV.2.1 Generalidades

La prueba de compresión triaxial consiste en someter a un espécimen cilíndrico de 3.6 cm de diámetro y 9 cm de altura, a esfuerzos en 3 direcciones ortogonales, uno vertical σ_1 y dos horizontales σ_2 y σ_3 ; éstos dos últimos esfuerzos son iguales los que se producen en el interior del cilindro, en un plano diametral se pueden analizar como bidimensionales.

Para realizar el ensayo, el espécimen se coloca en el interior de una cámara cilíndrica de lucita con base metálica (llamada cámara triaxial) y las presiones se le proporcionan a través de un líquido (generalmente agua) del cual se protege a la muestra con una membrana impermeable.

La presión lateral que se ejerce con el agua es normal, por ser hidrostática, y produce esfuerzos principales $\sigma_2 = \sigma_3$ sobre el espécimen.

El líquido en la cámara proporciona la presión requerida debido a la acción de un tanque con aire a presión comunicado con ella.

La carga axial se origina por una fuerza F que se transmite al espécimen por medio de un vástago delgado que atraviesa la base superior de la cámara donde el agua está a la presión σ_3 . Se debe tomar en cuenta que en el área transversal (a) del vástago se ejerce la presión σ_3 lo que disminuye la fuerza que llega al vástago en $\sigma_3 \cdot a$ y finalmente la presión P llamada esfuerzo desviador es igual a:

$$P = \frac{F - \sigma_3 \cdot A}{A} \quad (V.3)$$

donde A = área transversal de la muestra.

En las bases del espécimen actúa además de la presión P , la presión $\sigma_2 = \sigma_3$ ejercida por el agua; en total en dirección axial actúa la presión σ_1 que también es principal y que vale $\sigma_1 = \sigma_3 + P$

IV.2.2 Pruebas triaxiales.

La aplicación de las presiones sobre el espécimen se puede hacer con diferentes procesos, a su vez las cargas sobre la muestra producen presiones neutras que provocan la posibilidad del flujo; las combinaciones de los procesos de carga y de las posibilidades de flujo originan diversas pruebas triaxiales.

Se pueden usar dos procesos de carga para llegar a la ruptura:

1. - El denominado esfuerzo controlado, en donde cada uno de los incrementos de carga vertical u horizontal, es fijado por el operador tanto en monó, como en tiempo de actuación y se miden las deformaciones resultantes.

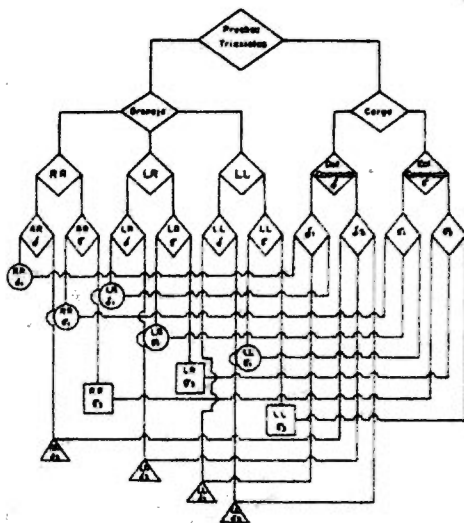
La prueba del espécimen se hacen colocando la cámara en un dispositivo llamado banco triaxial que tiene una ménsula por medio de la cuál se producen diferentes cargas, las deformaciones que las cargas producen en la probeta se miden por medio de un micrómetro.

2.- El denominado deformación controlada, donde el operador fija la deformación y mide los esfuerzos resultantes. En este proceso la cámara se coloca bajo una prensa que desciende con velocidad constante; la magnitud de las cargas, se mide instalando un anillo calibrado entre el vástago y el marco de transmisión de cargas. Las deformaciones de la probeta son medidas con un micrómetro.

En ocasiones la prueba se efectúa sobre una báscula de carga cuya carátula da directamente las cargas actuantes.

Como se indica en la ecuación IV.2 el esfuerzo efectivo a que está sometido el suelo es el que afecta su resistencia al corte; por consiguiente esta resistencia al corte variará con la posibilidad de que el agua no fluya o ya haya fluido, durante la determinación del esfuerzo tangencial que resiste el espécimen. Como existen dos esfuerzos (axial y transversal) el flujo de agua se puede deber a cualquiera de ellos y así se pueden realizar pruebas con la muestra no consolidada o consolidada, es decir drenada o no por uno u otro de los esfuerzos o por ambos.

La figura IV.1 muestra las combinaciones de drenaje y carga a que se puede someter la probeta y así mismo las pruebas usuales, las poco usadas y las que no se realizan actualmente.



RR = No drenajes por d_1 y d_2

LR = Drenaje por d_1 y no por d_2

LL = Drenajes por d_2 y d_1

d_1 = Diferencias verticales verticales

d_2 = Diferencias horizontales horizontales

Problema max estado

Problema min estado

Problema no estado

d_1 = Diferencia principal mayor

d_2 = Diferencia principal menor

Gráfico tomado de Ing. Francisco Zamora M.



FIGURA IV.1

En este trabajo se describen solo parte de las pruebas más usadas la no consolidada - no drenada, consolidada - no drenada y drenada - consolidada.

1.- Prueba no consolidada - no drenada (rápida)

Se impide el drenaje durante las dos etapas de la prueba la primera cuando se aplica $\sigma_3 = \sigma_2$ y la segunda cuando se somete a σ_1 . Permite determinar la resistencia del suelo sometido a cargas o descargas a tal velocidad que no se disipan las presiones de poro generadas.

2.- Prueba consolidada - no drenada (consolidada - rápida)

Se permite el drenaje sólo durante la primera etapa al aplicar σ_3 . Es la más adecuada para determinar la resistencia de los suelos consolidados sometidos a cargas rápidas, como en el caso de vaciado rápido de una presa, sismos, o el paso de vehículos sobre terráplenes.

3.- Prueba consolidada - drenada (lenta)

En este caso los esfuerzos aplicados al espécimen se hacen efectivos. Se permite el drenaje durante toda la prueba: al someterlo a σ_3 no se dejan generar presiones de poro y aplicando cargas durante la segunda etapa con una velocidad adecuada se evitan incrementos de presión neutra. Se usa para determinar la resistencia de los suelos en el estudio de estabilidad a

largo plazo.

Cualquiera que sea la prueba triaxial se tiene durante el ensaye dos esfuerzos principales a los cuales está sometido el espécimen: el axial σ_1 y el transversal σ_3 . En un plano diametral del cilindro de prueba se tiene la condición de esfuerzos debidamente originado por los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 y con la representación de Mohr se tiene el estado de esfuerzos de cualquier punto en el plano diametral fig. IV.2

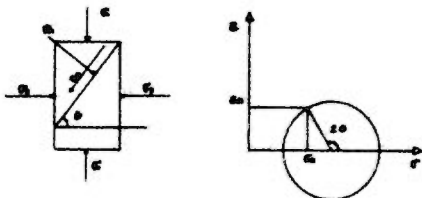


FIG. IV.2

Para un esfuerzo σ_3 fijo se puede aumentar σ_1 hasta llegar a la ruptura y obtener σ_r y τ_r fig. IV.3. Si se varía el esfuerzo horizontal σ_3 el vertical σ_1 , necesario para llevar a la falla la probeta, también se modificará y realizando modificaciones de σ_3 cuando menos 3, en otros tantos especímenes, se tendrán 3 esfuerzos verticales de falla diferentes. Se dispondrá de 3 parejas

de esfuerzos principales que se tienen de las 3 probetas ensayadas - llevadas a la ruptura.

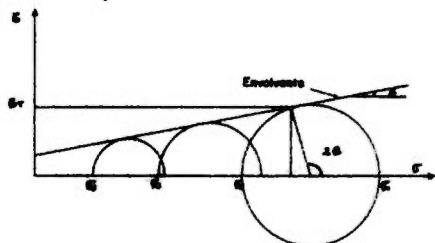


FIG. IV.3

Con cada pareja se puede dibujar un círculo de Mohr y la envolvente de ellos en el punto de contacto, mostrará la combinación de esfuerzos cortantes y normal que rompió la probeta. La envolvente representa la ley de ruptura fig. IV.3

En general la ley de ruptura es una curva, si para simplicidad, se interpola una recta, la ecuación se expresa así:

$$\bar{\tau} = c + \sigma \tan \phi \quad (IV.1)$$

ya mencionada como ley de Coulomb.

El mismo proceso se puede seguir si en lugar de fijar σ_3 y llegar a la falla aumentando σ_1 ; se fijan σ_3 y σ_1 y posteriormente se disminuye σ_3 hasta que se rompa el espécimen.

De el diagrama de círculos de Mohr, se obtiene la cohesión c y el ángulo de fricción interna ϕ del material.

En el caso que se use la prueba rápida con deformación o esfuerzo-controlados y haciendo el esfuerzo $\sigma_3 = 0$ se tiene la llamada prueba de compresión simple.

IV.3 Prueba de compresión simple

La prueba consiste en aplicar una carga vertical a un espécimen cilíndrico y con ella llevarlo a la falla, sin proporcionarle ningún soporte lateral.

Tiene la ventaja de ser de fácil realización y de requerir equipo relativamente sencillo; es muy usada para estimar la cohesión del material en condiciones no drenadas. La prueba se realiza en suelos cohesivos ya que en suelos friccionantes el labrado de los especímenes suele ser difícil o imposible.

IV.4 Prueba de corte directo.

Se realiza en un aparato que consta de dos cajas abiertas una fija y otra móvil que contienen a la muestra de suelo. Dos piedras porosas una superior y otra inferior proporcionan drenaje libre a muestras saturadas, cuando se desee se substituyen por placas de confinamiento al probar muestras secas.

Para realizar la prueba se coloca el espécimen en la caja y se le

aplica una carga F_v que proporcione una presión vertical conocida - fig. IV.4. En seguida se aplica una fuerza horizontal F_h a la caja superior que se incrementa hasta que ocurre la falla del espécimen.

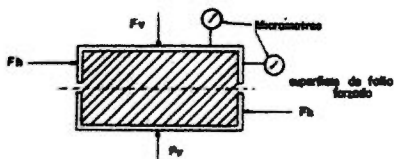


FIGURA IV.4

La prueba se puede realizar con esfuerzo controlado o con deformación controlada.

La deformación de la muestra es medida con micrómetros colocados tanto en dirección vertical como horizontal.

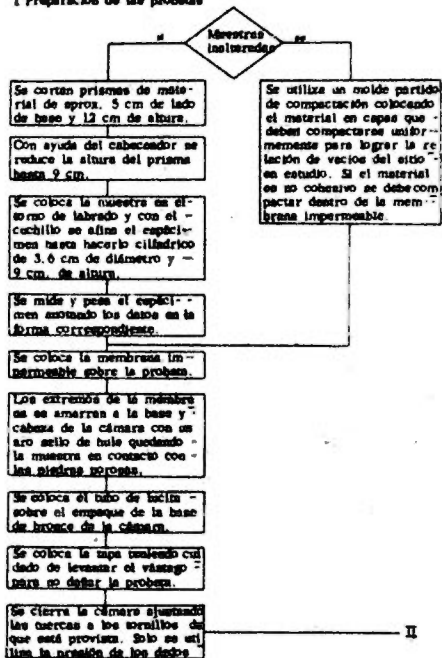
Se prueban a la falla un mínimo de 3 especímenes, bajo 3 diferentes presiones normales, para establecer la relación entre ésta y la resistencia al esfuerzo cortante.

Es posible realizar la prueba con distintas condiciones de drenaje durante las dos etapas. En la práctica debido a las dificultades involucradas en el control de drenaje la prueba consolidada drenada es la más utilizada; en ella se permite que el espécimen se consolide completamente bajo cada incremento de carga vertical y horizontal.

Durante el desarrollo de las pruebas de resistencia al esfuerzo constante se pueden llegar a cometer errores debidos a diversos factores. La experiencia y el cuidado que se tengan en la realización de la prueba ayudarán a evitarlos.

Pruebas triaxiales

I Preparación de las probetas



Pruebas Triaxiales

El Proceso de ensayo (sobrecarga controlada)

Prueba no consolidada-no drenada

Se coloca la cámara en el banco de consolidación

Se instala el micrómetro en posición vertical

Se llena de agua la cámara con presión conocida σ'_v

Se toma lectura inicial del micrómetro

Se colocan cargas sobre la muestra. Las incrementos se colocan con intervalos de 1 min.

El paso de cada incremento puede ser un décimo de la carga estimada en la falla

Al fallar el espécimen, se quita la presión de la cámara

Se desarma la cámara

Se hace un croquis de la prueba

Se pone la prueba en una cápsula y se pesa

Se coloca en el horno para obtener su peso seco

Prueba consolidada-no drenada

Se coloca la cámara en el banco de consolidación

Se instala el micrómetro en posición vertical

Se llena de agua la cámara con presión conocida σ'_v

Se toman lecturas iniciales de micrómetro y bureta

Se abren las llaves de control de flujo y se pone en marcha el cronómetro

Se toman lecturas de micrómetro y bureta en intervalos de tiempo

Se traza gráficas semilogarítmicas de lecturas de micrómetro y bureta con tres tiempos

Al finalizar la gráfica de consolidación se da por terminado el proceso bajo la presión σ'_v y se cierran las llaves de flujo

Prueba consolidada-drenada

Se coloca la cámara en el banco de consolidación

Se instala el micrómetro en posición vertical

Se llena de agua la cámara con presión conocida σ'_v

Se toman lecturas iniciales de micrómetro y bureta

Se abren las llaves de control de flujo y se pone en marcha el cronómetro

Se toman lecturas de micrómetro y bureta en intervalos de tiempo

Se traza gráficas semilogarítmicas de lecturas de micrómetro y bureta con tres tiempos

Al finalizar la gráfica de consolidación se da por terminado el proceso bajo la presión σ'_v

Con las llaves de control de flujo abiertas se aplica la primera carga vertical

Se lea el micrómetro y la bureta a intervalos de tiempo adecuados hasta que las lecturas sean constantes

Se aplican las siguientes cargas operando en igual forma

Pruebas triaxiales

II. Proceso de ensayo (deformación controlada)

Prueba no consolidada-no drenada

La cámara se coloca en el dispositivo de carga, centrando el vaso en el interior del marco.

Se coloca el micrómetro apoyado sobre el marco en posición vertical.

Se llena de agua la cámara con una presión σ_3 .

Una vez dada la presión lateral se ajusta el dispositivo de carga y se toma la lectura inicial del micrómetro.

Se pone en marcha el mecanismo de aplicación de carga. El ensayo desciende con velocidad constante comprimiendo el espécimen contra la platinaforma marcando las cargas que se están aplicando, se toman deformaciones y cargas.

Al finalizar la prueba se permite que el agua pase de la cámara al exterior.

Se desarma la cámara, se desliga el espécimen y se quita la muestra.

Se hace un dibujo de la probeta deformada.

Se coloca la probeta en una cápsula y se pesa.

Se coloca en el horno para obtener su peso seco.

Prueba consolidada - no drenada

Se coloca la cámara en el banco de consolidación.

Se coloca el micrómetro en posición vertical.

Se llena de agua la cámara con una presión σ_3 .

Se toman lecturas iniciales de micrómetro y bureta.

Se abren las llaves de control de flujo y se pone en marcha el cronómetro.

Se toman lecturas de micrómetro y bureta en diferentes tiempos.

Al definirse en las gráficas semi-logarítmicas de lecturas de micrómetro y bureta contra tiempo, la consolidación se da por terminando el proceso bajo presión σ_3 .

Se cierran las llaves de control de flujo y se coloca el pasador del visor para detenerlo.

Se abre la presión del sistema.

Se quita el micrómetro y se manobra del vaso de agua.

Se traslada la cámara al dispositivo de carga y se instala el micrómetro.

Se aplica una presión igual a la que se utilizó en la etapa de consolidación.

III. Pág. 96

NOTA. - La prueba lista es poco usada por este proceso.

Pruebas triaxiales

III Cálculo

Prueba no consolidada - no drenada

Con los datos iniciales se calcula el área media, volumen y peso volumétrico húmedo de la muestra.

Se determina el contenido de agua de la muestra.

Se obtienen el peso volumétrico seco, la relación de vacíos y el grado de saturación iniciales.

Se obtienen la deformación lateral, deformación unitaria y en base a ella el área corregida.

Se calcula el esfuerzo deviator.

Se traza los círculos de esfuerzos y la envolvente.

Se obtienen la cohesión y el ángulo de fricción interna.

fin

Prueba consolidada - no drenada

Con los datos iniciales se calcula la el área media, volumen y peso volumétrico húmedo de la muestra.

Se determinan los contenidos de agua inicial y final de la muestra.

Se obtiene el volumen de sólidos del material.

Se calcula volumen de vacíos, relación de vacíos y grado de saturación iniciales.

Se obtiene la variación total de volúmenes y el volumen corregido.

Se determinan volumen de vacíos, relación de vacíos y grado de saturación finales.

Se obtiene deformación en consolidación y la altura corregida.

Se calcula área inicial de ruptura.

Se obtienen las deformaciones lateral y unitaria y con ellas el área corregida.

Se obtiene el esfuerzo deviator.

Se traza los círculos de esfuerzos y la envolvente.

Se obtienen la cohesión y el ángulo de fricción interna.

fin

Comprimento simple

IV Preparación de las pruebas. - Similar al de las pruebas triaxiales en sus primeros 4 pasos.

V Proceso de ensayo

Estirado controlado

Se coloca el espécimen con su base y cabezal centrado bajo el marco de carga.

Se instala el micrómetro y se instala la lectura inicial.

Se aplica el primer incremento de carga y se pone en marcha el cronómetro, cada incremento de carga debe actuar durante 1 minuto.

La prueba se termina al medir la muestra una deformación unitaria del orden de 20% o antes si llega a la falla.

Al fallar la probeta se quita éste del aparato.

Se hace un dibujo de la muestra fallada.

Se coloca la probeta en un clipso se pesa y se coloca en el horno para obtener su peso seco.

VI pág. 98

Deformación controlada

Se coloca sobre el dispositivo de carga el espécimen con base y cabezal instalados.

Se centra el espécimen bajo el marco de carga.

Se instala el micrómetro y se instala la lectura inicial.

Se pone en marcha el mecanismo del dispositivo de carga. El marco desciende con velocidad constante comprimiendo al espécimen contra la planifera con la cual el dispositivo marcará las curvas obtenidas.

Se tienen listados a cada milímetros de deformación. Este proceso puede variar.

La prueba se termina al medir la muestra una deformación unitaria del orden del 20% o antes si llega a la falla.

Al fallar la probeta se quita éste del aparato.

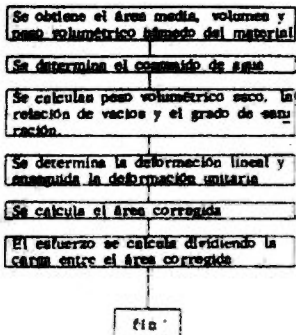
Se hace un dibujo de la muestra fallada.

Se coloca la probeta en un clipso se pesa y se coloca en el horno para obtener su peso seco.

VI pág. 98

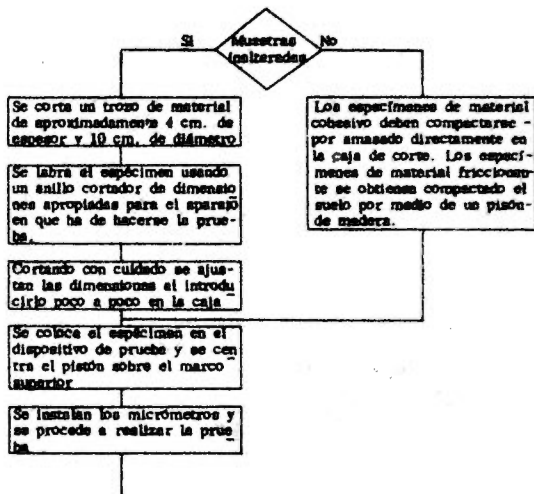
Compresión simple

VI Cálculo



Prueba de corte directo

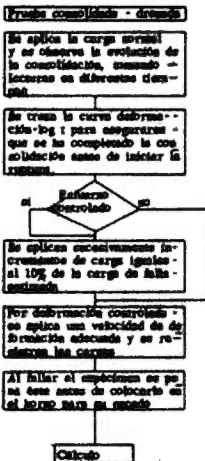
VII Preparación del espécimen



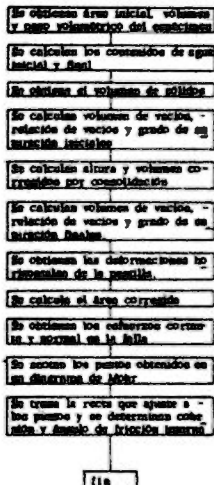
Prueba de corte directo

VIII Proceso de ensayo y cálculo

Proceso de ensayo



Cálculo



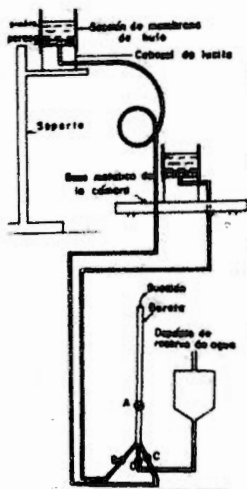


IV.5 Descripción de las pruebas triaxiales

IV.5.1 Equipo

- 1.- Dispositivo de transmisión de carga, y cámara triaxial para probetas de 3.6 cm. de diámetro y 9 cm. de altura.
- 2.- Cabecador de muestras, torno de labrado, cuchillos y sierra de alambre
- 3.- Membranas de hule, aro sellos de hule y dispositivo para colocar membranas.
- 4.- Cápsulas, balanza, micrómetro, placa de carga, balía, cronómetro verasier y molde partido de compactación.

IV. 6 Saturación del aparato



- 1.- Se desarma y limpia la cámara y todas sus líneas. Se cierran todas las válvulas.
- 2.- Se fija el cabezal de lucita interior a la cámara en un soporte. El cabezal se coloca invertido.
- 3.- Se coloca una sección corta de membrana de hule sobre la base y otra sobre el cabezal de lucita.
- 4.- Con agua se llenan esas secciones de membrana y también el depósito de agua.
- 5.- Se aplica una succión en el extremo superior de la bureta y se abren las válvulas A y B. Se mantiene la succión y se añade agua a la membrana de la base según se necesita, hasta que no se observan burbujas de aire en la línea. Se cierra la válvula B.
- 6.- Se repite la etapa 5 accionando ahora la válvula C en lugar de la B.

- 7.- Se llena bien el depósito de agua y -
se repite la etapa 5 accionando ahora
la válvula D

IV.7 Preparación de las probetas moldeadas.



- 1.- Se cortan prismas de material moldeado de 3 cm de lado de base y 12 cm. de altura.
- 2.- Con ayuda del cabeceador se reduce la altura del prisma a 9 cm.
- 3.- Se coloca la muestra en el torno de labrado y con un cuchillo o con el cortador de alambre, se afina el espécimen hasta su forma cilíndrica definitiva de aproximadamente 3.6 cm. de diámetro de base y 9 cm de altura.
- 4.- Se mide y se pesa el espécimen anotando los datos en el registro (ánimas IV.1)



5. - Dentro del dispositivo metálico de 4.5 cm. de diámetro y 9 cm. de altura, se coloca la membrana, doblando sus extremos hacia afuera y expandiéndola al crear un vacío entre membrana y cilindro.
6. - El conjunto se coloca sobre la probeta cubriéndola.
7. - Se suspende el vacío con lo que la membrana se adhiere en torno a la probeta. Se retira el cilindro.
8. - El extremo superior de la membrana se sujeta con un aro sello de tulle al cabezal.



9. - El extremo inferior de la membrana se amarra sobre la base de bronce de la cámara con el aro sello de hule quedando la muestra en contacto con la piedra porosa.

10. -Se coloca el tubo de lucita sobre el empaque de la base de bronce de la cámara. Se coloca la tapa, teniendo cuidado de levantar el vástago para no dañar la probeta.

11. -Se cierra la cámara ajustando las tuercas a los tornillos de que está provista. Solo se utiliza la presión de los dedos.

IV.8 Muestras alteradas.

Puede obtenerse un espécimen de material alterado de una prueba de compactación y labrar las probetas como se hace con los materiales insaturados. Si esto no es posible, se utiliza un molde partido de compactación para producir probetas con el contenido de agua y el peso volumétrico deseados, generalmente con los valores que proporcione la prueba protector. La forma de compactar así como el número de capas y los golpes por capa, deben de terminarse previamente dependiendo del tipo de material.

Una vez obtenidas las probetas, se siguen los pasos descritos para las muestras insaturadas de IV.7.4 a IV.7.11

IV.9 Proceso de ensayo

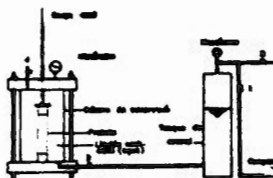
La ruptura del espécimen puede llevarse a cabo con aplicación directa de carga (esfuerzo controlado) o con dispositivo de carga (deformación controlada). En la prueba consolidada-drenada (lenta) generalmente se emplea el método de esfuerzo controlado.

IV.10 Método de esfuerzo controlado

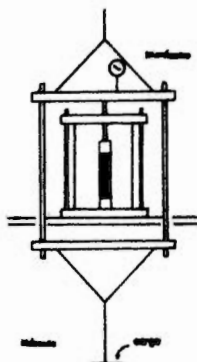
A) Prueba no consolidada - no drenada



- 1.- Se coloca la cámara en el banco de consolidación y se pone el micrómetro en posición vertical.



- 2.- Se llena de agua la cámara como el gas: con la válvula 2 cerrada, se abre la llave 1 y se permite que el agua pase a la cámara abriendo las llaves 3 y 4. Al ocurrir el agua por la llave 4 se cierra ésta. Cuando se da la presión requerida se cierra la llave 1.



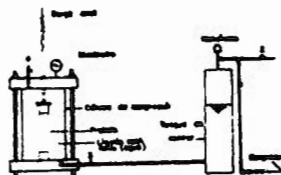
- 3.- Se toma lectura inicial de micrómetro y se anota (véase Método IV.1)
- 4.- Se colocan cargas sobre la muestra colocando los incrementos con intervalo de 1 minuto.
- 5.- El peso de cada incremento puede ser un décimo de la carga estimada de falla estimada. En ocasiones es deseable disminuir los incrementos de carga a la mitad cerca de la falla; en este caso los intervalos se reducen también a la mitad.
- 6.- Después de la falla del espécimen cesa el proceso de incrementar cargas, se quita la presión de la cámara, se retiran los pesos y el micrómetro.
- 7.- Se desarma la cámara
- 8.- Se hace un croquis de la probeta después de la falla; se pasa la probeta y se mete al horno para determinar su peso seco.

B) Prueba consolidada - en drenaje

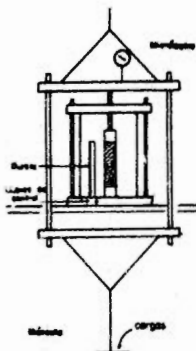
a) Etapa de consolidación.



- 1.- Se coloca la cámara en el banco de consolidación y se pone el micrómetro en posición vertical.



- 2.- Se llena de agua la cámara como sigue: con la válvula 2 cerrada, se abre la llave 1 y se permite que el agua pase a la cámara abriendo las llaves 3 y 4. Al escurrir el agua por la llave 4, se cierra ésta. Cuando se da la presión requerida se cierra la llave 1.



3. - Se toman las lecturas iniciales de micrómetro y bureta. Se abren las llaves de control de flujo instaladas en la cámara y al mismo tiempo se pone en marcha el cronómetro, tomando una serie de lecturas de micrómetro y bureta en intervalos de tiempo adecuados.

4. - Se trazan gráficas semilogarítmicas de lecturas de micrómetro y bureta contra tiempos originados por el proceso de consolidación.

5. - Cuando se ha definido el 100% de consolidación, se cierran las llaves de control de flujo.

b) Etapa de carga axial hasta la falla

Se siguen los pasos descritos para la prueba de no consolidada - no drenada en el método de esfuerzo controlado IV.10.A.3 a IV.10.A.8

c) Prueba de consolidación - drenada

a) Etapa de consolidación

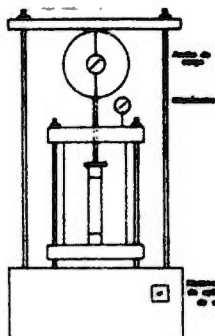
Se siguen los pasos IV.10.B.a.1 al IV.10.B.a.5

b) Etapa de carga axial hasta la falla

- 1.- Con las llaves de control de flujo -- abiertas se aplica la primera carga axial y se lee el micrómetro y la -- bureta a intervalos de tiempo conocidos, hasta que las variaciones volumétricas y las deformaciones sean prácticamente nulas.
- 2.- Se aplican sucesivamente la segunda, tercera y demás cargas, operando en igual forma. La magnitud de los incrementos varía a lo largo de la prueba, los iniciales son del orden de un décimo de la carga prevista para la falla.
- 3.- Los incrementos finales pueden reducirse a la mitad y quizá hasta una cuarta parte del valor antes mencionando.
- 4.- Al fallar el espécimen se desarma la cámara.
- 5.- Se hace un croquis de la probeta, se coloca en una cápsula, se pesa y se introduce al horno para obtener su --

peso seco.

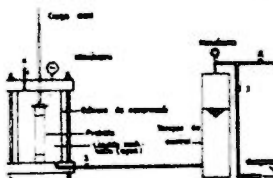
Las operaciones antes descritas se siguen para cada una de las probetas que se ensayan para definir la envolvente de Mohr



IV.11 Deformación controlada

A) Prueba no controlada - no drenada

- 1.- La cámara se coloca en el dispositivo de carga, centrando el vástago en el hueco del marco de carga. Se hace bajar el marco hasta casi el punto de hacer contacto.
- 2.- Se coloca el micrómetro apoyado sobre el marco en posición vertical.



- 3.- Se llena la cámara de agua como sigue: con la válvula 2 cerrada se abre la llave 1 y se permite que el agua pase a la cámara abriendo las llaves 3 y 4. Cuando el agua escurre por la llave 4 se cierra ésta. Al lograr la presión requerida se cierra la llave 1.

- 4.- Una vez dada la presión lateral, se ajusta el dispositivo de carga, y se toma lectura inicial del micrómetro.

5. - Se pone en marcha el mecanismo de aplicación de carga. El marco desciende con una velocidad uniforme comprimiendo al espécimen contra la plataforma, marcando el dispositivo las cargas que se están aplicando.
6. - La velocidad de deformación suele ser de 1 mm/mm, sin embargo se pueden aplicar velocidades menores. Se pueden tomar lecturas a cada 0.5-mm. de deformación, aunque puede variar la frecuencia de acuerdo con la mayor o menor rigidez del espécimen.
7. - Por lo general la falla del espécimen está señalada por un regreso en la aguja de la carátula del dispositivo de carga.
8. - Se abren las llaves 3 y 4 permitiendo que pase el agua de la cámara al tanque. Se desarma la cámara, se desliza el espécimen de las bases y se quita la membrana.



- 9.- Se hace un dibujo de la probeta en la falla, colocándola posteriormente en una cápsula y se pesa antes de introducirse al horno para su secado.

B) Prueba consolidada - no drenada

a) Etapa de consolidación

- 1.- Se siguen los 5 pasos descritos para la prueba consolidada - no drenada - método esfuerzo controlado IV.10.B.a.1 a IV.10.B.a.5
- 2.- Se cierra la llave 3, se coloca el pasador para disminuir el vácuo y se quita el micrómetro.
- 3.- Se abaja la presión del sistema, y se desconecta la manguera que viene del tanque de agua.
- 4.- Se traslada la cámara al dispositivo de carga, se coloca el micrómetro y se aplica una presión igual a la que se usó en la etapa de consolidación.

b) Etapa de carga hasta la falla

Se sigue el mismo procedimiento descrito
para la prueba no consolidada no drenada

IV.11 A.4 al IV.11 A.9

IV. 12 Cálculos pruebas triaxiales

A) Prueba no consolidada - no drenada. (Módulo IV.1)

1. - Con las áreas iniciales, se calcula el área media A_m como el

que:

$$A_m = \frac{10.75 + 4(10.75) + 10.46}{6} = 10.70 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

donde:

A_s = área superior

A_c = área central

A_i = área inferior

2. - Se obtiene el volumen V_t y el peso volumétrico γ_m como sigue:

$$V_t = 10.70 (8.90) = 95.23 \text{ cm}^3$$

$$V_t = A_m H_m$$

donde H_m = altura de la muestra

$$\gamma_m = \frac{131.70}{95.23} = 1.38 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_m = \frac{W_i}{V_t}$$

donde W_i = peso inicial de la probeta

3. - Se obtiene la deformación lineal

$$\epsilon = 9.50 - 9.00 = 0.50 \text{ mm.}$$

ϵ del material restando a la lectura inicial del micrómetro las lecturas subsiguientes.

- 4.- La deformación unitaria ϵ se obtiene como sigue:

$$\epsilon = \frac{2.5}{89} = 0.028$$

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

- 5.- El área corregida A_c se obtiene:

$$A_c = \frac{10.70}{0.961} = 11.13 \text{ cm}^2$$

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$$

- 6.- El esfuerzo desviador $\sigma_1 - \sigma_3$ se calcula:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{9.0}{11.13} = 0.809 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A_c}$$

donde P = carga actuante

- 7.- El contenido de agua w se obtiene:

$$w = \frac{65.03}{66.57} \times 100 = 98\%$$

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

donde:

W_w = peso del agua

W_s = peso de los sólidos

- 8.- Se traza el círculo de esfuerzos utilizando los valores de $\sigma_1 - \sigma_3$ en la falla. Como se realizan varias pruebas, se traza la envolvente a los diversos círculos de Mohr obtenidos, uno por prueba. (lámina IV.2).

$$c = 3.9 \text{ ton/m}^2 \quad \phi = 2^\circ$$

- 9.- Se determina la cohesión c (ordenada al origen de la envolvente) y el ángulo de fricción interna ϕ (ángulo que forma la envolvente con la horizontal).

- 10.- Con el peso específico de sólidos S_s , se calcula el peso volumétrico seco γ_d . La relación de vacíos e y el grado de saturación G_w como sigue:

$$\gamma_d = \frac{1.38}{1.98} = 0.70 \text{ ton/m}^3$$

$$e = \frac{2.38}{0.70} - 1 = 2.40$$

$$G_w = \frac{2.38(0.98)}{2.40} = 97\%$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$$

$$e = \frac{S_u}{\gamma_d} - 1$$

$$G_w = \frac{S_u w}{e}$$

B) Prueba consolidada - no drenada (láminas IV.3)

- Am = 9.96 cm² Vi = 88.80 cm³ 1.- Se obtienen área media Am, volumen Vi y peso volumétrico húmedo γ_m como en IV.12.A.1. y IV.12.A.2

$$\gamma_m = 1.29 \text{ ton/m}^3$$

- 2.- Se determinan contenidos de agua inicial y final como sigue:

$$Wl = \frac{70.92}{43.78} \times 100 = 162\%$$

$$Wf = \frac{32.70}{43.78} \times 100 = 120\%$$

$$Wl = \frac{Wwl}{Ws} \times 100$$

$$Wf = \frac{Wwf}{Ws} \times 100$$

donde:

w = contenido de agua

Ww = peso del agua

Ws = peso de sólidos

- 3.- Con el peso específico de sólidos S_s , y el peso de sólidos se determina el volumen de sólidos V_s

$$V_s = \frac{43.78}{2.19} = 19.99 \text{ cm}^3$$

$$V_s = \frac{W_s}{S_s}$$

- 4.- Se calculan volumen de vacíos inicial V_{vi} , relación de vacíos inicial e_i y grado de saturación inicial G_{wi} como sigue:

$$V_{vi} = 88.80 - 19.99 = 68.61 \text{ cm}^3$$

$$V_{vi} = V_l - V_s$$

$$e_i = \frac{68.61}{19.99} = 3.442$$

$$e_i = \frac{V_{vi}}{V_s}$$

$$G_{wi} = \frac{70.92}{68.61} = 103\%$$

$$G_{wi} = \frac{W_{wi}}{V_{vi}}$$

- 5.- La variación total de volumen

ΔV se obtiene como sigue:

$$\Delta V = \left(\frac{162.120}{100} \right) 43.78 = 18.39 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \left(\frac{w_l - w_f}{100} \right) \frac{W_s}{S_s}$$

- 6.- El volumen corregido V_c se obtiene:

$$V_c = 88.80 - 18.39 = 70.41 \text{ cm}^3$$

$$V_c = V_1 - \Delta V$$

- 7.- El volumen de vacíos final V_{vf} es:

$$V_{vf} = 70.41 - 19.99 = 50.42 \text{ cm}^3$$

$$V_{vf} = V_c - V_s$$

- 8.- Se determina relación de vacíos final e_f y grado de saturación final G_{sf}

$$e_f = \frac{50.42}{19.99} = 2.522$$

$$e_f = \frac{V_{vf}}{V_s}$$

$$G_{sf} = \frac{52.70}{50.42} = 104\%$$

$$G_{sf} = \frac{W_{vf}}{V_{vf}}$$

- 9.- En la etapa de ruptura se determina la altura corregida restando a la altura inicial la deformación de la probeta en la etapa de consolidación.

$$H_c = 89.20 - 8.915 = 80.31 \text{ mm.}$$

$$H_c = H_m - \text{def. cons.}$$

- 10.- El área inicial de ruptura $A_{i \text{ rup}}$ es:

$$A_{i \text{ rup}} = \frac{70.41}{8.031} = 8.77 \text{ cm}^2$$

$$A_{i \text{ rup}} = \frac{V_c}{H_c}$$

- 11.- Se obtiene la deformación unitaria ϵ

$$\epsilon = \frac{4.5}{80.31} = 0.056$$

$$\epsilon = \frac{f}{H_c}$$

donde δ = deformación lineal

12. - Se determina el área corregida

de ruptura $A_{c \text{ rup}}$ como sigue:

$$A_{c \text{ rup}} = \frac{8.77}{0.944} = 9.29 \text{ cm}^2$$

$$A_{c \text{ rup}} = \frac{A_{i \text{ rup}}}{1 - \epsilon}$$

13. - El esfuerzo desviador $\sigma_1 - \sigma_3$

se obtiene como sigue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{4.5}{9.29} = 0.484 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A_{c \text{ rup}}}$$

donde P = carga.

$$c = 0.5 \text{ Ton/cm}^2 \quad \phi = 16.5^\circ$$

14. - Se dibujan los círculos de Mohr, se traza la envolvente y se obtienen la cohesión c y el ángulo de fricción interna ϕ (láminas IV. 4)

c) Prueba consolidada - drenada

El cálculo de la prueba es semejante

al descrito para la prueba consolidada

de - no drenada IV.12.B.1 a - -

IV.12.B.14.

FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
TRIAXIAL RAPIDA

OBRA Puente de Contadores,
LOCALIZACION 0+150.00 BORDO No 2
MUESTRA No 5 PROF 4.00 - 5.00 m
DESCRIPCION ARCILLA LIMSA GRIS VERDEA.
FECHA 3-2-75 OPERADOR A.V.B CALCULO A. López.

MEDIDAS DE LA MUESTRA									
$D_1 =$	3.70	cm	$A_1 =$	10.75	cm ²	$V_1 =$	133.70	cc	
$D_2 =$	3.70	cm	$A_2 =$	10.75	cm ²	$V_2 =$	95.23	cc	
$D_3 =$	3.70	cm	$A_3 =$	10.44	cm ²	$V_3 =$	1.30	cc	
$D_4 =$	8.50	cm	$A_4 =$	$A_1 + A_2 + A_3$	64.22	cm ²	10.70	cc	
VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA <u>1 mm/min</u> $\dot{\epsilon}_c =$ <u>0.5</u> Kg/cm^2									
TIEMPO SEGUNDAS	CARGA Kg	DEFORMACION mm	DEFORMACION CON VOLUMEN mm	DEFORMACION VOLUMEN mm	L-CARGA ANILLO mm	DEFORMACION ANILLO mm	DEFORMACION ANILLO mm	DEFORMACION ANILLO mm	DEFORMACION ANILLO mm
0	0	0	0						
0.5	1.6	0.50	0.5						
1.0	3.6	1.00	1.0						
1.5	5.6	1.50	1.5						
2.0	7.6	2.00	2.0						
2.5	8.0	2.50							
3.0	8.6	3.00							
3.5	9.0	3.50	3.5	0.039	0.961	11.13	0.805		
4.0	8.8								
									$\sigma_c = 2.38$
									$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L_0}$
									$\gamma_c = 0.70$
									$\sigma_1 = \frac{1}{\epsilon_1}$
									$\sigma_2 = 2.40$
									$\sigma_3 = \frac{1}{\epsilon_3}$
									$\sigma_4 = 97\%$

DEFORMACION UNITARIA EN mm/mm

NOTA: AREA CORONA = $\frac{A_4}{1000 \text{ cm}^2}$

SECCION DE LA MUESTRA EN LA CARGA

OBSERVACIONES _____ LAMINA IV 1

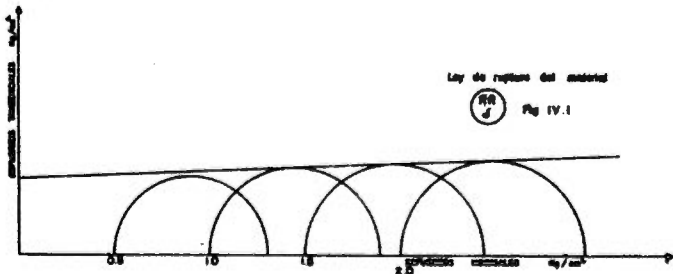
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
TRIAXIAL NO CONSOLIDADA NO DRENADA

OBRA Puerto Casagrande LOCALIZACION Q. 1150.0
SONDEO No 2 MUESTRA No 8 PROF 40 - 50 m
DESCRIPCION Arroz arena gris rojiza
FECHA 3 - II - 75 OPERADOR A. Valdivia CALCULO A. Linares

Prueba No	w %	γ_d T/m ³	e	G _s %	ρ_s kg/m ³	G - G _s kg/m ³	σ_v T/m ²	PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL EMP. CONT.
1	98	0.70	2.40	97	0.9	0.609	1.38	$\phi = 2^\circ$ C = 3.9 T/m ²
2	98	0.60	2.48	95	1.0	0.688	1.57	
3	98	0.70	2.40	98	1.2	0.914	1.38	
4	97	0.71	2.39	99	2.0	0.970	1.38	

ESCALA 1 cm = 0.15 kg/cm²

E_s = 2.36



LAMINA IV 2

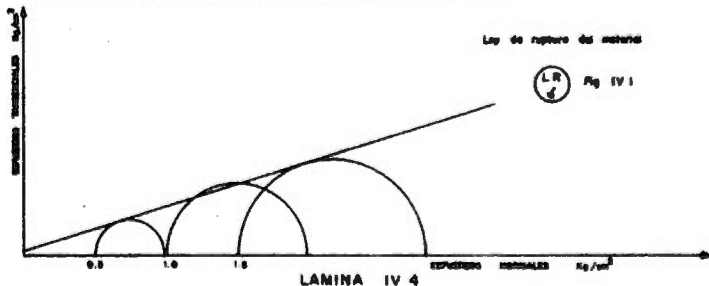
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
TRIAIXAL CONSOLIDADA NO DRENADA

OBRA Activ. Carretera LOCALIZACION 11.844
SONDEO No 5 MUESTRA No 3 PROF 3.0 - 4.0 m.
DESCRIPCION Arcilla gris rojiza
FECHA 7-V-78 OPERADOR Felipe L6pez L. CALCULO A. L6pez M6ndez

PRUEBA No	wl %	wl %	σ_1	σ_3	σ_{v1} %	σ_{v3} %	σ_1 kg/cm^2	σ_3 kg/cm^2	$\sigma_1 - \sigma_3$ T/m^2	PARAMETROS DE RESISTENCIA A ESP. CERT.
1	108	100	3.448	2.928	105	104	0.5	0.484	1.29	$\phi = 10.5^\circ$ $C = 0.0 \text{ T/m}^2$
2	178	108	3.940	2.320	97	100	1.0	0.903	1.22	
3	108	90	8.000	1.750	101	101	1.5	1.310	1.87	

RESERVA L6pez S. E. Sp. A. S.

En: 2-78



IV. 13 Posibles errores en las pruebas triaxiales.

- 1.- Incorrecta medición del espécimen.
- 2.- Especimen mal cabecado dando lecturas erróneas.
- 3.- Permeabilidad en la membrana y fugas en conexiones de drenaje.
- 4.- Fricción del vástago
- 5.- Remoldeo del material durante la preparación de las probetas.
- 6.- Mala determinación de los esfuerzos y las deformaciones.

IV.14 Descripción de la prueba de compresión simple.

IV.14.1 Equipo

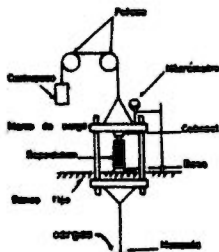
Es el mismo descrito en los puntos IV.3.1.1., IV.3.1.2 y IV.3.1.4 del equipo para la prueba triaxial.

IV.15 Preparación de los especímenes.

Se siguen los 3 primeros pasos del proceso descrito para la prueba triaxial IV.7.1 a IV.7.5

IV.16 Procedimiento de prueba con aplicación directa de carga - (esfuerzo controlado)

- 1.- Se coloca el espécimen con su base y cabezal instalados, centrados bajo el marco de carga.
- 2.- Debe existir buen contacto entre el espécimen y el marco de carga a través del balín y placa del cabezal.
- 3.- Se coloca el micrómetro y se anota la lectura inicial (lámina IV.5).



- 4.- Se pone en marcha el cronómetro y se aplica la carga. Antes de aplicar el siguiente incremento de carga, se toma la lectura del micrómetro; cada incremento debe actuar durante 1 min.
- 5.- Al fallar la probeta se quita la muestra del aparato.
- 6.- Se dibuja la falla de la probeta en una cápsula, se pesa y se coloca en el horno para obtener su peso seco.

IV.17 Proceso de prueba con deformación controlada.

- 1.- Se coloca sobre el dispositivo de carga el espécimen con su base y cabezal instalados.
- 2.- Se centra el espécimen bajo el marco móvil, se acciona el dispositivo hasta lograr contacto con el cabezal a través del balín.
- 3.- Se instala el micrómetro y se toma la lectura inicial.

- 4.- Se pone en marcha el mecanismo del dispositivo de carga. El marco desciende con una velocidad constante comprimiendo al espécimen contra la plataforma con lo cual el dispositivo marcará las cargas aplicadas.
- 5.- Se toman lecturas de carga a cada milímetro de deformación. Esta frecuencia puede variar de acuerdo con la mayor o menor rigidez del espécimen. La velocidad de deformación común es de 1 mm/min sin embargo se puedan practicar velocidades mayores o menores.
- 6.- Por lo general la falla del espécimen está señalada por un resaca en la aguja de la carátula del dispositivo de carga.
- 7.- Al fallar la probeta se hace un croquis de ésta.
- 8.- Se coloca la probeta en una cápsula, se pesa y se coloca en el

horno para su secado.

IV. 18 Cálculo de la prueba de compresión simple. (lámina IV.5)

- 1.- Con las áreas iniciales se calcula el área media A_m como sigue:

$$A_m = \frac{10.17 + 49.09 + 9.09}{6} = 9.94 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

donde:

A_s = área superior

A_c = área central

A_i = área inferior

- 2.- Se obtienen el volumen V y el peso volumétrico húmedo γ_m como sigue:

$$V = 9.94 (8.30) = 84.49 \text{ cm}^3$$

$$V = A_m H_m$$

donde H_m = altura de la muestra

$$\gamma_m = \frac{158.50}{84.49} = 1.88 \text{ TON/m}^3$$

$$\gamma_m = \frac{W_i}{V}$$

donde W_i = peso de la probeta

- 3.- Se determina la deformación lineal ϵ restando a la lectura inicial del micrómetro las lecturas subsecuentes ϵ

$$\epsilon = 8.30 - 8.00 = 0.30$$

$$\epsilon = \frac{3.5}{85} = 0.041$$

$$A_c = \frac{9.94}{0.959} = 10.36 \text{ cm}^2$$

$$E = \frac{5.6}{10.36} = 0.540 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = \frac{44.0}{114.3} \times 100 = 38\%$$

4.- La deformación unitaria ϵ se obtiene

$$\epsilon = \frac{\delta}{H_m}$$

5.- El área corregida A_c se obtiene así:

$$A_c = \frac{A_m}{1 - \epsilon}$$

6.- El esfuerzo E se obtiene dividiendo la carga P entre el área corregida

$$E = \frac{P}{A_c}$$

7.- Se determina el contenido de agua w como sigue:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

donde:

W_w = peso del agua

W_s = peso de los sólidos

8.- Con el peso específico de sólidos S_s se determina peso volumétrico seco $\bar{\gamma}_d$, relación de vacíos e y grado de saturación G_w como sigue:

$$\gamma_d = \frac{1.88}{1.38} = 1.362 \text{ Ton/m}^3$$

$$\gamma_d = \frac{w}{1+w}$$

$$e = \frac{2.68}{1.362} - 1 = 0.968$$

$$e = \frac{w}{\gamma_d} - 1$$

$$Ow = \frac{2.68 (0.38)}{0.968} \times 100 = 100\%$$

$$Ow = \frac{w}{e} \times 100$$

IV.19 Posibles errores

- 1.- Incorrecta medición del espécimen.
- 2.- Mal cabecado del espécimen
- 3.- Grietas o fisuras en el espécimen.
- 4.- Mala determinación de esfuerzos y deformaciones.



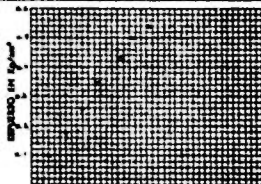
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
COMPRESION SIMPLE

OBRA Martina Hestradin
LOCALIZACION SCHMIDT BONDING No 1
MUESTRA No 3 PROF 2.00 - 2.70 m
DESCRIPCION Arilla fina
FECHA 18-11-79 OPERADOR Vahima CALDAS A. LÓPEZ

MEDIDAS DE LA MUESTRA
D₁ = 3.60 cm. A₁ = 10.17 cm² W₁ = 156.50 gr.
D₂ = 3.45 cm. A₂ = 9.89 cm² W₂ = 84.09 gr.
D₃ = 3.35 cm. A₃ = 9.89 cm² W₃ = 1.88 Ton/cm²
D₄ = 3.30 cm. A₄ = 9.89 cm² W₄ = 50.82 Ton/cm²
D₅ = 3.30 cm. A₅ = 9.89 cm² W₅ = 9.54 Ton/cm²

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA 1 mm/min

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION MEDIO	DEFORMACION CON TOL.	DEFORMACION MEDIO	DEFORMACION MEDIO	AREA ORIGINAL	DEFORMACION	DEFORMACION DE AGUA
min	kg	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/cm ²	
0	0	0.50	0					CARGA INICIAL 833
	1.0	0.50	0.5					PESO CAP + AA 180.50
1	1.8	7.50	1.0					PESO CAP + AA 136.50
	2.6	7.00						PESO AGUA 44.0
2	3.0	6.50	2.0					PESO CAPSULA 22.0
	4.4	6.00						PESO BOLA DECO 114.5
3	5.2	5.50	3.0					W % 30
	5.6	5.00	3.5	0.041	0.959	10.36	0.540	
4	5.6	4.50						
								De = 0.56
								Te = $\frac{X}{Y}$
								Ye = 1.362
								e = $\frac{X}{Y}$
								e = 0.908
								e = $\frac{X}{Y}$
								e = 100%



DEFORMACION UNIFORME EN %

NOTA: AREA ORIGINAL = $\frac{W_1}{W_2} \times \frac{D_1^2}{D_2^2}$
ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA CELA



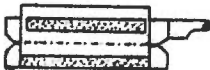
OBSERVACIONES

LAMINA IV.5

IV.20 Descripción de la prueba de -
corte directo consolidada - dre
nada.

IV.20.1 Equipo

1.- Aparato de prueba directo. Cons-
 ta de dos marcos: el inferior fi
 jo y el superior móvil, ambos -
 contienen a la muestra de suelo.
 Dos piedras porosas una supe- -
 rior y otra inferior proporcio- -
 nan drenaje libre a muestras es
 turadas. La parte móvil tiene -
 un edicamento por medio del -
 cual es posible aplicar una fuer-
 za rasante que provoca la falla
 del espécimen.



2.- Balanza, cronómetro, cuchillos -
 y seguetas para el labrado del -
 espécimen, anillo, cápsulas y -
 micrómetro.

IV.21 Preparación del espécimen -
 con muestras inalteradas.

1.- Se corta una muestra de aproxi-
 madamente 4 cm. de espesor y

10 cm. de diámetro.

2. - Se labra el espécimen, usando el anillo de dimensiones apropiadas para el espacio en que ha de hacerse la prueba.

3. - Se pesa la muestra, se mide la altura y se determina el área. Los datos se anotan en el registro (Módulo IV.6)

4. - Se coloca el espécimen en el dispositivo de carga y se centra el pistón sobre el marco superior.

5. - Se instalan los micrómetros.



IV.22 Preparación del espécimen - - con muestras compactadas.

Los especímenes de material cohesivo deben compactarse por amasado, directamente en la caja de corus.

Los especímenes de material friccionante se obtienen compactando el - - suelo seco por medio de un plato - de madera.

Una vez obtenida la pastilla se ejecuta los pasos descritos en IV.21.3 a IV.21.5

IV.23 Proceso de ensaye

a) Etapa de consolidación



- 1.- Se aplica la carga normal que - produce la presión σ' y se observa la evolución de la consolidación, tomando lecturas en intervalos de tiempo adecuados.

- 2.- Se traza la curva deformación - log t para asegurarse que se ha completado la consolidación primaria bajo σ' antes de suspender la etapa de falla.

b) Etapa de falla con esfuerzo controlado.



- 1.- Se colocan cargas sobre la sofa sofa colocando los incrementos con intervalos de 1 minuto.
- 2.- Se aplican sucesivamente incrementos iguales al 10% de la carga carga de falla estimada. Al aproximarse a la falla los incrementos pueden reducirse a la mitad o a la cuarta parte de su valor inicial.
- 3.- Al terminar la prueba se coloca el espécimen en una cápsula, se pesa y se pone en el horno para obtener su peso seco.

IV.2.4 Cálculo prueba de corte di - recto. (Módulo IV.6)

$$A = 63.62 \text{ cm}^2 \quad V = 38.17 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_m = 1.56 \text{ Ton/m}^3$$

1.- Se calculan área A, volumen V,
y peso volumétrico γ_m de la
muestra

2.- Se calculan los contenidos de
agua w inicial y final como sigue:

$$w_i = \frac{24.70}{34.88} \times 100 = 71\%$$

$$w_i = \frac{W_{wi}}{W_s} \times 100$$

$$w_f = \frac{23.90}{34.88} \times 100 = 67\%$$

$$w_f = \frac{W_{wf}}{W_s} \times 100$$

donde:

W_w = peso del agua

W_s = peso de los sólidos.

3.- Se obtiene el volumen de sólidos
 V_s

$$V_s = \frac{34.88}{2.48} = 14.05 \text{ cm}^3$$

$$V_s = \frac{W_s}{S_s}$$

donde S_s = peso específico de sólidos.

4.- Se calculan el volumen de va-
cios inicial V_{vi} , la relación de
vacíos inicial e_i y el grado de
saturación inicial G_{wi} como si-
gue:

$$V_{v1} = 38.17 - 14.05 = 24.12 \text{ cm}^3$$

$$e_1 = \frac{24.12}{14.05} = 1.720$$

$$G_{w1} = \frac{24.70}{24.12} \times 100 = 102\%$$

$$V_{v1} = V_1 - V_s$$

$$e_1 = \frac{V_{v1}}{V_s}$$

$$G_{w1} = \frac{W_{w1}}{V_{v1}} \times 100$$

5.- La altura corregida H_c después de consolidación es

$$H_c = 6.0 - 0.2 = 5.8 \text{ mm.}$$

$$H_c = H_1 - \text{def. cons.}$$

6.- El volumen corregido V_c es:

$$V_c = 68.62 (0.58) = 36.90 \text{ cm}^3$$

$$V_c = A H_c$$

donde A = área de la pastilla

7.- Se determinan volumen de va-

cios final V_{v2} , relación de va-
cíos final e_2 , y el grado de sa-
turación G_{w2} como sigue:

$$V_{v2} = 36.90 - 14.05 = 22.85 \text{ cm}^3$$

$$e_2 = \frac{22.85}{14.05} = 1.632$$

$$G_{w2} = \frac{23.50}{22.85} \times 100 = 103\%$$

$$V_{v2} = V_c - V_s$$

$$e_2 = \frac{V_{v2}}{V_s}$$

$$G_{w2} = \frac{W_{w2}}{V_{v2}} \times 100$$

8.- Se calcula el valor de los es-

trésos normal $\bar{\sigma}$ y cortante $\bar{\tau}$
en el plano de falla

$$\sigma = \frac{15.495}{61.75} = 0.251 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma} = \frac{7.372}{61.75} = 0.1226 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A_c}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{F_t}{A_c}$$

donde:

F_n = fuerza normal aplicada

F_t = fuerza tangencial aplicada

A_c = área corregida por el desplazamiento horizontal del marco superior.

Para una caja de corte circular, el área corregida se calcula:

$$A_c = r^2 \left(2 \sin \cos \frac{A}{2r} - \sin A \cos \frac{A}{2r} \right)$$

donde:

A = desplazamiento horizontal

r = radio de la pastilla

- 9.- Se anota el punto obtenido en un diagrama de Mohr (abscisas σ y ordenadas $\bar{\sigma}$) líneas IV.7
- 10.- La prueba se realiza con varios especímenes en iguales condiciones pero bajo distinta presión

$$c = 0.2 \text{ Ton/m}^2 \quad \phi = 22.30$$

normal. Se traza la recta que mejor se ajuste a los puntos obtenidos. Se obtiene la cohesión c y el ángulo de fricción ϕ del material en esas condiciones.

IV.25 Posibles errores

1. - Deslizamiento entre piedras porosas y espécimen
2. - Incorrecta medición de la carga
3. - Remojado excesivo de la muestra
4. - Fricción entre las aristas de las cajas.

22

$\rho = 9.00 \text{ cm}^3$ $V = 28.17 \text{ cm}^3$
 $A = 63.62 \text{ cm}^2$ $B = 2.48$
 $H = 0.60 \text{ cm}$ $A_s = \left(\frac{2 \times 28.17}{\rho} - \frac{A}{H} \right)$

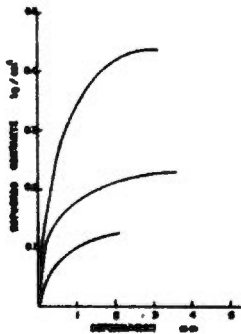
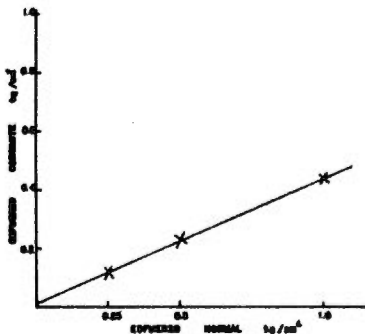
ETAPA DE CONSOLIDAÇÃO				ETAPA DE FALLA				
Prof. Meters	Tempo (minutos)	Lectura do micrometro	Inc. de carga por	Carga por total	Lectura do micrometro	Deformação	Tempo cons. gado	Esforço unitário
	m	mm	kg	kg	mm	mm	mm	kg/cm ²
5-11-78	0	16.330	0	0	13.650	0	63.62	0
9.00	0	16.140	1.231	1.231	13.660	0.010	63.66	0.0193
	10	16.135	1.265	2.496	13.720	0.070	63.55	0.0392
	15	16.130	1.277	3.773	13.820	0.170	63.45	0.0594
4.20	20	16.130	1.269	5.041	14.140	0.490	63.15	0.0795
			1.265	6.306	14.500	0.850	62.85	0.1003
	desl = 0.200		1.266	7.572	15.200	1.550	62.20	0.1217
					15.700	2.050	61.75	0.1238

CONTINGENTES DE ÁGUA	
INICIAL	FINAL
W ₁ = 153.20	W ₂ = 152.00
W ₁ = 128.50	W ₂ = 128.50
W ₃ = 24.70	W ₄ = 23.50
W ₅ = 95.66	W ₆ = 95.86
W ₇ = 54.84	W ₈ = 54.84
W ₉ = 70.9	W ₁₀ = 67.4

$\gamma_m = 1.56 \text{ Ton/m}^3$ $\gamma_s = \gamma - \text{desl} = 6 - 0.2 = 5.8$
 $\gamma_s = \frac{W_5}{V_s} = \frac{14.05 \text{ cm}^3}{V_s} = 36.90 \text{ cm}^3$
 $V_s = V - W_5 = 24.12 \text{ cm}^3$ $\gamma_s = \frac{W_6 - W_5}{V_s} = \frac{22.85 \text{ cm}^3}{24.12 \text{ cm}^3} = 1.632$
 $G = \frac{W_6}{W_5} = \frac{1.730}{1.632} = 1.060$ $G = \frac{W_7}{W_6} = \frac{1.037}{1.060} = 0.978$

CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

PROBETA	w_l	v_l	e_l	$\bar{e}_l$	σ_l	$\bar{\sigma}_l$	σ'	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}$	Producción de muestra en el ensayo
No	%	%			%	%	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
1	71	67	1.780	1.528	1.02	1.02	0.20	0.150	1.50	$\phi' = 23.5^\circ$ $C = 0.3 \text{ ton/cm}^2$
2	70	66	1.760	1.640	0.9	1.02	0.20	0.225	1.53	
3	71	66	1.694	1.625	1.04	1.04	1.20	0.400	1.27	



LAMINA IV.7

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La obtención de las características mecánicas de los suelos mediante pruebas de laboratorio es hasta cierto punto algo sencillo, pero es necesario que exista correlación entre ellas y las observaciones de campo, por lo que es importante elegir el tipo de prueba que mejor represente las condiciones del problema por resolver.

Como se ha podido observar la realización de las pruebas debe hacerse con mucho cuidado a fin de evitar los errores que nos lleven a resultados poco confiables.

Se espera que este trabajo sea de utilidad para todos los alumnos del área de Geotecnia ayudándoles a tener más claros los conceptos adquiridos en clase.

Si esto se logra se habrá cumplido con los objetivos trazados y la satisfacción de haber contribuido con un granito de arena en la superación del nivel académico de la facultad será muy grande.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Apuntes de Mecánica de Suelos (aia editar) Ing. Francisco Zamora M.
- 2.- Mecánica de Suelos Tomo I. Ings. Estelio Juárez B., Alfonso Rico R.
- 3.- Principio de Geología y Geotecnia para Ingenieros. D.P. Kirtine, WR Judd.
- 4.- Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. K. Terzaghi -- Ralph B. Peck.
- 5.- The Mechanics of Engineering Soil. Capper and Casale
- 6.- Foundation Analysis and Design. J. Bowles
- 7.- Theoretical Soil Mechanics. K. Terzaghi
- 8.- Fundamentals of Soil Mechanics. W.D. Taylor
- 9.- Soil Mechanics. T. William Cambe and Robert V. Whitman
- 10.- Soil Mechanics Foundation and Earth Structures. Tachebotarioff
- 11.- Clasification and Identification of Soils, by Arthur Casagrande
Proceedings American Society of Civil Engineers. June 1947
- 12.- Reconocimiento de los Suelos y Comentarios Especiales.
H. Cambesfort
- 13.- Instructivo para Ensayo de Suelos. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1948.
- 14.- Manual de Mecánica de Suelos. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1970.