

7
2eg-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"OBTENCION DEL MODULO DE RIGIDEZ DINAMICO
AL ESFUERZO CORTANTE (G); DE UNA ARCILLA
DE LA CIUDAD DE MEXICO, UTILIZANDO EL
PENDULO DE VIBRACION LIBRE"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

CARLOS LARCEO CASTAÑEDA

MEXICO, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

264761



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.

A mis Padres



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-119/96

Señor
CARLOS ARCEO CASTAÑEDA
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. GERMAN LOPEZ RINCON**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"OBTENCION DEL MODULO DE RIGIDEZ DINAMICO AL ESFUERZO CORTANTE (G);
DE UNA ARCILLA DE LA CIUDAD DE MEXICO, UTILIZANDO EL PENDULO DE
VIBRACION LIBRE"**

INTRODUCCION

- I. GENERALIDADES DEL PENDULO DE VIBRACION LIBRE**
- II. PROGRAMACION DE LA PRUEBA**
- III. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS Y DETERMINACION DEL
MODULO DE RIGIDEZ DINAMICO PARA MUESTRAS DE ARCILLA DE LA
CIUDAD DE MEXICO**
- IV. COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PENDULO DE
VIBRACION Y OTROS EQUIPOS**
- V. APLICACION DE LOS PARAMETROS DINAMICOS OBTENIDOS A UN
PROBLEMA REAL**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

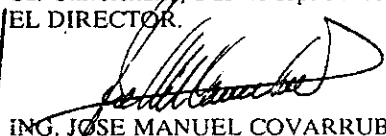
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitario, a 25 de septiembre de 1996.

EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*jbr

Obtención del módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante (μ) ; de una arcilla de la ciudad de México, utilizando el Péndulo de vibración libre.

Índice

Introducción

- I. Descripción del problema
- II. Objetivos
- III. Métodos para obtener el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante.

1. Generalidades del péndulo de vibración libre

- 1.1 Consideraciones teóricas
- 1.2 Características físicas del instrumento
- 1.3 Descripción de la prueba

2. Programación de la prueba

- 2.1 Calibración del sistema
- 2.2 Labrado de la muestra
- 2.3 Montaje de la muestra
- 2.4 Saturación y consolidación de la muestra
- 2.5 Estimación de la deflexión
- 2.6 Realización de la prueba

3. Interpretación de los resultados y determinación del Módulo de rigidez dinámico para muestras de arcilla de la Ciudad de México.

- 3.1 Para la muestra #1
- 3.2 Para la muestra #2

4. Comparación de los resultados obtenidos con el péndulo de vibración libre y otros equipos.

4.1 Características generales de la prueba down hole y columna resonante

4.2 Comparación de los resultados

4.3 Comentarios

5. Aplicación de los parámetros dinámicos obtenidos a un problema real

6. Conclusiones

Introducción

I. Descripción del problema

En el estudio de la respuesta sísmica de un depósito de suelo es indispensable conocer, entre otras propiedades el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante (μ), el módulo de young (E), la relación de Poisson (ν), y el coeficiente de amortiguamiento (ζ).

Conociendo estos parámetros es posible determinar la velocidad de la onda de cortante sísmico, el periodo fundamental de la masa de suelo y sus armonías subsecuentes, así como los desplazamientos y esfuerzos cortantes que se generan en la masa de suelo durante un sismo.

Con la información anterior puede llevarse a cabo el estudio del comportamiento de una estructura en general sujeta a un sismo, mediante un análisis de interacción suelo - cimentación - estructura.

El objetivo de este trabajo es determinar dichos parámetros; utilizando para ello un instrumento conocido como "péndulo de vibración libre".

II. Objetivos

II.1 Obtener el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante (μ); de una arcilla de la Ciudad de México, utilizando el Péndulo de vibración libre.

II.2 Comparar los resultados obtenidos del péndulo de vibración libre con los valores obtenidos por otros métodos (columna resonante y la prueba down hole).

III. Métodos para obtener el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante (μ).

Existen varios métodos, tanto de campo, como de laboratorio, cuyo objetivo es determinar este parámetro. Entre los métodos más comunes, se tienen los siguientes:

- De campo

a) Prueba de superficie - pozo (Down-hole)

b) Prueba de pozos cruzados

Consiste en medir la velocidad de propagación de ondas entre dos puntos de una masa de suelo por lo que este ensaye requiere de un mínimo de tres pozos uno para generar las ondas y los demás para medirlas. Para producir las ondas se coloca una fuente generadora de energía, en uno de los pozos. La fuente puede ser una pequeña explosión o bien un impulso mecánico. Para recibir las señales se colocan geófonos en pozos consecutivos, a la misma profundidad.

Conocidos los tiempos de arribo de las ondas y la distancia entre los pozos, así como el tipo de onda generada, se puede conocer el valor de las ondas de corte (V_s) y las ondas de compresión (V_p).

c) Prueba de pozo - superficie (Up - hole)

Consiste en colocar una fuente generadora de energía en un pozo. Las ondas generadas (a varias profundidades) durante la ejecución de la prueba se registran con varios geófonos colocados en la superficie.

d) Prueba de suspensión

El dispositivo de este método consta de una sonda libremente suspendida en un pozo lleno de algún líquido que puede ser agua o lodo bentonítico. La sonda está equipada con un martillo electromagnético que sirve como fuente generadora de energía. La excitación se genera indirectamente. La acción del martillo electromagnético produce cambios de presión en el líquido y estos a su vez producen desplazamientos en la pared del pozo.

Los desplazamientos en la pared generan movimientos en el líquido que son registrados por dos unidades de medición, cada una de las cuales consta de dos geófonos, uno vertical y otro horizontal, separados entre sí por una distancia conocida y se localizan en el extremo superior de la sonda. Las unidades de medición están conectadas a un equipo de control y registro, lo que permite conocer los tiempos de arribo de las ondas a cada geófono.

- De laboratorio

a) Prueba del péndulo de vibración libre.

b) Prueba de corte simple cíclico

Esta prueba produce el estado de esfuerzos que experimenta un elemento de suelo sujeto a la acción sísmica. En general estos ensayos consisten en aplicar una fuerza cortante cíclica a un espécimen de suelo y graficar los esfuerzos de corte generados y sus correspondientes deformaciones para cada ciclo. Esta prueba induce deformaciones angulares mayores del 0.1% por lo que los valores de " μ " obtenidos con ella resultan menores a los determinados en campo.

c) Prueba de columna resonante

d) Prueba columna torsionante.

Para realizar este tipo de pruebas se emplea una cámara triaxial cíclica dinámica torsionante que permite conocer el comportamiento de muestras de suelo cilíndricas macizas o huecas (7 ó 10 cm de diámetro exterior), ante esfuerzos cortantes cíclicos, de amplitud y frecuencia controlados.

El equipo permite determinar con precisión y confianza propiedades tales como el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante (μ), el cociente de amortiguamiento con respecto al crítico (ζ), y las distorsiones permanentes.

La prueba consiste en transmitir un par torsionante a la muestra de suelo.

El equipo cuenta con un actuador neumático transversal que es el encargado de transmitir dicho par. Las presiones que recibe este actuador están suministradas por la unidad de control de presiones neumáticas cíclicas, la que después de recibir la presión primaria de la compresora opera un oscilador de carga neumático, proporcionando una carga senoidal con la amplitud, frecuencia y número de ciclos seleccionados ; los momentos alternantes dinámicos aplicados, inducen al suelo los esfuerzos cortantes cíclicos.

Nota : Las pruebas del péndulo de vibración libre, columna resonante y el método de down - hole se presentarán con mayor detalle, en los siguientes capítulos.

1. Generalidades del péndulo de vibración libre.

1.1 Consideraciones Teóricas

La teoría del instrumento se basa en la segunda ley de Newton ($F = ma$).

Es decir que "el péndulo de vibración libre" se considera como un sistema (suelo - aparato), de masa y rigidez definidas.

La masa del sistema es proporcionada por las masas "del aparato y del suelo". Debido a que el movimiento que se presenta es angular, se empleará al momento polar de inercia de dichas masas (J_s), como la masa del sistema.

La rigidez del sistema es proporcionada tanto por la muestra de suelo como por el propio aparato y se define como K_s .

El procedimiento consiste en comparar el comportamiento del instrumento con un

"Movimiento armónico simple con amortiguamiento. Se considera un movimiento amortiguado debido a que el suelo tiene la propiedad de disipar la energía.

De la segunda ley de Newton y del diagrama de cuerpo libre del sistema, se establece la ecuación de equilibrio dinámico del sistema:

$$J_s \ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K_s \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

J_s = momento polar de inercia del sistema

C = coeficiente de amortiguamiento

K_s = rigidez del sistema

Al sustituir $\theta = e^{\lambda t}$ en (1) y dividiendo entre $e^{\lambda t}$, se obtiene la ecuación característica:

$$J_s \lambda^2 + C\lambda + K_s = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

cuyas raíces son:

$$\lambda = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{K}{M}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Definiendo como coeficiente de amortiguamiento crítico (C_c), al valor de C que hace que el radical en la ecuación (3) sea igual a cero. Se tiene:

$$C_c = 2J_s \omega_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

donde:

ω_s = frecuencia circular del sistema.

De lo anterior se distinguen tres casos diferentes de amortiguamiento dependiendo del valor del coeficiente C .

- Caso 1. Sobre amortiguamiento

C es mayor que C_c .- Las raíces de la ecuación (2) son reales y distintas. Esta solución corresponde a un movimiento no vibratorio. Es decir el sistema regresa a su posición de equilibrio después de un tiempo finito.

- Caso 2 . Amortiguamiento crítico

C es igual que C_c .- La ecuación (2) tiene dos raíces reales e iguales. Esta solución corresponde a un movimiento no vibratorio. Es decir el sistema trata de regresar a su posición de equilibrio pero sin conseguirlo; ya que la curva que representa este movimiento es asíntota con respecto al eje de las abscisas (con respecto al tiempo).

- Caso 3 . Sub amortiguamiento

C es menor que C_c .- Las raíces de la ecuación (2) son complejas y conjugadas. Esta solución corresponde a un movimiento vibratorio con amplitud decreciente. Este tipo de comportamiento es el que presenta el péndulo de vibración libre , por lo tanto, este caso es el que nos interesa.

Finalmente la solución general de la ecuación diferencial (1) será :

$$\theta = e^{-\zeta_s \omega_s t} (A \cos \omega_{sd} t + B \sen \omega_{sd} t) \quad \text{..... (5)}$$

donde:

$$\zeta_s = \frac{C}{C_c} = \text{factor de amortiguamiento}$$

$$\omega_s = \text{frecuencia circular libre del sistema (rad/seg)}$$

$$\omega_{sd} = \text{frecuencia circular amortiguada del sistema (rad/seg).}$$

$$t = \text{La variable independiente tiempo (seg)}$$

La frecuencia circular amortiguada del sistema tiene el siguiente valor :

$$\omega_{sd}^2 = \omega_s^2 (1 - \zeta_s^2) \quad \text{..... (6)}$$

Tomando en cuenta las condiciones iniciales :

$$t_0 = 0$$

$$\theta_0 = \theta_i$$

Al sustituir las condiciones iniciales en (5) se obtiene el máximo desplazamiento (θ_s) que se presenta en un tiempo determinado. A dicho intervalo de tiempo se le denomina período de la vibración.

Finalmente :

$$\theta_s = A e^{-\zeta_s \omega_s (n T_{sd})} \quad \dots\dots\dots (7)$$

donde :

$n T_{sd}$ = es el tiempo correspondiente a la n -ésima cresta del movimiento.

Considerando dos vibraciones sucesivas obtenemos :

$$\frac{\theta_n}{\theta_{n+1}} = e^{\zeta_s \omega_s T_{sd}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

De la ecuación (6)

$$\frac{T_{sd}}{T_s} = \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta_s^2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Al sustituir (9) en (8)

$$\frac{\theta_n}{\theta_{n+1}} = e^{\frac{2\pi\zeta_s}{\sqrt{1-\zeta_s^2}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Al aplicar logaritmo natural a ambos miembros de la ecuación (10) se tiene :

$$\ln \frac{\theta_n}{\theta_{n+1}} = \frac{2\pi\zeta_s}{\sqrt{1-\zeta_s^2}} = \Delta \quad \dots\dots\dots (11)$$

donde :

Δ = decremento logarítmico

A partir de Δ se determina ζ_s de la siguiente manera :

$$\zeta_s^2 = \frac{\Delta^2}{4\pi^2 + \Delta^2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Como se mencionó anteriormente el sistema vibrante está formado por la probeta del suelo y el aparato. Llamemos K_a y K_p las constantes dinámicas de resorte del aparato y probeta respectivamente y K_s la del sistema. El impulso de momento dado al brazo (fig.1) es :

$$M_s = F \times \lambda = K_s \times \theta_s \quad \dots\dots\dots (13)$$

también

$$F \times \lambda = K_p \times \theta_p \quad \text{y} \quad F \times \lambda = K_a \times \theta_a \quad \dots\dots\dots (14)$$

La amplitud del brazo registrador es :

$$\theta_s = \theta_p + \theta_a \quad \dots\dots\dots (15)$$

Considerando (15) en (14)

$$\theta_s = \frac{K_p + K_a}{K_p \times K_a} F \times \lambda \quad \dots\dots\dots (16)$$

(16) en (13)

$$k_s = \frac{k_p \times k_a}{k_p + k_a} \quad \dots\dots\dots (17)$$

De la segunda ley de Newton se tiene que la aceleración circular del sistema esta dada por :

$$\ddot{\theta}_s = \theta_s \times \omega_s^2 \quad \dots\dots\dots (19)$$

Al sustituir (19) en (13)

$$M_s = \theta_s \times \omega_s^2 \times J_s \quad \dots\dots\dots (20)$$

De la teoría de la elasticidad (torsión)

$$\tau_{max} = \frac{M_s \times c}{I_p} \quad \dots\dots\dots (21)$$

donde :

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo

M_s = Momento torsionante

c = Radio de la circunferencia

I_p = Momento de inercia

Además

$$\tau_{max} = \gamma_{max} \cdot \mu \quad \dots\dots\dots (22)$$

donde :

γ_{max} = Distorsión máxima

μ = Módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante

y

$$\gamma_{max} = \frac{\theta_p \times c}{h} \quad \dots\dots\dots (23)$$

donde :

h = altura de la probeta

θ_p = deformación angular de la probeta

Al sustituir (23) en (22)

$$\tau_{max} = \frac{\theta_p \times c \times \mu}{h} \dots\dots\dots (24)$$

Si la sección es circular

$$I_p = \frac{\pi \times d^4}{32} \dots\dots\dots (25)$$

Al igualar (21) con (24) y despejando μ

$$\mu = \frac{M_s \times h}{I_p \times \theta_p} \dots\dots\dots (26)$$

Al despejar el término $\left(\frac{M_s}{\theta_p}\right)$ de (26) y considerar que $M_s = k_p \times \theta_p$ se tiene :

$$k_p = \frac{\mu \times I_p}{h} \dots\dots\dots (27)$$

Llamando

$$C_p = \frac{I_p}{h} \dots\dots\dots (28)$$

Al sustituir (28) en (27)

$$k_p = \mu \times C_p \dots\dots\dots (29)$$

además

$$k_a = J_a \times \omega_a^2 \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$k_s = J_s \times \omega_s^2 \quad \dots\dots\dots (31)$$

Al sustituir (29) , (30) y (31) en (17) y despejando μ se tiene :

$$\mu = \frac{\omega_s^2 \times \omega_a^2}{\omega_a^2 J_a - \omega_s^2 J_s} \times \frac{J_a \times J_s}{C_p} \quad \dots\dots\dots (32)$$

Debido a que el momento polar de inercia de las masas de la probeta (J_p) es muy pequeño con respecto al del instrumento , se tiene que $J_s = J_a$
Considerando lo anterior en (32)

$$\mu = \frac{\omega_s^2}{1 - \frac{\omega_s^2}{\omega_a^2}} \times \frac{J_a}{C_p} \quad \dots\dots\dots (33)$$

donde

$$G = \frac{J_a}{C_p}$$

Como de la prueba se obtienen las frecuencias circulares libres amortiguadas (ω_{sd} y ω_{ad}) ; son necesarias las siguientes expresiones en (33)

$$\omega_{sd}^2 = \omega_s^2 \times (1 - \zeta_s^2)$$

$$\omega_{ad}^2 = \omega_a^2 \times (1 - \zeta_a^2)$$

de manera que :

$$\mu = \frac{\omega_{sd}^2 \times G}{\left(1 - \zeta_s^2\right) - \left(1 - \zeta_s^2\right) \left(\frac{\omega_{sd}}{\omega_{ad}}\right)^2} \quad \text{..... (34)}$$

Donde finalmente la expresión (34) representa el valor del módulo de rigidez dinámico del suelo.

Otra propiedad importante del suelo , es la relación de amortiguamiento del suelo ζ_p . Esta propiedad se obtiene de la prueba .

Examinando la vibración acoplada del sistema , obtenemos el momento máximo

$$M_s = (\theta_s + \theta_p) \times \omega_s^2 \times J_s \quad \text{..... (35)}$$

Al sustituir (13) en (35)

$$\frac{1}{\omega_s^2} = \frac{\theta_s J_s}{\theta_s k_s} + \frac{\theta_p J_s}{\theta_p k_p} \quad \text{..... (36)}$$

Si $J_s = J_a$ y de (14)

$$k_s \theta_s = k_a \theta_a = k_p \theta_p \quad \text{..... (37)}$$

Al sustituir (37) en (36)

$$\frac{1}{\omega_s^2} = \frac{J_a}{k_a} + \frac{J_a}{k_p} \quad \text{..... (38)}$$

en donde

$$\text{Si } K_p = \infty \quad \text{entonces} \quad \frac{k_a}{J_a} = \omega_a^2$$

y

$$\text{Si } K_a = \infty \quad \text{entonces} \quad \frac{k_p}{J_a} = \omega_p^2$$

De las consideraciones anteriores

$$\frac{1}{\omega_p^2} = \frac{1}{\omega_s^2} - \frac{1}{\omega_a^2} \quad \dots\dots\dots (39)$$

Pero de la prueba, lo que obtenemos son las frecuencias circulares amortiguadas, de manera que :

$$\frac{1}{\omega_{pd}^2} = \frac{1}{\omega_{sd}^2} - \frac{1}{\omega_{ad}^2} \quad \dots\dots\dots (40)$$

Al combinar las expresiones (39) y (40)

$$\zeta_p^2 = \frac{\zeta_s^2 - \zeta_a^2 \left(\frac{\omega_{sd}}{\omega_{ad}} \right)^2}{1 - \left(\frac{\omega_{sd}}{\omega_{ad}} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (41)$$

Sin embargo, se sabe que para cierta distorsión angular inicial γ_p proporcionada a la probeta se obtiene un valor de μ y ζ_p , para cada esfuerzo de confinamiento σ_c .

El esfuerzo cortante máximo en la probeta de radio $\left(\frac{D}{2} \right)$ es

$$\tau = \frac{F \times \lambda}{I_p} \times \frac{D}{2} \quad \dots\dots\dots (42)$$

Por otro lado $\gamma_p = \frac{\tau}{\mu}$, por lo tanto

$$\gamma_p = \frac{D}{2I_p \mu} \times F \times \lambda \quad \dots\dots\dots (43)$$

El impulso de momento es $F \times \lambda = \theta_s \times k_s$, pero $k_s = \omega_s^2 \times J_s$ y $\theta_s = \frac{\delta_s}{L}$
 Al sustituir los términos anteriores en (43)

$$\gamma_p = \frac{D \times J_s}{2I_p \mu} \times \frac{\omega_s^2 \times \delta_s}{L} \quad \dots\dots\dots (44)$$

Finalmente

$$\gamma_p = \frac{16J_s}{\pi D^3 L} \times \frac{\omega_{sd}^2}{(1 - \zeta_s^2)} \times \frac{\delta_s}{\mu} \quad \dots\dots\dots (45)$$

Los valores de ω_{sd} , μ y δ_s se obtienen de la prueba. El valor de δ_s se mide para la primera ordenada de la respuesta después de aplicar el impulso.

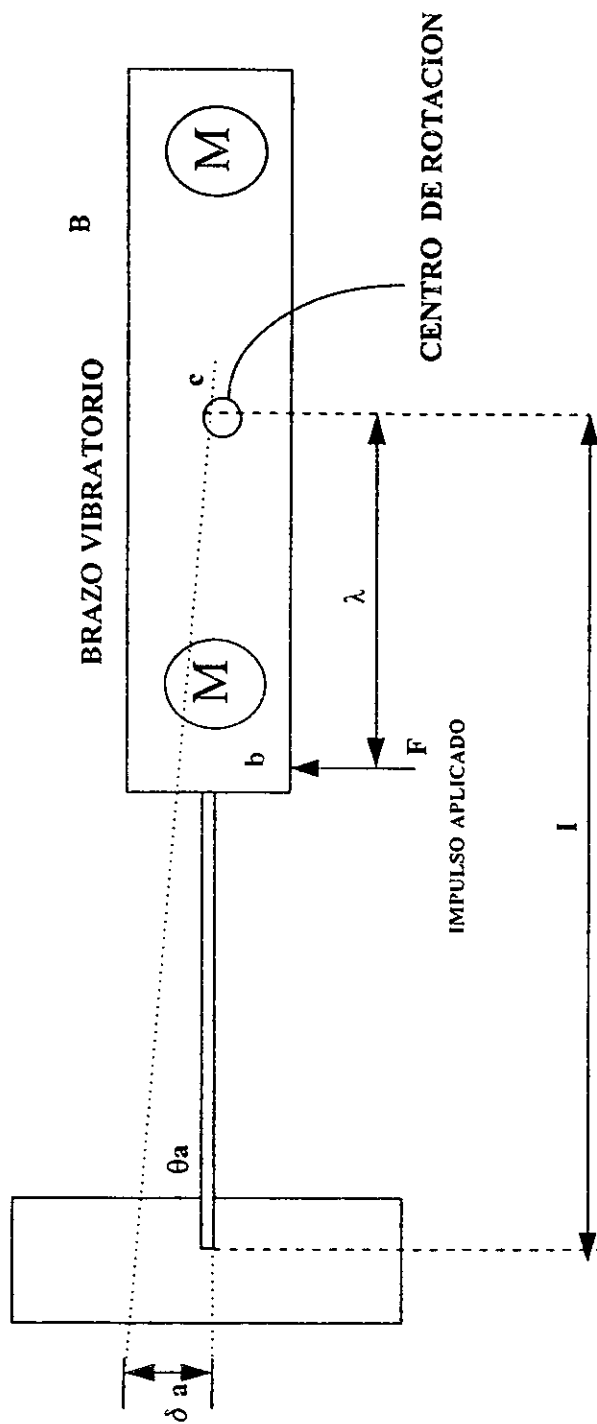


FIGURA 1

1.2 Características físicas del instrumento

El instrumento se compone de cuatro partes :

a) Mesa de registro

a.1) Marcador de tiempo

Este equipo registra el tiempo por medio de pulsaciones eléctricas las cuales se transmiten a un brazo de cobre, donde se coloca un bolígrafo, el cual registra dichas pulsaciones en un papel .

El tiempo que tarda en generarse dicha pulsación es de aproximadamente 1seg (figura 2).

a.2) Rodillo autopropulsado

En realidad se trata de dos rodillos de aluminio, uno con movimiento libre y el otro gira por medio de un motor eléctrico. La finalidad del movimiento generado por el motor es permitir que "corra " el papel , el cual se enrolla previamente en el rodillo libre.

La velocidad promedio del motor es de $1.5 \frac{cm}{seg}$

a.3) Sistema de tuercas niveladoras

La finalidad de estas tuercas es proporcionarle a la mesa registradora la altura adecuada, con respecto al brazo.

Además sirven para nivelar a la mesa (figura 2).

b) Bastidor

El bastidor es una estructura de acero compuesta por las siguientes partes :

b.1) Un tetrapie

Es una estructura de acero en el cual se alojan el brazo, la cámara triaxial, la masas, el transductor, el vástago, etc.

El tetrapie está dispuesto de tal manera que el centro de momentos coincide con el centro de masa de éste (figura 3).

b.2) Base de acero

Una base de acero de 15 mm de espesor en la cual se apoyan la cámara triaxial y el aparato para medir la presión de poro (transductor) . Esta base se atornilla a cada una de las patas del tetrapie (figura 3).

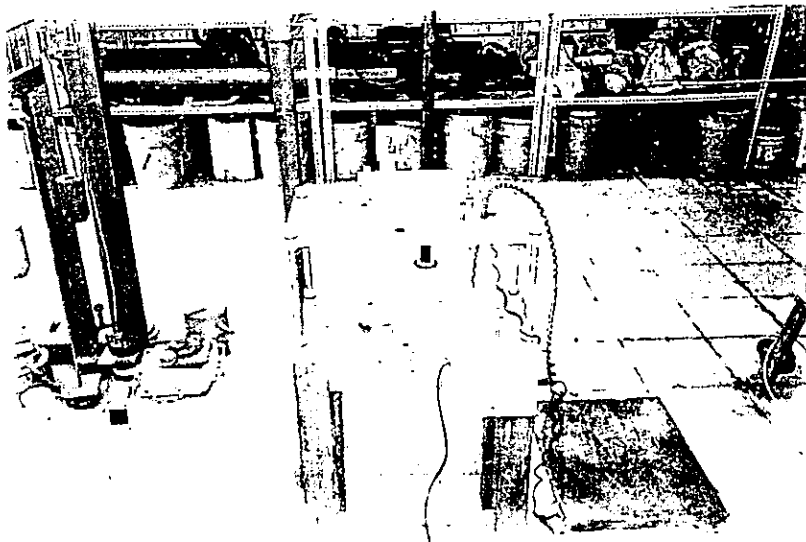


Figura 2

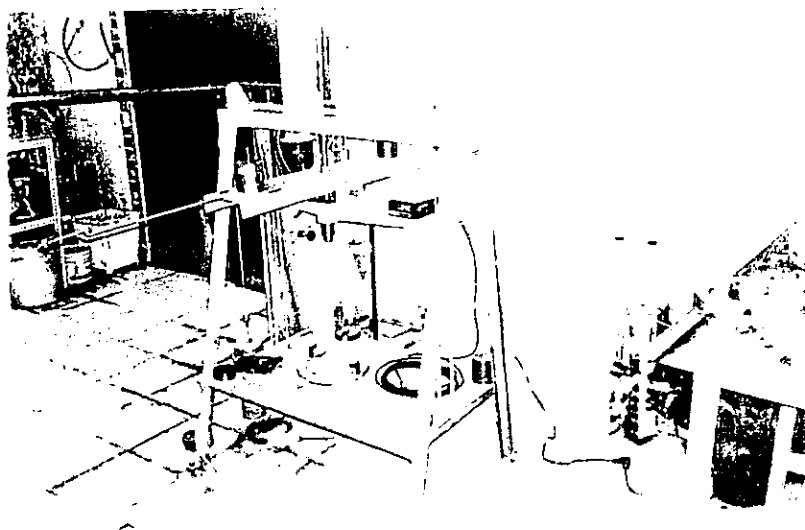


Figura 3

b.3) Viga de acero

Una viga de acero de sección canal la cual funciona como brazo de palanca ; ésta es la encargada de transmitirle el momento torsionante a la muestra. El momento se transmite en primera instancia de la barra al vástago el cuál a su vez lo transmite a la muestra.

La barra tiene las siguientes características :

- longitud = 84.5 cm.
- Ancho de patín = 5.0 cm.
- Altura del alma = 15.0 cm.
- Espesor = 0.5 cm.
- Peso = 7.65 kg.

b.4) Sistema de poleas y contrapesos.

Este sistema tiene la función de equilibrar el peso del brazo y masas ; asegurando que la muestra se someterá únicamente a torsión (figura 4).

b.5) Unión barra - vástago

Para unir la barra al vástago se cuenta con un broquero el cual se une a presión con el vástago . (figura 5).

b.6) Sistema de tornillos

Se cuenta con un sistema de tornillos cuya función es proporcionarle la altura adecuada al brazo con respecto a la mesa de registro; sirve para nivelar el equipo.

c) Cámara triaxial

Esta cámara es muy similar a las cámaras triaxiales comunes ; lo que la diferencia son principalmente sus dimensiones (altura = 30 cm , diámetro = 20 cm) y sus cabezas que están provistas de cuchillas en donde se hincan la muestra para sujetarla. (figura 6)

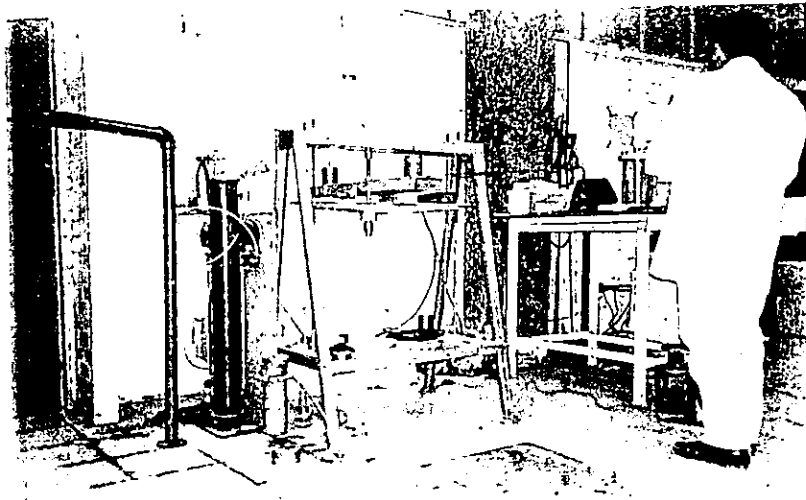


Figura 4

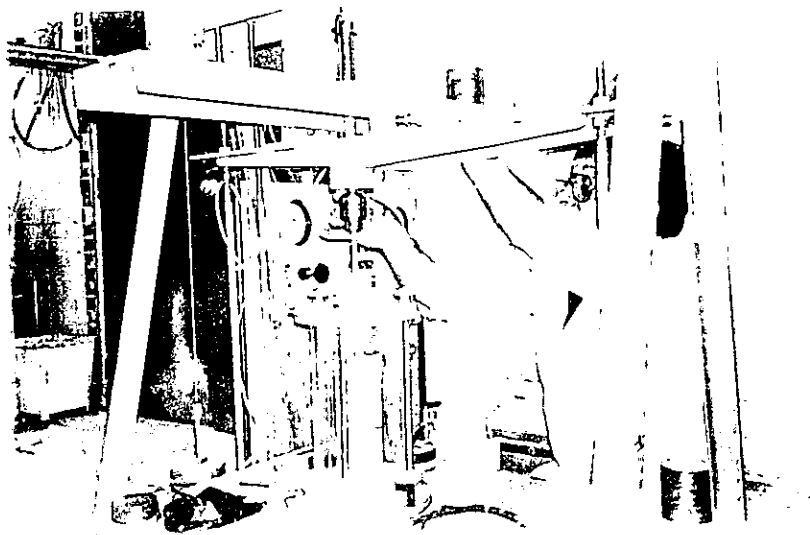


Figura 5

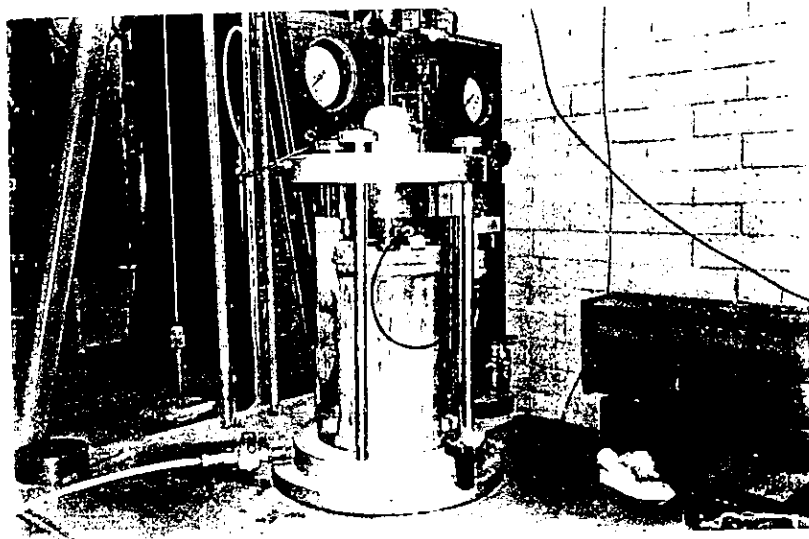


Figura 6

d) Equipo para saturar y consolidar a la muestra.

El equipo encargado de llevar a cabo dicho trabajo (fig. 7) consta de las siguientes partes :

1. Regulador de presión "A"

Permite fijar la presión confinante especificada.

2. Regulador de presión "B"

Permite fijar la contra presión especificada.

3. Bureta

Nos permite apreciar y asentar las variaciones volumétricas durante la consolidación.

4. Manómetro

Permite confirmar que la presión que se fija con el regulador "A" sea la especificada.

5. Vaso de policarbonato

Tiene dos funciones :

- a) Retiene agua en cantidad suficiente para asegurar que no le faltará tal líquido a la muestra durante la saturación.
- b) Actúa como una interfase entre la presión de aire y el volumen de agua que circulará hacia la muestra.

Nota : La posición del vaso de policarbonato esta en función de la altura a la cual se colocará la muestra, esto para evitar cualquier diferencial de gradiente.

6. Depósito de agua deaireada

Su función es abastecer de agua deaireada al vaso de policarbonato.

Nota : Antes de la saturación es conveniente poner a deairar un cierto volumen de agua, ya que el agua proveniente de la red contiene tanto sales como aire en demasía

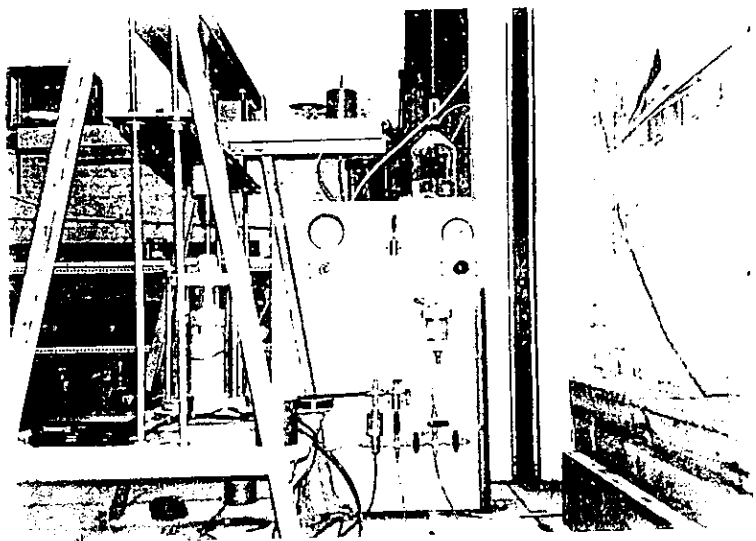


Figura 7

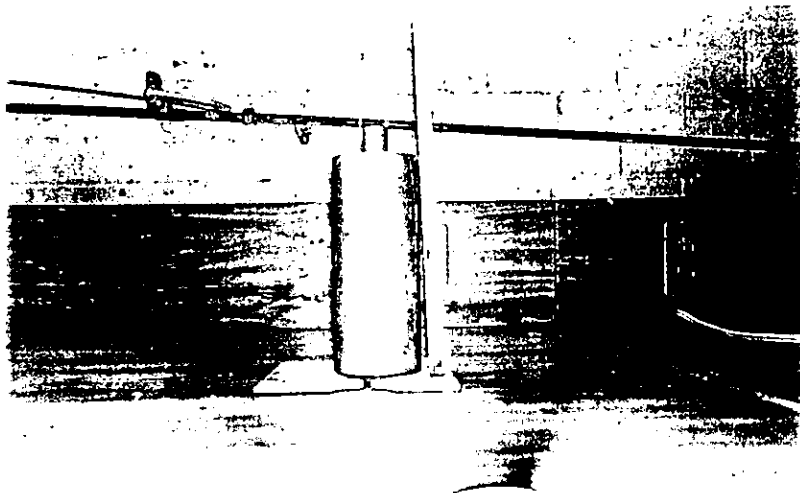


Figura 8

7. Transductor

Su función es determinar la presión de poro que se genera en la muestra debido a la consolidación, y después enviarla en forma de voltaje al convertidor de señal.

8. Convertidor de señal

Este convierte el voltaje enviado por el transductor en unidades de ingeniería (kg/cm^2) ; estas unidades pueden observarse en un monitor.

1.3 Descripción de la prueba

El péndulo de vibración libre del Dr. Leonardo Zeervart es un equipo para determinar el módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante de los suelos (μ), conociendo este valor es posible determinar los parámetros dinámicos del suelo ya mencionados.

La prueba se realiza de la siguiente manera :

a) Se monta una muestra de suelo en la cámara triaxial y se somete a un esfuerzo de confinamiento equivalente al rango de esfuerzos efectivos que tenía en el campo dicha muestra. Debido a que durante la prueba la muestra se somete a torsión, ésta se sujeta firmemente en ambos extremos con cabezas provistas de cuchillas que se hincan en la muestra de suelo.

b) Una vez que se ha disipado el exceso hidrostático en la probeta para el esfuerzo de confinamiento aplicado se procede a la ejecución de la prueba aplicándole un momento de torsión mediante un impulso al brazo (fig.1).

c) Para cada impulso se registra la vibración libre amortiguada a través de la interpretación de la gráfica de respuesta.

De la calibración del aparato se obtiene :

T_a = Período de vibración.

ζ_a = Fracción de amortiguamiento crítico.

J_a = Momento polar de inercia.

De la interpretación de las gráficas de respuesta de una muestra se obtiene :

T_{sd} = Período de vibración del sistema.

ζ_{sd} = Fracción de amortiguamiento crítico del sistema.

Los parámetros del suelo se obtiene con las expresiones siguientes :

$$\zeta_p^2 = \frac{\zeta_{sd}^2 - \zeta_a^2 \left(\frac{T_a}{T_{sd}} \right)^2}{1 - \left(\frac{T_a}{T_{sd}} \right)^2}$$

$$\mu = \frac{4\pi^2 G}{(1 - \zeta_{sd}^2)T_{sd}^2 - (1 - \zeta_s^2)T_{sd}^2}$$

$$G = \frac{32J_s}{\pi D^4}$$

donde :

ζ_s = Amortiguamiento de la probeta.

μ = Módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante.

D = Diámetro de la probeta.

h = Altura de la probeta.

d) Se efectúan cuatro series de pruebas para diferentes esfuerzos de confinamiento; dos para esfuerzos menores al real de confinamiento y dos para esfuerzos mayores.

Cada par de valores σ_c y μ se grafican en papel semi-logarítmico ó logarítmico, obteniendo la ley de comportamiento del material.

2. Programación de una prueba

2.1 Calibración del sistema.

Debido a que el sistema presenta movimientos ajenos a la prueba es necesario calibrar el mismo. Este proceso se realiza de la siguiente manera :

1. Se coloca un cilindro de acero de dimensiones iguales que la muestra en el lugar de ésta .
2. El cilindro se fija en la base y se atornilla al vástago.(fig 8)
3. Se une el vástago con la barra por medio de un broquero.

Para llevar a cabo dicha unión es necesario contar con tres personas, la función de la primera consiste en subir o bajar el broquero , la segunda alinea la barra de acero, y la tercera fija el broquero al vástago.

4. Se coloca papel milimétrico en los rodillos de la mesa registradora.(fig 9)

Las características del papel son las siguientes :

- a) Papel milimétrico en albanene
- b) De 1.0 mts. de largo por 0.15 mts de ancho.

Nota : Con este tipo de papel, disminuye la fricción que existe entre éste y el bolígrafo.

5. Tanto en la extensión de la barra como en el marcador de tiempo se coloca un bolígrafo.
6. Se emplea un cronómetro para determinar el tiempo de duración de la prueba.
7. Se enciende el motor del rodillo , así como el marcador de tiempo
8. Ya con el rodillo en movimiento, se marca en el papel el momento en el cual empieza a correr el tiempo en el cronómetro.
9. Durante este intervalo se le aplican a la probeta momentos torsionantes a través del brazo (fig.10)
10. En el papel milimétrico se registran las oscilaciones del sistema (aparato).
11. Este proceso se realiza para diferente número de masas.
12. De la interpretación de los resultados se obtiene el coeficiente de amortiguamiento (ζ_a), el período de vibración (T_a), y el momento de inercia del aparato (J_a).

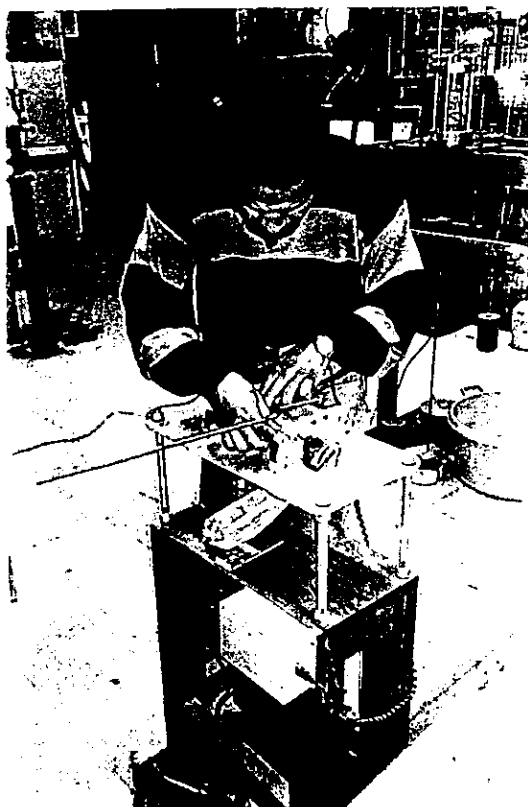


Figura 9

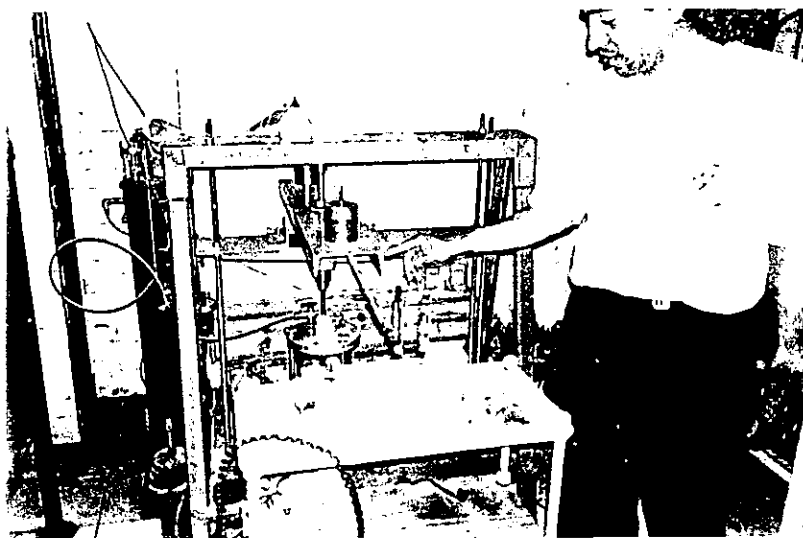


Figura 10

2.2 Labrado de la muestra

2.21 Secuencia en el labrado de una muestra

En este tipo de pruebas se trabaja con muestras inalteradas. De la muestra inalterada obtenida en el campo, se cortan prismas del tamaño adecuado para obtener probetas cilíndricas de 7cm de diámetro y 17cm de altura aproximadamente; esto se logra utilizando el torno y cortador con alambre.

El método del torno para la obtención de probetas se aplica de la siguiente manera :

a) De la muestra inalterada se labra un prisma cuyas bases sean paralelas, el cual se coloca en el torno procurando centrarlo y con el cortador de arco, que se desliza apoyando en las soleras del torno, se efectúan los cortes necesarios para ir formando la probeta cilíndrica (fig.11)

b) Se hace girar el torno y se sigue cortando de la misma manera, hasta lograr dar a la probeta la forma cilíndrica.

c) Se saca la probeta del torno y se coloca en el enrasador para darle la altura adecuada (17cm).

2.22 Propiedades índice

Además de determinar los parámetros dinámicos del suelo, es necesario obtener de manera simultánea algunas propiedades índice del material.

Esto sirve para comprobar de algún modo, que los resultados obtenidos con el instrumento corresponden al tipo de suelo que se está empleando.

Las propiedades índice a determinar son las siguientes :

a) Límites de plasticidad

a.1) Límite plástico

a.2) Límite líquido

b) Densidad de Sólidos

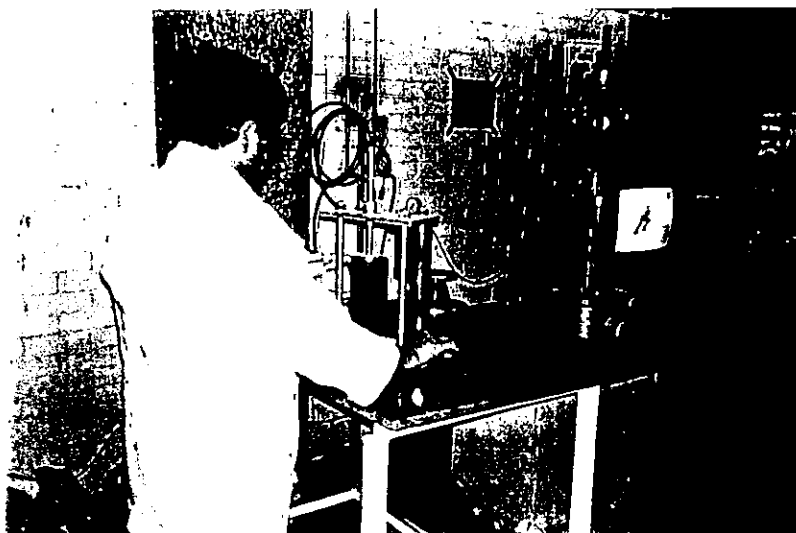


Figura 11

2.3 Montaje de la muestra.

La secuencia para montar una probeta en el péndulo es la siguiente :

1. Anotar :
Sondeo , Muestra y profundidad
2. Extraerla del tubo previamente cortado a 20cm.
3. Obtener el contenido agua tanto de la parte superior como de la inferior
4. Preparación del equipo :
 - 4.1 Verificar que tanto la cabeza como la base estén bien fijos al vástago y a la base de la cámara
 - 4.2 Fijar la membrana a la cabeza. (fig 12)
 - 4.3 Colocar filtros de arena tanto en la base como en la cabeza. (fig 13)
 - 4.4 Saturar el sistema.
5. Determinar el peso de la probeta.
6. Determinar las dimensiones de la probeta : altura, diámetro superior medio e inferior.
7. Fijar la membrana en la cabeza.
8. Hincar la cabeza en la probeta. (fig 14)
10. Hincar la probeta en la base.
11. Medir la altura libre entre cabezas.
12. Fijar la membrana en la base.
11. Sellar la cámara.
12. Colocar la cámara en la base del péndulo.
13. Llenar con glicerina la cámara, dejando un colchón de aire.
14. Aplicar grasa en la tapa de la cámara, para evitar fugas de presión.
15. Saturación de la muestra.



Figura 12



Figura 13

2.4 Saturación y consolidación de la muestra

Para conocer las propiedades reales del suelo es necesario saturar y consolidar a la muestra, este proceso se realiza empleando el equipo antes mencionado.

El primer paso a seguir una vez montada la muestra es la saturación, que consiste en hacer circular, con un cierto gradiente hidráulico, agua deaireada en la muestra.

El procedimiento a seguir para la saturación de la muestra es el siguiente :

1. Poner a deairear agua

- Se pone a hervir agua en un matraz. (aprox. 3 litros)
- Una vez que se alcanza el punto de ebullición del agua, se aplica vacío durante 1 hr

2. Se cierra la válvula " V1 " (fig. 15a)

3. Se llena el " depósito I " con agua deaireada

4. Se cierra la válvula V2 y se habren las válvulas V1 y V4 ; de esta manera se llena el vaso de policarbonato.

5. Una vez lleno el vaso, se cierra la válvula V1.

6. Se llena la cámara de glicerina.

7. Se saturan todos los conductos

- Se cierra la válvula V4 y se abren V1 , V2 y V6.*
- Con esto se saturan los dos conductos que van a la cámara y se llena la bureta.

* Para esto es necesario desconectar los dos conductos que van a la cámara.

8. Se conectan todas las uniones.

9. Se establece el gradiente hidráulico a emplear durante la saturación.

- El gradiente hidráulico es inversamente proporcional a la permeabilidad del material
- En función del gradiente se establece la magnitud de la presión confinante y la contrapresión.
- La presión confinante siempre será mayor a la contrapresión.

10. La presión confinante

- Se abre la válvula V15, V8 y V9 (fig. 15b)
- Se cierra la válvula V10 y V14
- Con el regulador RA se dispone la presión confinante acordada.
- Con el manómetro se comprueba que la presión sea la adecuada.

Para determinar la altura a la cual debe subir la columna de mercurio se aplica la siguiente expresión :

$$h = 126.8 + \left(\frac{\sigma_c \times 1000}{13.6 \times 2} \right)$$

donde :

h = altura de la columna de mercurio

σ_c = esfuerzo de confinamiento

- Finalmente se abre la válvula V13

11. La contrapresión

- Se abre la válvula V4
- Con el regulador RB Se dispone la contrapresión acordada.
- Se abre la válvula V5 .
- Finalmente se abren las válvulas V11 y V12 .
- El transductor marcará la contrapresión dispuesta por el regulador RB.

12. Grado de Saturación

El parámetro que determina el grado de saturación de la muestra es la B de skempton, que se calcula con la siguiente expresión :

$$B = \frac{\Delta V}{\Delta \sigma}$$

donde :

ΔV = Incremento en la presión de poro.

$\Delta \sigma$ = Incremento de esfuerzo.

El procedimiento a seguir en la consolidación de la muestra es el siguiente :

1. Se determinan los esfuerzos de consolidación.

Que estarán en función del esfuerzo efectivo a que estuvo sometida la muestra en campo.

2. Preparar el formato de consolidación

3. Se cierran las válvulas V11 , V12 y V13.

4. Con el regulador RA se dispone el confinante necesario para ofrecer el esfuerzo efectivo determinado. Considerar que el esfuerzo efectivo que ofrece el sistema será igual a la diferencia del confinante menos la contrapresión ($\sigma' = \sigma_c - \sigma_{cp}$)

5. Se abre la válvula V13. * (fig. 15 c)

* Se determina la B de skempton

6. Se cierran las válvulas V1 , V3 y V4.

7. Se abren las válvulas V2 , V7 , V11 y V12.

8. Se toma la lectura inicial de la bureta.

9. El tiempo se empezará a tomar desde el instante en que se abra la válvula V6.

10 . Se determina la gráfica de consolidación

2.5 Estimación de la deflexión

Antes de realizar una prueba con el péndulo de vibración libre se debe estimar la magnitud de las deflexiones que deban darse en la mesa registradora, esto para evitar rebasar la resistencia a torsión del material.

Dicha deflexión se estima empleando la siguiente expresión :

$$\delta_{max} = \frac{0.5 \times q_s \times h \times L}{\mu \times D}$$

donde :

δ_{max} = deflexión máxima (cm)

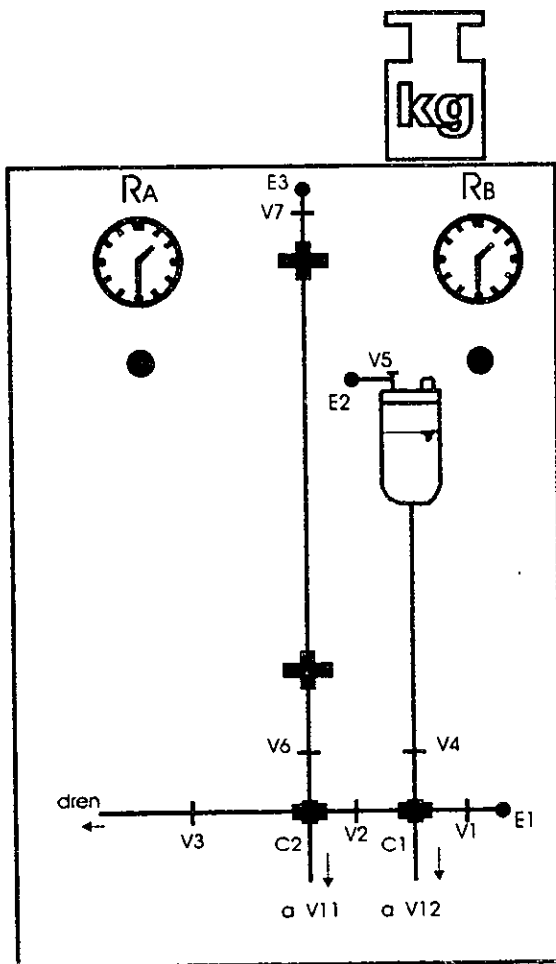
q_s = resistencia a compresión simple (kg/cm²)

h = altura media de la probeta (cm)

L = 92.20 cm

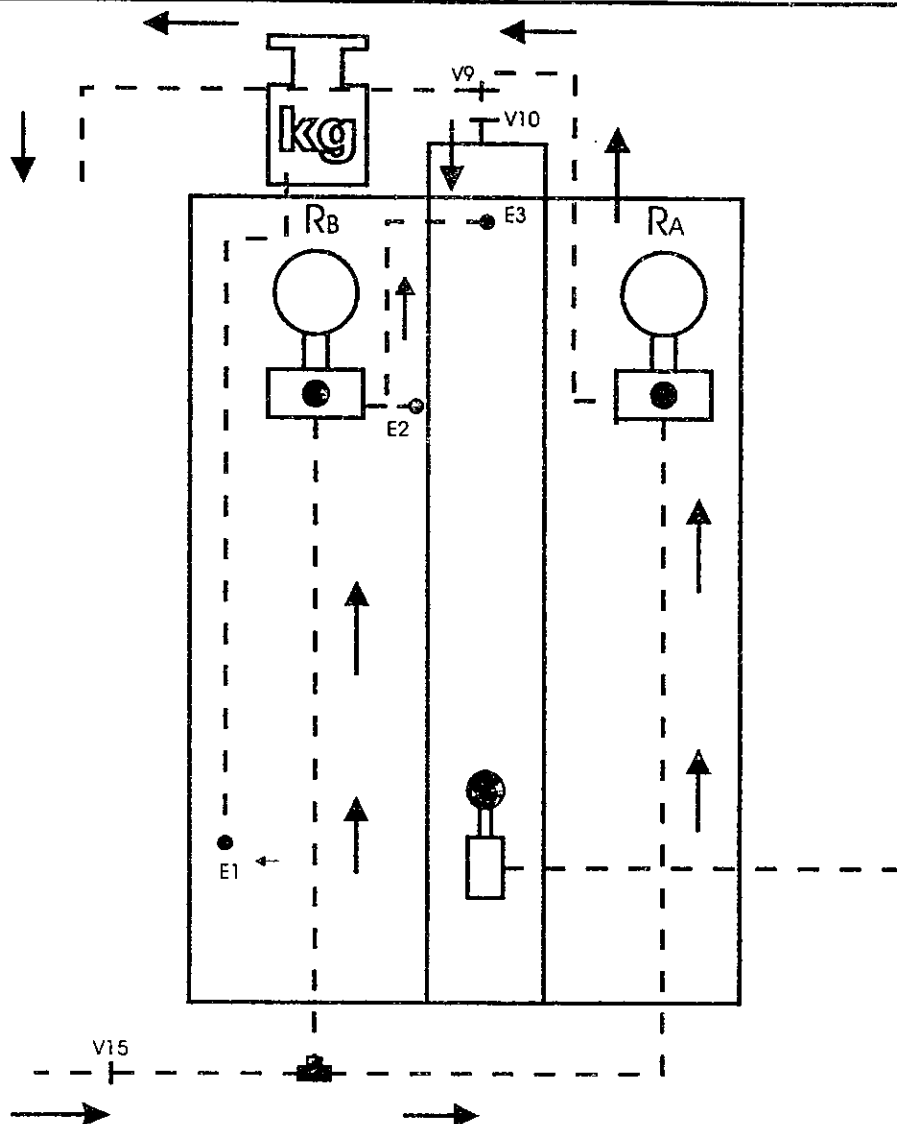
μ = $30 \times q_s$ (kg/cm²)

D = diámetro de la probeta (cm)



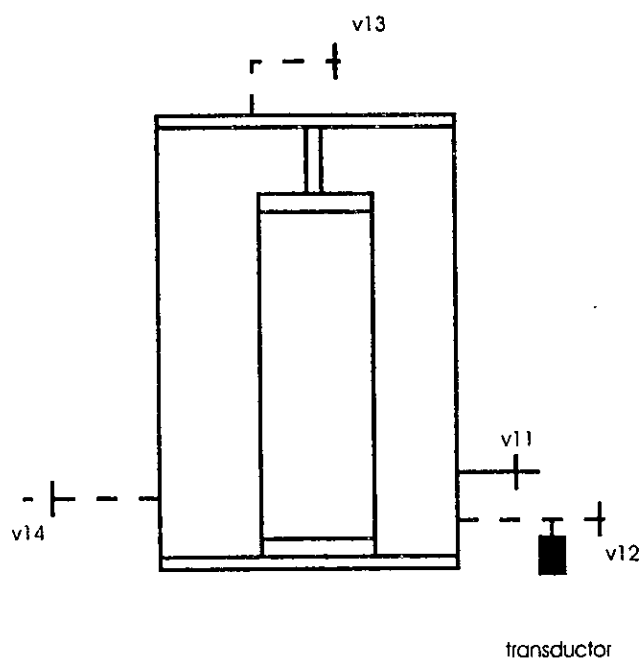
Equipo para saturar y consolidar la muestra (parte delantera)

Fig. 15a



Equipo para saturar y consolidar
la muestra (parte posterior)

Fig. 15b



cámara triaxial
péndulo de torsión

Fig. 15 c

2.6 Realización de la prueba

La prueba se realiza de la siguiente manera :

1. Revisar

- a) Que el sistema este perfectamente nivelado.
- b) Que no exista fricción entre la cabeza de la cámara y el vástago.
Esto se debe principalmente a que la grasa que se emplea para evitar fugas se seca.
- c) Que el vástago este centrado con respecto al broquero.

2. Se une el vástago con la barra por medio de un broquero.

Para llevar a cabo dicha unión es necesario contar con tres personas, la función de la primera consiste en subir o bajar el broquero , la segunda alinea la barra de acero, y la tercera fija el broquero al vástago.

3. Se coloca papel milimetrico en los rodillos de la mesa registradora.

Las características del papel son las siguientes :

- a) Papel milimetrico en albanene
Con este tipo de papel se evita la fricción que hay con el bolígrafo.
- b) De 110 cm. de largo por 15 cm de ancho.

5. Tanto en la extensión de la barra como en el marcador de tiempo se coloca un bolígrafo.

6. Se emplea un cronómetro para determinar el tiempo de duración de la prueba.

7. Se enciende el motor del rodillo , así como el marcador de tiempo

8. Ya con el rodillo en movimiento, se marca en el papel el momento en el cual empieza a correr el tiempo en el cronómetro.

9. Durante este intervalo se le proporciona de manera secuencial a la barra una serie de impulsos.

La magnitud y número de impulsos estará condicionado a lo siguiente :

- La magnitud del impulso será tal que el momento actuante generado no supere la resistencia a torsión del material.
- El número de impulsos debe ser tal que no fatigue a la muestra.

10. En el papel milimétrico se registran los períodos de vibración del sistema

11. Cuando cesa la oscilación correspondiente al último impulso, se detiene el cronómetro y se marca en el papel dicho instante.

12. Se desconecta el broquero del vástago.

Para no dañar a la muestra, es necesario que dicho trabajo lo hagan dos personas; una para sostener el extremo de la barra y la otra para desconectar el vástago.

13. Se retira el papel del rodillo, y se anotan los siguientes datos :

- Zona de donde se obtuvo la muestra
- Sondeo
- Muestra
- Profundidad
- Fecha y hora en que se realizó la prueba.
- Número de masas.
- Tiempo de duración de la prueba (cronómetro).

14. Este procedimiento se realiza para diferente número de masas.

El número de masas a emplear, esta en función de la rigidez de la muestra ; de acuerdo a la experiencia se recomienda :

- Para Arcilla blanda
Realizar la prueba para una y tres masas
- Para arcilla dura
Realizar la prueba para una, tres y cinco masas

Nota : A partir de las características físicas que presenta la muestra se puede determinar a priori , si la arcilla es dura o blanda.

15. De la interpretación de los resultados se obtiene el coeficiente de amortiguamiento (ζ_s), el período de vibración (T_s), y el momento de inercia del sistema (J_s).*

16. Con las ecuaciones presentadas en el capítulo anterior, se calcula el coeficiente de amortiguamiento (ζ_p), el período de vibración (T_p), y el momento de inercia (J_p), del suelo.

3. Interpretación de los resultados y determinación del módulo de rigidez dinámico para muestras de arcilla de la Ciudad de México.

3.1 Para la muestra No 1

- Características generales de la muestra :

Obra : Hospital Juárez
Localización : Centro, Distrito Federal
Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 18
Profundidad : 11.20 - 12.20 mts.
Descripción : Arcilla verde olivo

- Propiedades índice y mecánicas de la muestra

a) Resistencia a compresión simple (q_u)

$$q_u = 1.35 \frac{kg}{cm^2} *$$

* En el anexo A (tabla 1) se muestran los resultados obtenidos de la prueba de compresión simple así como la curva esfuerzo - deformación correspondiente.

b) Densidad de sólidos (S_s)

$$S_s = 2.415 *$$

* En el anexo A (tabla 2) se muestran los resultados de la prueba de densidad de sólidos.

c) Límites

c.1) Límite líquido

$$LL = 453.50 \% *$$

c.2) Límite plástico

$$LP = 244.11 \% *$$

* En el anexo A (tabla 3) se muestran los resultados de la prueba de límites.

- Dimensiones de la probeta :

Ds = 7.15 cm.	As = 40.15 cm ²	Wi = 789.06 gr.
Dc = 7.19 cm.	Ac = 40.60 cm ²	Vi = 693.63 cm ³
Di = 7.20 cm.	Ai = 40.71 cm ²	γ_m = 1.13 ton/m ³
Hm = 17.11 cm.	Am = 40.54 cm ²	
He = 15.17 cm.	Dm = 7.18 cm	W% = 320 %

Donde :

Ds = diámetro superior
Dc = diámetro central
Di = diámetro inferior
Hm = altura media de la probeta
He = altura libre entre cabezas.
As = área superior
Ac = área central
Ai = área inferior
Am = área media
Dm = diámetro medio
Wi = peso de la probeta
Vi = volumen de la probeta
 γ_m = peso volumétrico de la muestra
W% = contenido de agua

- Saturación

Como se mencionó con anterioridad el grado de saturación de la muestra se definió a partir del cálculo de la B de Skempton.

El tiempo de saturación para este tipo de probetas fue aproximadamente de ocho días. El seguimiento de la saturación se simplifica en la siguiente tabla :

Fecha	σ_c	σ_{cp}	σ_e	$\Delta\sigma_c$	Transductor	B
-----	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	-----
09/V/96	0.3	0.2	0.1	---	0.20	0.850
10/V/96	0.3	0.2	0.1	0.3	0.48	0.933
13/V/96	0.6	0.5	0.1	0.3	0.78	0.933
15/V/96	0.9	0.8	0.1	0.2	0.995	0.975
16/V/96	1.1	1.0	0.1	0.4	1.398	0.999

Donde : σ_c = esfuerzo confinante

σ_{cp} = contrapresión

σ_e = esfuerzo efectivo

$\Delta\sigma_c$ = incremento de esfuerzo

- Consolidación

* En el anexo A (tablas 4 y 5) se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de consolidación realizadas para los diferentes confinamientos, así como las curvas de consolidación respectivas.

- Determinación del módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante, para los diferentes confinamientos.

Para un esfuerzo efectivo de 0.3 kg/cm²

Se determinan los siguientes parámetros :

a) Las amplitudes de onda generadas en cada impulso (δ_{si}).

b) L_m y L_p .

L_m = es la distancia horizontal entre la primera y enésima cresta generadas en cada impulso.

L_p = es la distancia horizontal que comprende el número de pulsaciones completas que se generan en cada impulso.

c) N_m y N_p

N_m = es el número de ciclos que se generan en cada impulso.

N_p = es el número de pulsaciones que se generan en cada impulso.

Nota : Todas las longitudes deberán medirse en milímetros.

Finalmente para el primer impulso :

$$L_m = 21.90 \text{ mm}$$

$$L_p = 26.90 \text{ mm}$$

$$N_p = 2$$

$$N_m = 2$$

$$\delta_{s1} = 16.20 \text{ mm}$$

$$\delta_{s3} = 0.50 \text{ mm}$$

- Cálculo de los parámetros Δ , T_{sd} y ζ_{sd} .

Para determinar dichos parámetros se emplean las siguientes expresiones :

para el decremento logarítmico (Δ)

$$\Delta = \frac{\ln \frac{\delta_{sn}}{\delta_{sn+1}}}{N_m}$$

para el amortiguamiento del sistema (ζ_{sd})

$$\zeta_{sd}^2 = \frac{\Delta^2}{4\pi^2 + \Delta^2}$$

para el período del sistema (T_{sd})

$$T_{sd} = \frac{L_m \times N_p}{L_p \times N_m} \times f_p$$

donde :

$$f_p = t_c / t_s$$

t_c = tiempo de duración de la prueba registrada con el cronómetro en segundos

t_s = tiempo de duración de la prueba registrada por el marcador de tiempo en segundos

Al sustituir los datos en cada una de las ecuaciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados

$$f_p = 0.997$$

$$\Delta = 1.739079$$

$$T_{sd} = 0.811684 \text{ seg.}$$

$$\zeta_{sd} = 26.6753 \%$$

$$\mu = 41.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\zeta_p = 26.6717 \%$$

$$\gamma_p = 0.003051 \text{ rad}$$

Nota : Para determinar el módulo de rigidez dinámico (μ), el amortiguamiento (ζ_p) y la distorsión de la probeta (γ_p); se emplearán las expresiones mencionadas en el capítulo 1.

Los resultados para los diferentes confinamientos, se muestran en el anexo A.

- Determinación de la ley de comportamiento dinámico para la muestra No.1

Ya que se determinó un valor medio del módulo de rigidez dinámico para cada confinamiento, se dibuja la gráfica ($\sigma_c - \mu$) en papel semilogarítmico.*

* En la gráfica 1 del anexo B se presenta la ley de comportamiento de la muestra No.1

3.2 Para la muestra No 2

- Características generales de la muestra :

Obra : Hospital Juárez
Localización : Centro, Distrito Federal
Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts.
Descripción : Arcilla café rojizo con ceniza volcánica.

- Propiedades índice y mecánicas de la muestra

a) Resistencia a compresión simple (q_u)

$$q_u = 2.50 \frac{kg}{cm^2}$$

En el anexo A (tabla 12) se muestran los resultados obtenidos de la prueba de compresión simple así como la curva esfuerzo - deformación correspondiente.

b) Densidad de sólidos (S_s)

$$S_s = 2.458$$

En el anexo A (tabla 13) se muestran los resultados de la prueba de densidad de sólidos.

c) Límites

c.1) Límite líquido

$$LL = 294.00 \%$$

c.2) Límite plástico

$$LP = 157.35 \%$$

En el anexo A (tabla 14) se muestran los resultados de la prueba de límites.

- Dimensiones de la probeta :

Ds = 7.19 cm.	As = 40.60 cm ²	Wi = 829.44 gr.
Dc = 7.19 cm.	Ac = 40.60 cm ²	Vi = 691.65 cm ³
Di = 7.21 cm.	Ai = 40.82 cm ²	γ_m = 1.20 ton/m ³
Hm = 17.03 cm.	Am = 40.63 cm ²	
He = 15.14 cm.	Dm = 7.19 cm	W% = 231.18%

Donde :

Ds	=	diámetro superior
Dc	=	diámetro central
Di	=	diámetro inferior
Hm	=	altura media de la probeta
He	=	altura libre entre cabezas.
As	=	área superior
Ac	=	área central
Ai	=	área inferior
Am	=	área media
Dm	=	diámetro medio
Wi	=	peso de la probeta
Vi	=	volumen de la probeta
γ_m	=	peso volumétrico de la muestra
W%	=	contenido de agua

- Saturación

Como se menciono con anterioridad el grado de saturación de la muestra se definió a partir del cálculo de la B de Skempton.

El seguimiento de la saturación se simplifica en la siguiente tabla :

Fecha	σ_c	σ_{cp}	σ'_e	$\Delta\sigma_c$	Trasductor	B
----	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	----
05/VIII/96	0.3	0.2	0.1	---	0.20	0.800
07/VIII/96	0.3	0.2	0.1	0.3	0.48	0.933
08/VIII/96	0.6	0.5	0.1	0.3	0.785	0.950
09/VIII/96	0.9	0.8	0.1	0.3	1.095	0.983

Donde : σ_c = esfuerzo confinante

σ_{cp} = contrapresión

σ'_e = esfuerzo efectivo

$\Delta\sigma_c$ = incremento de esfuerzo

- Consolidación

En el anexo A (tablas 15 y 16) se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de consolidación realizadas para los diferentes confinamientos, así como las curvas de consolidación respectivas.

- Determinación del módulo de rigidez dinámico al esfuerzo cortante, para los diferentes confinamientos.

Para un esfuerzo efectivo de 0.3 kg/cm²

Del registro para el primer impulso :

L_m = 23.20 mm

L_p = 27.00 mm

N_p = 2

N_m = 2

δ_{s1} = 19.80 mm

δ_{s3} = 3.90 mm

Al sustituir los datos en cada una de las ecuaciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados

$$\begin{aligned}f_p &= 1.006 \\ \Delta &= 0.812353 \\ T_{sd} &= 0.864415 \quad \text{seg.} \\ \zeta_{sd} &= 0.128222 \quad \% \\ \mu &= 32.55 \quad \text{kg/cm}^2 \\ \zeta_p &= 0.128091 \quad \% \\ \gamma_p &= 0.003908 \quad \text{rad}\end{aligned}$$

Nota : Para determinar el módulo de rigidez dinámico (μ), el amortiguamiento (ζ_p) y la distorsión de la probeta (γ_p); se emplearán las expresiones mencionadas en el capítulo I de este trabajo.

Los resultados para los diferentes confinamientos, se muestran en el anexo A.

- Determinación de la ley de comportamiento dinámico para la muestra No.2

Ya que se determinó un valor medio del módulo de rigidez dinámico para cada confinamiento, se dibuja la gráfica ($\sigma_c - \mu$) en papel semilogarítmico.

En la gráfica 2 del anexo B se presenta la ley de comportamiento de la muestra No.2

Proyecto : Tesis C.A.C
Localización : Ciudad de México

RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO M-18 Y M-23

Prueba #	Sondeo	Muestra	Descripción	Profundidad (m)
P1	SM-2	M-18	Arcilla verde olivo	11.20 a 12.20
P2	SM-2	M-23	Arcilla café rojizo c / ceniza volcánica	14.60 a 15.60

γ t/m ³	LL %	Lp %	qu kg/cm ²	Ss -----	W % testigos	W % muestra	Esfuerzo efectivo en campo kg / cm ²
1.13	453.50	244.11	1.35	2.42	321.51	320.77	0.60
1.20	294.00	157.35	2.50	2.46	231.18	230.18	0.70

Esfuerzo confinanste kg/cm ²	Mod. de rig. dinam. al esf. cortante			
	No. de masas = 1		No. de masas = 3	
	M - 18	M - 23	M - 18	M - 23
0.3	31.27	30.11	35.13	33.71
0.6	36.24	35.45	40.50	38.48
0.9	47.64	40.87	43.88	42.52
1.2	42.46	49.23	42.33	51.77
1.5	49.94		49.56	
2.4		93.12		102.77

4.Comparación de los resultados obtenidos con el péndulo de vibración libre y otros equipos.

4.1 Características generales de la prueba down-hole y columna resonante.

a) Prueba de superficie - pozo (down-hole)

En la prueba de superficie-pozo, se aplica una excitación a la masa de suelo , mediante detonaciones de cartuchos de escopeta calibre 12.

El tren de ondas generado se registra en un pozo de medición, con un transductor tridimensional empotrado a la pared de la perforación. El transductor consta de un geófono vertical y dos horizontales , todos ortogonales entre si que se colocan a varias profundidades durante el ensaye. Los geófonos mandan su señal a un equipo de registro para graficar el tren de ondas generado.

Este método proporciona valores promedio de la velocidad de propagación de ondas entre la fuente de excitación y los sensores , y con esta información se pueden conocer las propiedades dinámicas del material empleando una serie de ecuaciones.

b) Prueba de columna resonante

Este ensaye se basa en la teoría de propagación de ondas en barras de longitud finita. De acuerdo con esta teoría la frecuencia de resonancia de una barra depende de sus condiciones de frontera.

La prueba consiste en excitar longitudinal o torsionalmente uno de los extremos de la columna del material, que puede ser sólida o hueca, hasta encontrar la frecuencia de resonancia del especimen.

La frecuencia de resonancia está asociada a la amplitud de vibración de respuesta máxima del especimen de suelo.

Conocida la frecuencia de resonancia, la geometría y las condiciones de frontera del especimen así como el tipo de onda generada, se pueden obtener las velocidades V_s o V_p según el caso.

Los módulos dinámicos G y E se obtienen en función de V_s y V_p respectivamente.

4.2 Comparación de los resultados

Para establecer una comparación cien por ciento sustentable en los resultados obtenidos por los métodos mencionados, es necesario ajustar dichos valores con los correspondientes al péndulo de torsión en base a la magnitud de algunos parámetros tales como la distorsión (γ), el amortiguamiento (ζ) y el esfuerzo de confinamiento (σ). Por lo anterior es de considerar la condición de realizar tal comparación por separado, es decir, primero se presentará la correspondiente al péndulo vs Down-hole, y en segundo término se tendrá péndulo vs columna resonante.

a) Péndulo de vibración libre vs Down - Hole

Los resultados que se obtuvieron al aplicarse esta prueba en el sitio de donde se extrajeron las muestras m-18 y m-23, son los siguientes:

Profundidad (m)	Litología -----	γ (gr /cm ³)	ν ----	μ (kg/cm ²)	E (t/cm ²)
0.0 - 1.4	Depósitos de relleno en estado suelto	1.4	0.43	20.00	0.05
1.4 - 8.0	Limos de alta plasticidad con arenas en estado firme	1.35	0.49	340.00	1.01
8.0 - 33.7	Arcillas blandas de alta plasticidad que constituyen la denominada formación arcillosa superior	1.20	0.49	90.00	0.27

33.7 - 37.3	Arenas arcillosas en estado firme, denominada capa dura	1.23	0.49	780.0	2.33
mayor a 37.30	Depósitos profundos formados por pequeñas capas de limos arcillas, arenas y cenizas volcánicas en estado firme	1.42	0.49	1120.0	3.34

Al considerar los valores anteriores , así como el diagrama de esfuerzos efectivos, es posible comparar estos resultados con los respectivos al péndulo de torsión.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de tal comparación :

Profundidad (m)	Muestra #	ω %	σ_c kg/cm ²	Down-hole μ kg/cm ²	Péndulo μ kg/cm ²
11.20 - 12.20	m - 18	320	0.60	90	36.24
14.60 - 15.60	m - 23	231	0.70	90	38.00

Al analizar los valores de la tabla anterior y considerando que los tipos de prueba son muy diferentes (una es de campo y la otra de laboratorio) , puede apresiarse que los módulos de rigidez dinámico al esfuerzo cortante varían de acuerdo con el tipo de prueba con la cual se determinaron, no obstante que el material sea el mismo, debido a que las condiciones de presión, humedad y temperatura " in situ " y en el laboratorio son diferentes, así como los tiempos de aplicación , deformaciones y niveles de esfuerzo.

No obstante de la diferencia entre los resultados obtenidos , es posible emplear un factor de correlación entre la prueba down - hole y el péndulo de torsión; que para este caso será:

a) de down-hole a péndulo de torsión

$$C = (38 / 90)$$

$$C = 0.42$$

b) de péndulo de torsión a down-hole

$$C = (90 / 38)$$

$$C = 2.37$$

En conclusión las pruebas de campo ofrecen resultados confiables, pero no suficientes ; ya que es necesario completarlas con pruebas de laboratorio.

b) Péndulo de torsión vs Columna resonante

La prueba de columna resonante aporta una mayor cantidad de elementos a comparar.

En este caso el módulo de rigidez , el amortiguamiento y la distorsión angular, serán los parámetros a considerar.

b.1) distorsión angular vs μ

Del péndulo de torsión y de la columna resonante se obtuvieron (para un confinante de 0.3 kg/cm²), los siguientes resultados :

Muestra : m - 23
 Profundidad : 14.60 a 15.60 mts
 Localización : Ciudad de México
 Sondeo : sm - 2

distorsión angular	Péndulo de torsión mod. de rig. dina. al esf. corta.	Columna resonante mod. de rig. dina. al esf. corta.
γ %	μ kg/cm ²	μ kg/cm ²
0.00056		54.22
0.00135		53.42
0.00280		53.03
0.00607		53.18
0.01400		52.78
0.02801		51.95
0.06161		49.94
0.16896		44.42
0.54000	30.10	

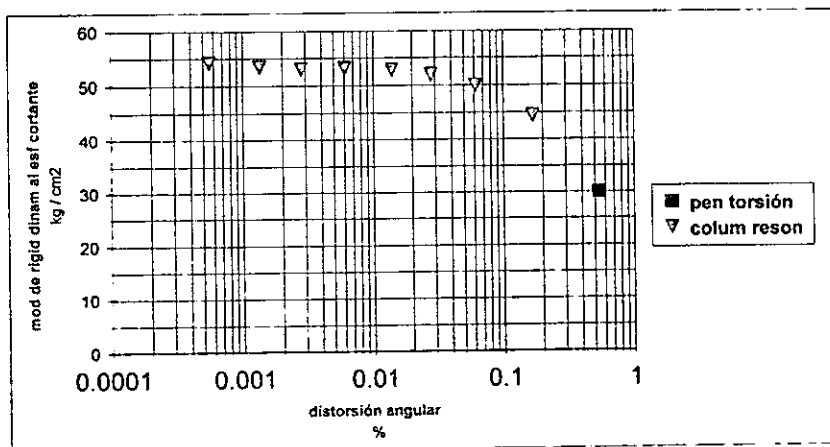
determinándose la gráfica 1 .

De la gráfica se observa que el punto correspondiente al péndulo de torsión mantiene la misma tendencia que presentan los puntos correspondientes a la prueba de columna resonante. Este proceso se realizó para cada uno de los esfuerzos de confinamiento, a los cuales fue sometida la muestra. Cabe resaltar que los puntos obtenidos con el péndulo de torsión mantuvieron una tendencia satisfactoria en cada uno de los casos.

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 0.3 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %
0.00056	30.10	54.22
0.00135		53.42
0.00280		53.03
0.00607		53.18
0.01400		52.78
0.02801		51.95
0.06161		49.94
0.16896		44.42
0.54000		

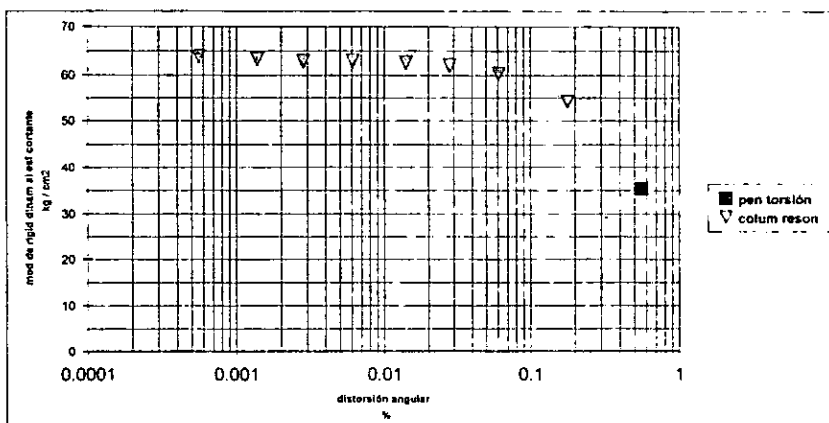


Grafica # 1

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 0.6 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %
0.00056	35.45	63.82
0.00138		63.3
0.00282		62.77
0.00610		62.9
0.01408		62.56
0.02816		62.01
0.06101		60.32
0.17834		54.19
0.55800		

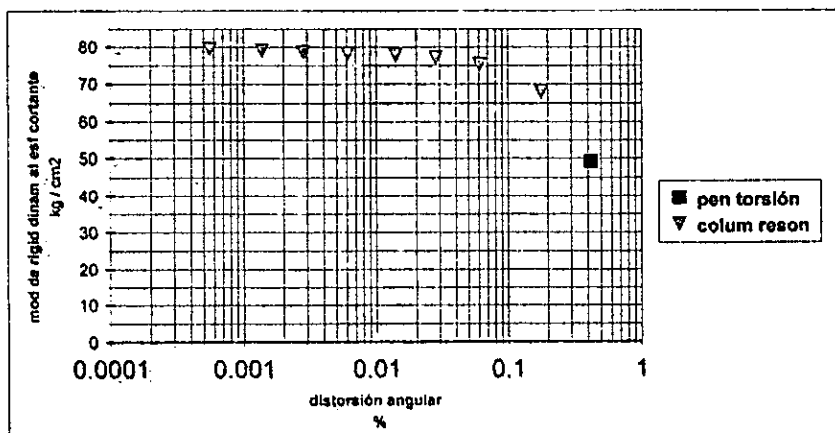


Grafica # 2

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 1.2 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %
0.00056		79.6
0.00138		79.13
0.00282		78.68
0.00610		78.25
0.01408		77.81
0.02816		77.11
0.06101		75.35
0.17834		67.92
0.42000	49.22	

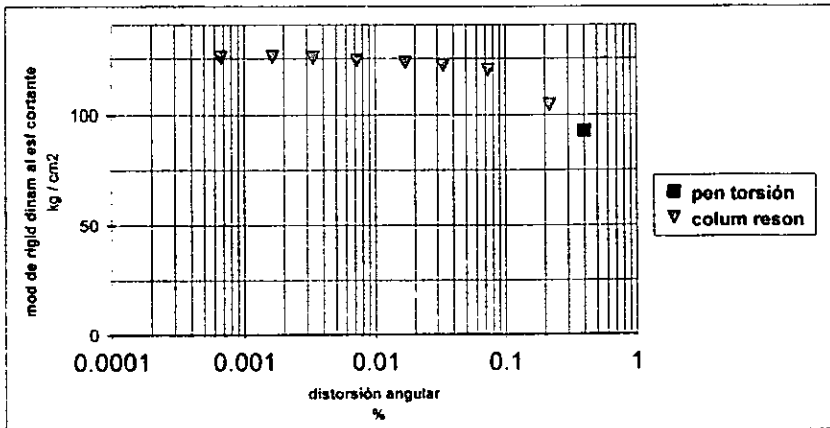


Grafica # 3

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 2.4 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %	mod.de rig. dinam. al esf. cort. μ %
0.00067	93.12	125.38
0.00165		125.61
0.00335		125.27
0.00726		123.97
0.01702		122.92
0.03348		121.65
0.07367		119.5
0.21765		104.24
0.40000		



Grafica # 4

b.2) distorsión vs amortiguamiento

A diferencia del punto anterior , en este caso se determinaron los valores correspondientes al amortiguamiento que para un confinamiento de 0.3 kg/cm² , se obtuvieron los siguientes resultados :

distorsión angular	Péndulo de torsión amortiguamiento	Columna resonante amortiguamiento
γ %	ζ %	ζ %
0.00056		1.78
0.00135		1.61
0.00280		1.53
0.00607		1.38
0.01400		1.45
0.02801		1.97
0.06161		2.26
0.16896		3.85
0.54000	8.66	

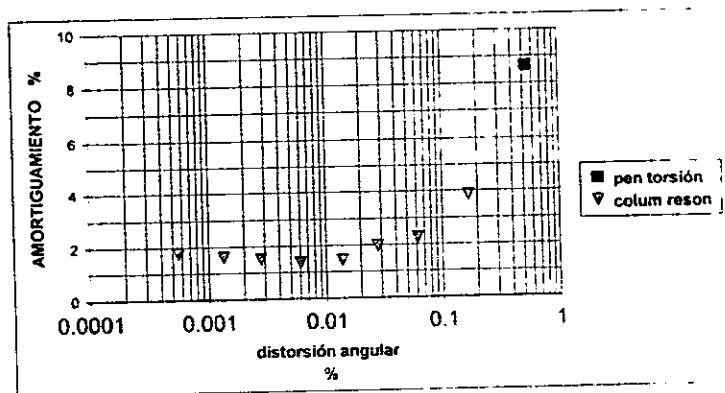
determinándose la gráfica 5 .

Donde el punto correspondiente al péndulo de torsión mantuvo una tendencia aceptable.
El procedimiento se siguió para cada uno de los esfuerzos de confinamiento , obteniéndose resultados convincentes.

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 0.3 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión amortig. libre	columna resonante amortig. libre
	ζ %	ζ %
0.00056	8.66	1.78
0.00135		1.61
0.00280		1.53
0.00607		1.38
0.01400		1.45
0.02801		1.97
0.06161		2.26
0.16896		3.85
0.54000		

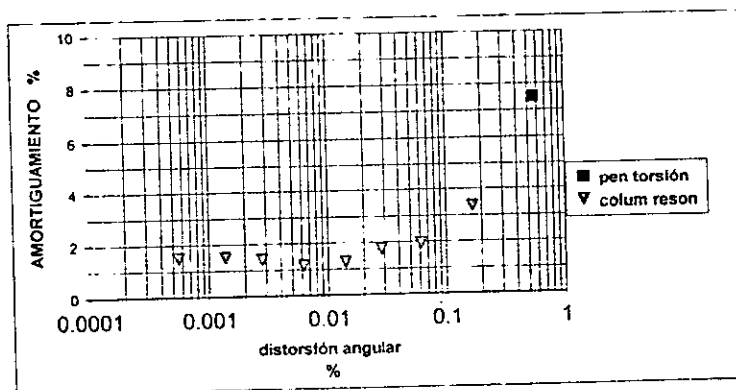


Grafica # 5

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 0.6 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	amortig. libre ζ %	amortig. libre ζ %
0.00056	7.50	1.51
0.00138		1.52
0.00279		1.41
0.00623		1.17
0.01406		1.28
0.02835		1.74
0.06138		1.94
0.16868		3.36
0.55800		

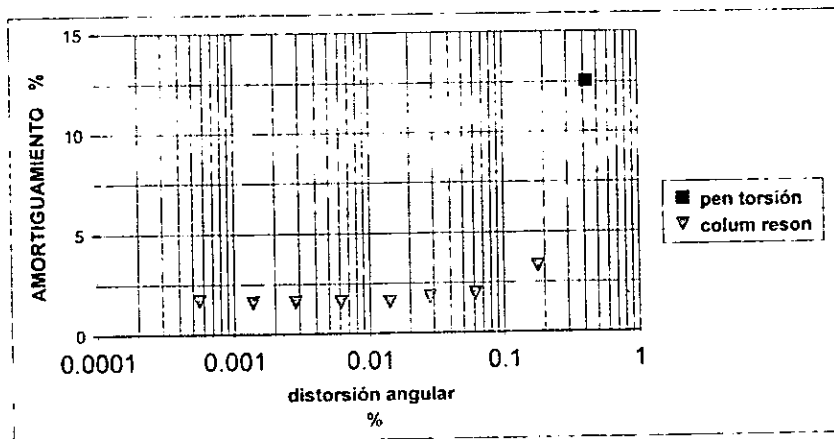


Grafica # 6

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 1.20 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	amortig. libre ζ %	amortig. libre ζ %
0.00056		1.69
0.00138		1.57
0.00282		1.60
0.00610		1.59
0.01408		1.57
0.02816		1.81
0.06101		1.95
0.17834		3.31
0.42000	12.57	

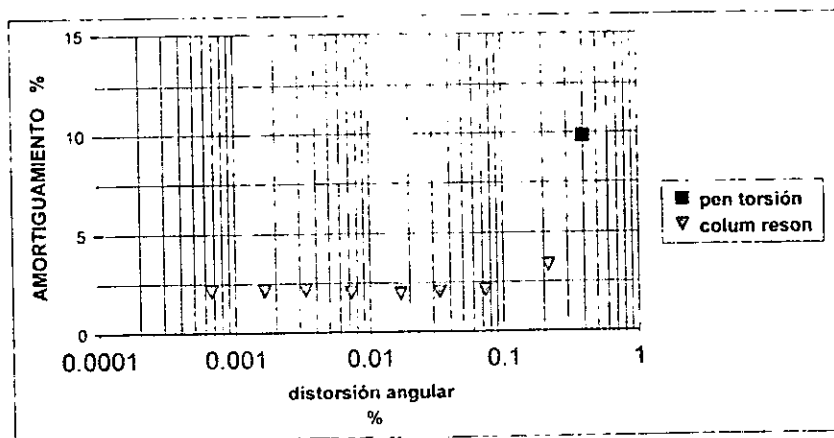


Grafica # 7

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM - 2
Muestra : M - 23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts
Esfuerzo efectivo : 2.40 kg/cm²

distorsión angular γ %	pendulo de torsión	columna resonante
	amortig. libre ζ %	amortig. libre ζ %
0.00067		2.10
0.00165		2.10
0.00335		2.15
0.00726		2.01
0.01702		1.94
0.03348		2.00
0.07367		2.08
0.21765		3.35
0.40000	9.86	



Grafica # 8

c) Comentarios

Al considerar los argumentos anteriores se puede afirmar que el objetivo de este trabajo se logró cumplir satisfactoriamente ; no hay que olvidar que para poder comparar estos resultados fue necesario trabajar bajo las mismas condiciones en lo referente a la magnitud de los parámetros principalmente a lo que distorsiones se refiere.

Cabe resaltar que se presentaron variaciones en algunos resultados, específicamente en los generados por los dos últimos confinamientos (1.2 y 2.4 kg/cm²).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

5. Aplicación de los parámetros dinámicos obtenidos a un problema real.

Un problema importante en ingeniería sísmica de cimentaciones es la determinación del modo fundamental de vibración de un depósito de sedimentos suaves. Esta propiedad física se usa en la solución de varios problemas dinámicos de ingeniería de cimentaciones. Con este propósito el valor medio de la rigidez μ debe determinarse para cada estrato del subsuelo por medio de muestras de suelo inalteradas. Con el valor de μ se calcula la velocidad de la onda de cortante V_s , empleando la siguiente expresión :

$$V_s = \sqrt{\mu / \rho}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

γ = peso volumétrico

El periodo fundamental del depósito puede determinarse por medio del método de la velocidad de onda .

$$T_s = 4 \sum \frac{d_i}{V_{si}}$$

donde :

d_i = espesor del estrato

V_{si} = velocidad de la onda de cortante.

Por lo tanto $\frac{d_i}{V_{si}}$ representa el tiempo que toma la onda de cortante para atravesar el estrato i .
De donde la suma de los tiempos para n estratos, desde la superficie del suelo hasta la base firme será $1/4$ del periodo dominante del depósito de suelo suave.

Al emplear los resultados obtenidos con la prueba down-hole y corrigiéndolos con el factor de corrección ($C= 0.42$), determinado en el punto anterior se obtienen los siguientes valores para μ .

Profundidad m	Estrato #	Espesor del estrato m	γ kg/m ³	μ kg/m ²	μ_c kg/m ²
0.0 - 1.4	1	1.40	1400	200000	84000
1.4 - 8.0	2	6.60	1350	3400000	1428000
8.0 - 33.7	3	25.70	1200	900000	378000
33.7 - 37.3	4	3.60	1230	7800000	3276000

Estrato #	ρ_i	V_{si}	d_i / V_{si}
1	142.71	24.26	0.05770
2	137.61	101.87	0.06479
3	122.32	55.59	0.46232
4	125.38	161.64	0.02227

Suma = 0.60708

$$T_s = 4 * (0.60708)$$

$$T_s = 2.4284 \text{ seg}$$

6. Conclusiones

Para finalizar este trabajo es de comentarse los siguientes puntos :

1) Modificaciones al instrumento

El péndulo de vibración libre resultó ser un método tan confiable como otros de su tipo. Sin embargo, para determinar los parámetros del suelo, no basta emplear pruebas de laboratorio; es necesario complementar la información con pruebas de campo.

Conforme se fueron realizando las pruebas se presentaron algunos inconvenientes :

a) La necesidad de disminuir las dimensiones de la muestra.

Las dimensiones de especímenes que se emplearon en el péndulo de torsión son relativamente grandes y esto provoca tiempos de saturación y consolidación largos (saturación de 2 a 3 semanas y consolidación de 4 a 5 días, en arcillas).

Por lo anterior recomiendo disminuir las dimensiones de la muestra; considerando que la resultante deberá ser **representativa** del sitio de donde se extrajo.

De hecho el cambio en las dimensiones de la muestra no debe tomarse como una decisión arbitraria, ya que es necesario mantener la relación de rigidez entre el aparato y ésta.

b) Desechar el empleo de los filtros de arena.

El emplear filtros de arena en la muestra genera un gran problema, que se refleja en la etapa de saturación ya que este proceso se torna excesivamente largo. Esto se debe a que no es posible saturar al cien por ciento la arena que contienen, esto provoca que dichos filtros contengan cantidades de aire no deseado.

c) Colocar rótulas en la unión vástago - broquero.

Durante la realización de la prueba observé que se generaba un exceso de fricción en la unión vástago-broquero esto se debe principalmente a que el vástago no se mantiene a plomo una vez hincado en la muestra, para absorber dicha deflexión es necesario colocar algún sistema que la disminuya o nulifique, esto se logra colocando rótulas en todas y cada una de las uniones existentes.

d) La necesidad de automatizar el instrumento.

Debido a que todos los procesos (saturación, consolidación, aplicación del impulso, etc.) que se aplican en la realización de ésta prueba son manuales, no es posible controlarlos con exactitud; lo que trae como consecuencia resultados poco precisos.

Por lo anterior, es necesario automatizar el instrumento, es decir, implementar softwares en los siguientes procesos:

- Saturación y consolidación. Se requiere que de manera automática y precisa se asignen los esfuerzos efectivos a la muestra y se controlen las variaciones volumétricas que experimenta la muestra en función del agua que desaloja.
- Aplicación del impulso. Durante la comparación de resultados fue necesario ajustar los valores obtenidos de las otras pruebas al péndulo de torsión ya que el rango de distorsiones empleado en los otros equipos puede programarse, de tal manera que sería conveniente que nuestro equipo tuviese algún sistema electromecánico con el cual logremos programar la magnitud del impulso que se le aplica al brazo y así obtener la distorsión requerida para cada caso.

En conclusión si tomamos en cuenta las recomendaciones anteriores podremos lograr valores no exactos pero si con la suficiente precisión, que traería como consecuencia pruebas con mayor calidad en la obtención de resultados.

anexo A

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

Prueba Triaxial : Compresion Simple

DATOS GENERALES

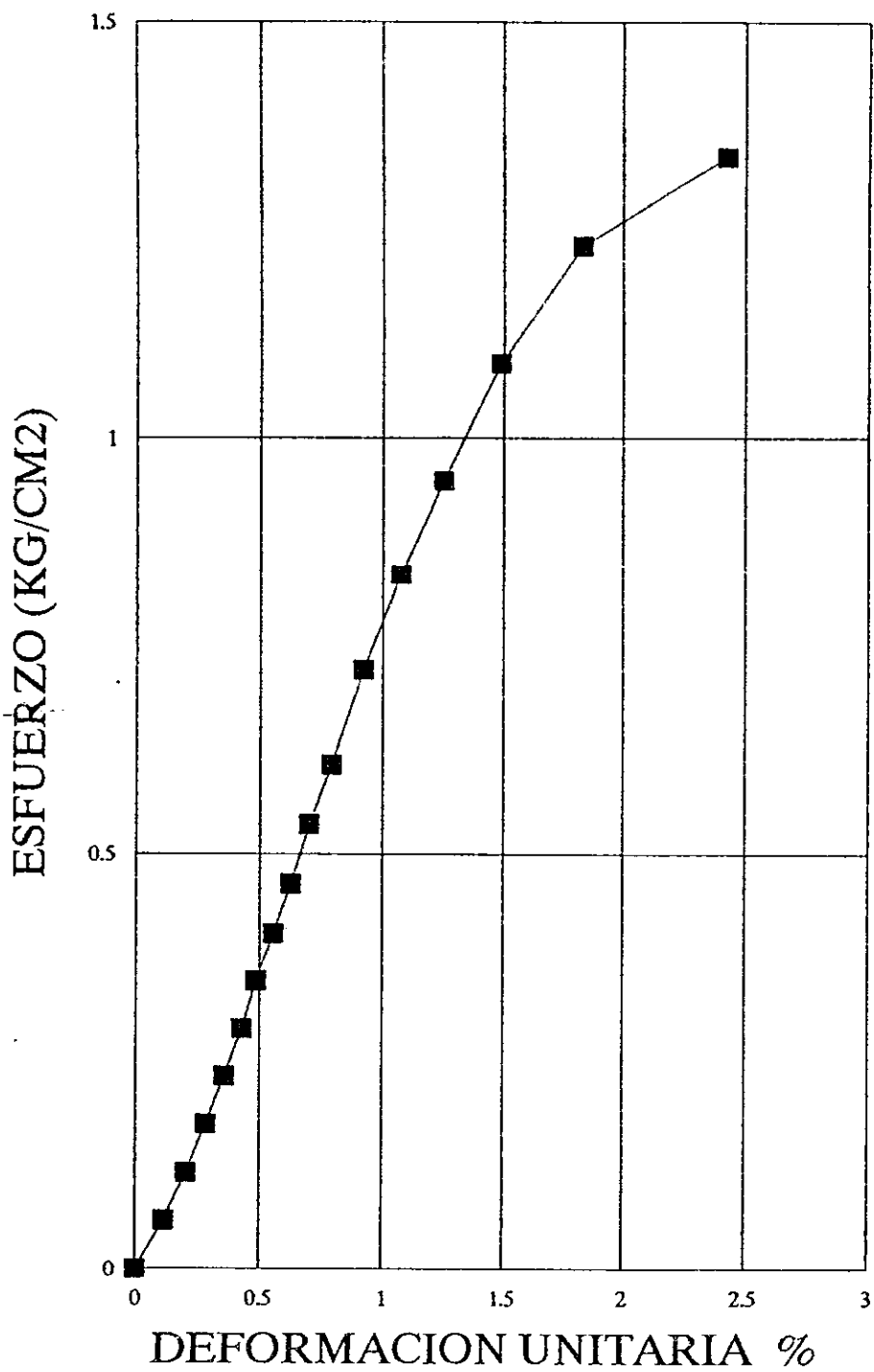
Ds = 6.69 cm
Dm = 6.53 cm
Di = 6.61 cm
H1 = 14.34 cm
H2 = 14.375 cm
H3 = 14.35 cm
Wi = 576.15 gr

Diametro medio = 6.61 cm
Altura promedio = 14.355 cm
Area = 34.3157 cm²

Peso Volumetrico = 1.169606 T/cm³
w (%) = 250.636 %

tiempo min	carga kg.	lectura mm	def tot mm	def unit	def unit %	1-def unit	area corr cm ²	esfuerzo kg/cm ²
0	0	15.578	0	0	0	1	34.3157	0
1	2	15.41	0.168	0.00117	0.117032	0.99883	34.3559	0.058214
2	4	15.28	0.298	0.002076	0.207593	0.997924	34.38708	0.116323
3	6	15.17	0.408	0.002842	0.284222	0.997158	34.41351	0.17435
4	8	15.06	0.518	0.003608	0.36085	0.996392	34.43997	0.232288
5	10	14.96	0.618	0.004305	0.430512	0.995695	34.46407	0.290157
6	12	14.88	0.698	0.004862	0.486242	0.995138	34.48337	0.347994
7	14	14.78	0.798	0.005559	0.555904	0.994441	34.50752	0.405709
8	16	14.68	0.898	0.006256	0.625566	0.993744	34.53171	0.463342
9	18.5	14.57	1.008	0.007022	0.702194	0.992978	34.55836	0.535326
10	21	14.44	1.138	0.007928	0.792755	0.992072	34.58991	0.607113
11	25	14.25	1.328	0.009251	0.925113	0.990749	34.63612	0.72179
12	29	14.03	1.548	0.010784	1.07837	0.989216	34.68978	0.835981
13	33	13.78	1.798	0.012525	1.252525	0.987475	34.75096	0.949614
14	38	13.44	2.138	0.014894	1.489377	0.985106	34.83451	1.090872
15	43	12.95	2.628	0.018307	1.830721	0.981693	34.95564	1.230131
16	47	12.1	3.478	0.024228	2.422849	0.975772	35.16776	1.336451

Tabla 1



Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

Prueba : DENSIDAD DE SOLIDOS

Muestra No	M-18
Matraz No	3
Metodo de ext de aire	Bomba de vacio
W bws (grs)	700.01
Temperatura T °c	33.40
W bw (grs)	684.29
W mst (grs)	196.85
Tara (grs)	169.77
Ws (grs)	26.83
Ss	2.415

Donde :

W bws = peso del matraz + agua + muestra a T°C

W bw = peso del matraz + agua a T°C (de la curva de calibracion)

W mst = peso del suelo seco + peso de la tara

Ws = peso del suelo seco

Ss = Densidad de solidos

$$Ss = Ws / (Wbw + Ws - Wbsw)$$

Tabla 2

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

Prueba : LIMITES DE PLASTICIDAD

LIMITE LIQUIDO

Prueba No --	Capsula No --	No. de Golpes --	W cap+sh g	W cap+ss g	W agua g	W cap g	W ss g	w (%) --
1	A-8	8	69.06	62.195	6.865	60.69	1.505	456.14
2	X-5	15	46.10	39.470	6.630	37.95	1.520	436.18
3	X-8	27	70.38	62.320	8.060	60.41	1.910	421.98
4	A-5	32	68.94	62.10	6.840	60.41	1.690	404.73

LIMITE PLASTICO

Prueba No --	Capsula No --	No. de Golpes --	W cap+sh g	W cap+ss g	W agua g	W cap g	W ss g	w (%) --
1	X-0	--	61.19	60.12	1.07	59.69	0.43	248.83
2	W-2	--	61.37	60.13	1.24	59.62	0.51	243.13
3	X-9	--	39.61	38.36	1.25	37.84	0.52	240.38

contenido de agua w (%) = 321.51 %
 limite liquido LL = 423.50 %
 limite plastico Lp = 244.11 %
 indice de plasticidad Ip = 179.39 %

Tabla 3

D A T O S D E C O N S O L I D A C I O N

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 - 12.20 mts

Fecha de inicio = 20/06/96 esfuerzo efectivo = 1.30 Kg/cm2 contra presión = 1.00 kg/cm2 esfuerzo efectivo = 0.30 kg/cm2				Fecha de inicio = 24/06/96 esfuerzo efectivo = 2.10 Kg/cm2 contra presión = 1.50 kg/cm2 esfuerzo efectivo = 0.60 kg/cm2				Fecha de inicio = 27/06/96 esfuerzo efectivo = 2.40 Kg/cm2 contra presión = 1.50 kg/cm2 esfuerzo efectivo = 0.90 kg/cm2			
Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura
hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm
0	2.10	10800	13.65	0	5.00	10800	28.95	0	2.20	10800	28.00
4	2.50	14400	14.20	4	5.50	14400	29.35	4	2.60	14400	30.65
7	2.70	18000	14.51	7	5.60	18000	29.90	7	2.70	18000	32.57
10	2.80	21600	14.85	10	5.65	21600	30.15	10	2.80	21600	35.40
12	2.85	25200	15.25	12	5.70	52200	32.75	12	2.85	25200	38.60
15	2.90	28800	15.30	15	5.80	154800	36.15	15	2.95	28800	40.40
20	3.00	32400	15.30	20	5.90			20	3.05	69660	49.10
25	3.10			25	5.95			25	3.12	74088	49.70
30	3.20			30	6.00			30	3.20	77688	50.00
40	3.40			40	6.20			40	3.40	81288	50.40
50	3.50			50	6.40			50	3.52	84888	50.80
60	3.60			60	6.55			60	3.70	88488	51.20
78	4.00			78	7.00			78	4.00	92088	51.60
120	4.15			120	7.32			120	4.31	95688	51.90
138	4.35			138	7.69			138	4.65	99288	52.30
180	4.55			180	8.00			180	4.90	102888	52.60
240	4.89			240	8.55			240	5.39	106488	53.00
300	5.19			300	9.01			300	5.80	110088	53.50
420	5.60			420	9.91			420	6.65	113688	53.60
600	6.26			600	11.05			600	7.75	117288	54.00
900	7.12			900	12.61			900	9.31	353088	64.70
1200	7.75			1200	14.50			1200	10.60		
1800	8.72			1800	16.31			1800	12.92		
2400	9.75			2400	18.19			2400	14.70		
3000	10.27			3000	19.69			3000	16.25		
3600	10.82			3600	21.48			3600	17.51		
4500	11.60			4500	23.05			4500	19.85		
5400	12.05			5400	24.30			5400	21.49		
6300	12.40			6300	25.61			6300	22.81		
7200	12.70			7200	26.70			7200	24.05		
9000	13.30			9000	28.39			9000	26.18		

Tabla 4

D A T O S D E C O N S O L I D A C I O N

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 - 12.20 mts

Fecha de inicio = 04/07/96				Fecha de inicio = 08/07/96			
esfuerzo efectivo = 2.70 Kg/cm2				esfuerzo efectivo = 2.10 Kg/cm2			
contra presión = 1.50 kg/cm2				contra presión = 1.50 kg/cm2			
esfuerzo efectivo = 1.20 kg/cm2				esfuerzo efectivo = 0.60 kg/cm2			

Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura
hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm
0	2.30	10800	20.80
4	2.50	14400	23.29
7	2.60	18000	25.90
10	2.60	21600	28.15
12	2.70	25200	29.15
15	2.72	57600	40.05
20	2.80	61200	40.65
25	2.90	64800	41.45
30	2.92	72000	42.15
40	3.00	75600	43.45
50	3.05	79200	44.34
60	3.20	82800	45.20
78	3.40	86400	46.15
120	3.50	90000	46.70
138	3.80	93600	47.40
180	4.05	97200	48.40
240	4.20	100800	49.15
300	4.49	241200	53.60
420	5.00	244800	53.79
600	5.60	248400	53.94
900	6.50	252000	54.19
1200	7.39	320400	57.09
1800	8.90	324000	57.29
2400	10.39	327600	57.49
3000	11.49	331200	57.59
3600	12.50	334800	58.07
4500	14.19	338400	58.39
5400	15.00	342000	58.64
6300	16.40		
7200	17.35		
9000	19.00		

Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura
hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm
0	8.20	10800	39.80	241200	112.10	846000	136.20
4	8.40	14400	44.90	248400	112.75		
7	8.50	18000	48.00	252000	113.45		
10	8.60	21600	51.50	255600	114.20		
12	8.65	75600	78.50	259200	114.80		
15	8.70	79200	80.30	262800	115.25		
20	8.75	82800	82.30	266400	115.70		
25	8.80	86400	83.30	270000	116.20		
30	8.90	90000	84.40	273600	116.50		
40	8.95	93600	85.70	277200	117.10		
50	9.00	97200	86.70	280800	117.50		
60	9.10	100800	87.80	316800	120.90		
78	9.20	104400	88.90	320400	121.20		
120	9.50	108000	89.90	324000	121.40		
138	9.70	111600	90.60	327600	121.60		
160	10.00	151200	99.60	331200	121.90		
240	10.50	154800	100.20	334800	122.10		
300	10.85	158400	100.80	338400	122.40		
420	11.71	162000	101.50	342000	122.60		
600	12.81	165600	101.90	349200	123.15		
900	14.70	169200	102.40	356400	124.00		
1200	16.40	176400	103.35	363600	124.20		
1800	18.91	180000	104.00	367200	124.60		
2400	21.25	183600	104.50	414000	127.00		
3000	23.65	187200	105.10	500400	127.20		
3600	25.00	190800	105.70	504000	127.30		
4500	27.25	194400	106.05	586800	131.25		
5400	29.25	198000	106.35	597600	131.50		
6300	31.20	230400	111.10	608400	131.85		
7200	33.00	234000	111.50	673200	133.40		
9000	35.70	237600	111.80	759600	135.10		

Tabla 5

PRUEBA DE PÉNDULO DE TORSIÓN

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

PROBETA DE SUELO				DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
De = 7.150 cm	HT1 = 17.110 cm			Do = 7.183 cm	Ao = 40.5174 cm²	MASAS	Ja	Js	Ta
Dm = 7.190 cm	HT2 = 17.110 cm			HTo = 17.110 cm		Nº	kg-cm-seg²		seg
DI = 7.200 cm	HT3 = 17.110 cm			HEo = 15.193 cm		1	8.6820	0.508844	0.357603
W = 789.06 gr	HE1 = 15.240 cm					1	8.6820	0.508844	0.357603
	HE2 = 15.170 cm			PESO VOL = 1.13820 t/m³					
	HE3 = 15.170 cm			Contenido de agua = 321.51 %					
				Compresión simple (Qu) = 1.35 kg/cm²					
DATOS DE CONSOLIDACIÓN									
ESFc = 1.30 kg/cm²	ESFc' = 0.30 kg/cm²			Acons = 40.3584 cm²		MASAS	Ja	ka	C
ESFcp = 1.00 kg/cm²	DeltaVol = 2.7200 cm³			Dc = 7.168 cm		Nº			
						1	0.015017	0.717781	0.051399
						1	0.015017	0.717781	0.051399

NOTACIÓN

Ta = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
Ja = Amortiguamiento del equipo	ESFcp = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
Ja = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
Js = Momento polar de inercia Masas-suelo	
Nm = Número de masas en la prueba realizada	Qu = Resistencia en compresión simple
FAT = Factor de ajuste del tiempo	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm²)
DecLog = Decremento logarítmico	Sp = Amortiguamiento de la probeta (%)

ESFc' = 0.30 kg/cm²

Número de corrida = 1
Nm = 1
FAT = 0.9970
Valores medios
μ = 31.271 kg/cm²
Sp = 8.423 %

DesvStand-Ts = 0.0156
DesvStand-μ = 1.3581
DesvStand-Sp = 0.5658

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Ja	μ kg/cm²	Qu/μ	Sp %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	23.80	2	26.90	2	16.20	6.00	0.49663	0.88210	0.07879	31.12422	0.04337	8.59377	0.50299	4.23379
2	23.80	2	26.90	2	17.50	6.90	0.46534	0.88210	0.07386	31.09598	0.04341	8.05210	0.55018	4.23379
3	24.50	2	26.90	2	17.90	6.90	0.47664	0.90805	0.07564	29.03016	0.04850	8.20404	0.55614	4.06776
4	23.80	2	26.90	2	17.80	6.40	0.51145	0.88210	0.08113	31.13825	0.04336	8.85014	0.54944	4.23379
5	24.00	2	26.90	2	19.00	7.90	0.43879	0.88952	0.06967	30.45775	0.04432	7.57986	0.59505	4.18485
6	24.00	2	27.00	2	19.20	7.80	0.45039	0.88622	0.07150	30.73854	0.04392	7.78619	0.59400	4.20645
7	23.50	2	27.30	2	16.90	5.80	0.53473	0.85822	0.08480	33.29196	0.04055	9.30273	0.52403	4.40043
8	23.80	2	27.70	2	17.60	6.30	0.51367	0.85663	0.08148	33.41997	0.04040	8.94032	0.52816	4.41208
9	24.50	2	27.70	2	19.50	7.30	0.49127	0.88182	0.07795	31.14302	0.04335	8.50162	0.57730	4.23567
10														
11														
12														

Número de corrida = 2
Nm = 1
FAT = 1.0180
Valores medios
μ = 32.135 kg/cm²
Sp = 8.781 %

DesvStand-Ts = 0.0271
DesvStand-μ = 2.3465
DesvStand-Sp = 0.7543

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Ja	μ kg/cm²	Qu/μ	Sp %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	23.00	2	27.30	2	15.00	5.50	0.50185	0.85766	0.07959	33.31057	0.04053	8.72900	0.31466	7.64098
2	24.50	2	27.30	2	17.80	7.40	0.43886	0.91359	0.06968	28.58565	0.04723	7.54485	0.38346	6.99835
3	22.70	2	27.30	2	14.90	5.00	0.54596	0.84647	0.08657	34.43981	0.03920	9.52509	0.31005	7.78555
4	23.00	2	27.30	2	16.70	5.80	0.52878	0.85766	0.08386	33.33697	0.04049	9.20059	0.35002	7.64098
5	23.70	2	27.30	2	16.80	6.00	0.51481	0.88376	0.08166	31.00204	0.04355	8.90503	0.35662	7.32558

Proyecto : Tesis C.A.C
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

Ds = 7.150 cm	HT1 = 17.110 cm
Dm = 7.190 cm	HT2 = 17.110 cm
Di = 7.200 cm	HT3 = 17.110 cm
W = 789.06 gr	HE1 = 15.240 cm
	HE2 = 15.170 cm
	HE3 = 15.170 cm

Do =	7.183 cm	Ao =	40.5174 cm²
HTo =	17.110 cm		
HEo =	15.193 cm		
PESO VOL =	1.13820 t/m³		
Contenido de agua =	321.51 %		
Compresión simple (Qu) =	1.35 ka/cm²		

MASAS	Ja	Ja	Ta
N°	kg-cm-seg*		seg
1	8.6820	0.508044	0.357603
3	12.8573	0.753555	0.427998

MASAS	Ja	ka	C
N°	---		
1	0.015017	0.717781	0.051399
3	0.016950	0.742062	0.076117

ISFc = 2.10 kg/cm² ESFc' = 0.60 kg/cm² Acons = 40.3584 cm²
 3Fcp = 1.50 kg/cm² DeltaVol = 2.7200 cm³ Dc = 7.168 cm

TA = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
ts = Amortiguamiento del equipo	ESFcp = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
ss = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
Js = Momento polar de inercia Masas-suelo	
Nm = Número de masas en la prueba realizada	Qu = Resistencia en compresión simple
FAT = Factor de ajuste del tiempo	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm ²)
DecLog = Decremento logarítmico	sp = Amortiguamiento de la probeta (%)

$$ESFc' = 0.60 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida =	1	DesvStand-Ts =	0.0223
Nm =	1	DesvStand-μ =	2.3575
FAT =	1.0010	DesvStand-§p =	1.3754

Valores medios

μ =	36.240 kg/cm ²
s_p =	14.264 %

[illegible]

Número da corrida =	2	DesvStand- T_9 =	0.0454
Nm =	3	DesvStand- μ =	4.7691
FAT =	1.0025	DesvStand- ϕ_p =	2.8135

Valores medios	
$\mu =$	40.495 kg/cm ²
$\xi p =$	12.839 %

[illegible]

PRUEBA DE PÉNDULO DE TORSIÓN

Proyecto: Tesis C.A.C
Localización: Ciudad de México

Sondeo: SM-2
Muestra: M-18
Profundidad: 11.20 a 12.20 m

PROBETA DE SUELO			DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
Da = 7.150 cm	HT1 = 17.110 cm		Do = 7.183 cm	Ao = 40.5174 cm ²	MASAS	Ja	Js	Ta
Dm = 7.190 cm	HT2 = 17.110 cm		HTo = 17.110 cm		N°	kg-cm-seg ²		seg
DI = 7.200 cm	HT3 = 17.110 cm		HEo = 15.183 cm		1	8.6820	0.508844	0.357603
W = 789.06 gr	HE1 = 15.240 cm		PESO VOL = 1.13820 t/m ³		3	12.8573	0.753555	0.427998
	HE2 = 15.170 cm		Contenido de agua = 321.51 %					
	HE3 = 15.170 cm		Compresión simple (Qu) = 1.35 kg/cm ²		MASAS		ka	C
					N°	---		
					1	0.015017	0.717781	0.051399
					3	0.016950	0.742062	0.076117

DATOS DE CONSOLIDACIÓN			
ESFc = 2.40 kg/cm ²	ESFc' = 0.90 kg/cm ²	Acons = 40.3584 cm ²	Dc = 7.168 cm
ESFcp = 1.50 kg/cm ²	DeltaVol = 2.7200 cm ³		

NOTACIÓN	
Ta = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
Ja = Amortiguamiento del equipo	ESFcp = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
Js = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
Ja = Momento polar de inercia Masas-suelo	Qu = Resistencia en compresión simple
Nm = Número de masas en la prueba realizada	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm ²)
FAT = Factor de ajuste del tiempo	Sp = Amortiguamiento de la probeta (%)
DecLog = Decremento logarítmico	

$$ESFc' = 0.90 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida = 1	DesvStand-Ts = 0.0345
Nm = 1	DesvStand-μ = 5.3235
FAT = 1.0020	DesvStand-Sp = 1.4557
Valores medios	
μ = 47.644 kg/cm ²	
Sp = 15.066 %	

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Js	μ kg/cm ²	Qu/μ	Sp %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	30.08	3	26.80	2	18.50	2.00	0.74154	0.74976	0.11721	47.09393	0.02887	13.31028	0.49510	11.92614
2	29.40	3	26.90	2	17.90	2.00	0.73055	0.73008	0.11549	50.46585	0.02675	13.22030	0.41464	12.44773
3	32.00	3	27.00	2	17.00	1.50	0.80925	0.79170	0.12774	41.10440	0.03284	14.29770	0.51471	10.96124
4	28.00	3	26.50	2	18.50	1.90	0.75854	0.70581	0.11987	55.31541	0.02441	13.87566	0.39543	13.16650
5	29.00	3	26.80	2	15.50	1.00	0.91361	0.72284	0.14389	52.33768	0.02579	16.53538	0.43230	12.65298
6	30.05	3	27.00	2	16.90	1.00	0.94244	0.74346	0.14833	48.87325	0.02774	16.89913	0.46234	12.08768
7	30.00	3	27.20	2	18.00	1.50	0.82830	0.73678	0.13070	49.51548	0.02728	14.92540	0.45095	12.26491
8	31.00	3	27.27	2	14.20	0.90	0.91953	0.75937	0.14481	46.00047	0.02935	16.39505	0.49411	11.68854
9	33.00	3	27.00	2	17.50	1.10	0.92230	0.81644	0.14523	38.28757	0.03526	16.13869	0.59411	10.46891
10														
11														
12														

Número de corrida = 2	DesvStand-Ts = 0.0249
Nm = 3	DesvStand-μ = 2.9880
FAT = 1.0025	DesvStand-Sp = 1.5556
Valores medios	
μ = 43.884 kg/cm ²	
Sp = 18.885 %	

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Js	μ kg/cm ²	Qu/μ	Sp %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	37.10	3	27.00	2	14.00	0.80	0.95407	0.91834	0.15012	46.39527	0.02910	16.94431	0.38907	6.93409
2	37.90	3	27.00	2	14.10	0.70	1.00095	0.93814	0.15732	44.05993	0.03064	17.65793	0.39258	6.70995
3	38.00	3	28.00	2	17.00	0.50	1.17545	0.90702	0.18389	48.63016	0.02778	20.83721	0.43759	7.06985
4	38.50	3	27.00	2	17.00	0.90	0.97952	0.95299	0.15404	42.28624	0.03193	17.21895	0.45586	6.55212
5	38.10	3	27.00	2	17.00	0.60	1.11468	0.94309	0.17468	43.80320	0.03082	19.58382	0.44936	6.65641
6	39.00	3	27.00	2	19.00	0.80	1.05586	0.96537	0.16572	41.13457	0.03282	18.46954	0.51625	8.42675
7	39.50	3	27.00	2	19.00	0.50	1.21253	0.97775	0.18948	40.28130	0.03351	21.05863	0.51393	8.30659
8	37.00	3	27.00	2	15.10	0.50	1.13595	0.91566	0.17791	47.28632	0.02855	20.10327	0.40300	6.96329
9	39.00	3	27.00	2	20.00	0.90	1.03370	0.96537	0.16234	41.07577	0.03207	18.09139	0.52693	6.42675

Proyecto : Tesis C.A.C
Localización : Ciudad de Mexico

PROBETA DE SUELO		DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
				MASAS	J _a	J _s	T _a
				N°	kg-cm-seg²		seg
D _s = 7.150 cm	HT ₁ = 17.110 cm	Do = 7.183 cm	Ao = 40.5174 cm²	1	8.6820	0.508544	0.357603
D _m = 7.190 cm	HT ₂ = 17.110 cm	HTo = 17.110 cm		3	12.8573	0.753555	0.427998
Di = 7.200 cm	HT ₃ = 17.110 cm	HEo = 15.193 cm					
W = 789.06 gr	HE ₁ = 15.240 cm	PESO VOL =	1.13820 t/m³				
	HE ₂ = 15.170 cm	Contenido de agua =	321.51 %				
	HE ₃ = 15.170 cm	Compresión simple (Qu) =	1.35 kg/cm²				
DATOS DE CONSOLIDACIÓN				MASAS	sa	ka	C
				N°	---		
ESFc = 2.70 kg/cm²	ESFc' = 1.20 kg/cm²	Acoris = 40.3584 cm²		1	0.015017	0.717781	0.061396
SFcp = 1.50 kg/cm²	DeltaVc = 2.7200 cm³	Dc = 7.168 cm		3	0.016950	0.742062	0.076117

Ta = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
sa = Amortiguamiento del equipo	ESFcp = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
ss = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
Js = Momento polar de inercia Masas-suelo	
Nm = Número de masas en la prueba realizada	Qu = Resistencia en compresión simple
FAT = Factor de ajuste del tiempo	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm ²)
DecLog = Decremento logarítmico	sp = Amortiguamiento de la probeta (%)

[illegible]

npulso N°	Ln mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog ---	Ts seg	ss ---	μ kg/cm ²	Qui μ ---	\$p %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	25.30	2	27.00	2	15.00	5.10	0.53940	0.93938	0.08553	42.93748	0.03144	9.56946	0.45201	4.51684
2	25.50	2	27.00	2	14.90	5.00	0.54596	0.94681	0.06657	42.10224	0.03206	9.66670	0.44369	4.46315
3	25.00	2	27.00	2	13.80	4.00	0.60820	0.98284	0.09635	44.36844	0.03043	10.82202	0.39821	4.60014
4	26.00	2	27.00	2	16.10	6.00	0.49353	0.96537	0.07831	40.03410	0.03372	8.69585	0.48964	4.33491
5	25.50	2	27.00	2	14.20	4.70	0.55284	0.94681	0.08765	42.11231	0.03208	9.78850	0.43350	4.46315
6	26.00	2	27.00	2	15.10	5.20	0.53302	0.96537	0.08453	40.08503	0.03368	9.39302	0.47883	4.33491
7	24.90	2	27.00	2	13.50	4.00	0.60820	0.92453	0.09635	44.82406	0.03012	10.83551	0.40727	4.62867
8	25.00	2	27.00	2	13.90	4.00	0.62280	0.92824	0.09884	44.39392	0.03041	11.08099	0.40794	4.60014
9	26.00	2	27.00	2	15.50	5.20	0.54609	0.96537	0.08659	40.10276	0.03366	9.62348	0.45825	4.33491
10	26.90	2	27.00	2	15.80	5.90	0.49253	0.99879	0.07815	36.80217	0.03668	8.61179	0.47686	4.12350

PRUEBA DE PÉNDULO DE TORSIÓN

Proyecto : Tesis C.A.C
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-18
Profundidad : 11.20 a 12.20 m

PROBETA DE SUELO			DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
$D_s = 7.150 \text{ cm}$	$HT1 = 17.110 \text{ cm}$		$D_o = 7.183 \text{ cm}$	$A_o = 40.5174 \text{ cm}^2$	MASAS	J_a	J_s	T_a
$D_m = 7.190 \text{ cm}$	$HT2 = 17.110 \text{ cm}$		$HT_o = 17.110 \text{ cm}$		N°	kg-cm-seg²		seg
$D_i = 7.200 \text{ cm}$	$HT3 = 17.110 \text{ cm}$		$HE_o = 15.193 \text{ cm}$		1	8.6820	0.508844	0.357603
$W = 789.06 \text{ gr}$	$HE1 = 15.240 \text{ cm}$				3	12.8573	0.753555	0.427998
	$HE2 = 15.170 \text{ cm}$							
	$HE3 = 15.170 \text{ cm}$							
DATOS DE CONSOLIDACIÓN			PESO VOL = 1.13820 t/m³		MASAS			
$ESFc = 3.00 \text{ kg/cm}^2$	$ESFc' = 1.50 \text{ kg/cm}^2$	$A_{cons} = 40.3584 \text{ cm}^2$	Contenido de agua = 321.51 %		N°	—	—	—
$ESFc_p = 1.50 \text{ kg/cm}^2$	$\Delta Vol = 2.7200 \text{ cm}^3$	$D_c = 7.168 \text{ cm}$	Compresión simple (Q_u) = 1.35 kg/cm²		1	0.015017	0.717781	0.051399
					3	0.016950	0.742062	0.076117

NOTACIÓN

T_a = Período del equipo	$ESFc$ = Esfuerzo confinante
$\$a$ = Amortiguamiento del equipo	$ESFc_p$ = Esfuerzo de contrapresión
T_s = Período del sistema (equipo-suelo)	$ESFc'$ = Esfuerzo confinante efectivo
$\$s$ = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	ΔVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y_1 = Amplitud del primer ciclo	A_{cons} = Área consolidada
Y_n = Amplitud del ciclo n-ésimo	D_c = Diámetro consolidado
J_s = Momento polar de inercia Masas-suelo	Q_u = Resistencia en compresión simple
N_m = Número de masas en la prueba realizada	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm²)
FAT = Factor de ajuste del tiempo	$\$p$ = Amortiguamiento de la probeta (%)
$DecLog$ = Decremento logarítmico	

$$ESFc' = 1.50 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida = 1 DesvStand-Js = 0.0170
Nm = 1 DesvStand-μ = 2.9843
FAT = 0.9920 DesvStand-§p = 0.5541

Valores medios
μ = 49.941 kg/cm²
§p = 7.894 %

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	§s	μ kg/cm²	Qu/μ	§p %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	20.00	2	26.50	2	15.70	6.10	0.47269	0.74868	0.07502	46.76988	0.02886	8.48973	0.41173	5.89506
2	19.80	2	27.00	2	16.50	7.00	0.42873	0.72747	0.06908	50.35888	0.02681	7.77115	0.43394	6.17495
3	19.10	2	26.50	2	17.60	7.80	0.40689	0.71499	0.06462	52.69455	0.02562	7.41218	0.45411	6.35400

Número de corrida = 2 DesvStand-Ts = 0.0223
Nm = 3 DesvStand-μ = 3.2612
FAT = 1.0030 DesvStand-§p = 0.9946

Valores medios
μ = 49.564 kg/cm²
§p = 7.384 %

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	§s	μ kg/cm²	Qu/μ	§p %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	25.00	2	27.00	2	25.50	11.00	0.42039	0.92870	0.06676	44.03910	0.03065	7.47058	0.68135	6.10281
2	23.60	2	27.00	2	23.90	11.00	0.38799	0.87670	0.06163	51.06740	0.02644	6.99816	0.63996	6.68507
3	23.30	2	27.00	2	24.90	10.00	0.45614	0.86555	0.07241	52.92291	0.02551	8.27436	0.63353	6.82650
4	22.90	2	27.00	2	24.50	10.00	0.44804	0.85069	0.07113	55.41048	0.02436	6.17094	0.63590	7.02587
5	24.00	2	27.00	2	27.90	11.50	0.44314	0.89158	0.07035	46.94505	0.02758	7.96603	0.74347	6.50635
6	24.00	2	27.00	2	27.50	11.10	0.45362	0.89156	0.07201	48.96014	0.02757	8.15598	0.72759	6.50635
7	24.50	2	27.00	2	27.90	11.70	0.43452	0.91013	0.06899	46.39148	0.02910	7.76509	0.75468	6.29738
8	24.00	2	27.00	2	22.80	13.00	0.28091	0.89156	0.04466	46.75665	0.02769	5.00611	0.79544	6.50635
9	24.00	2	27.50	2	27.30	12.00	0.41099	0.87535	0.06527	51.30621	0.02631	7.42203	0.69704	6.70186
10	25.00	2	27.90	2	31.40	15.00	0.36938	0.89875	0.05869	47.84118	0.02822	6.61066	0.82729	6.42364

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 a 15.60 m

Prueba Triaxial : Compresion Simple

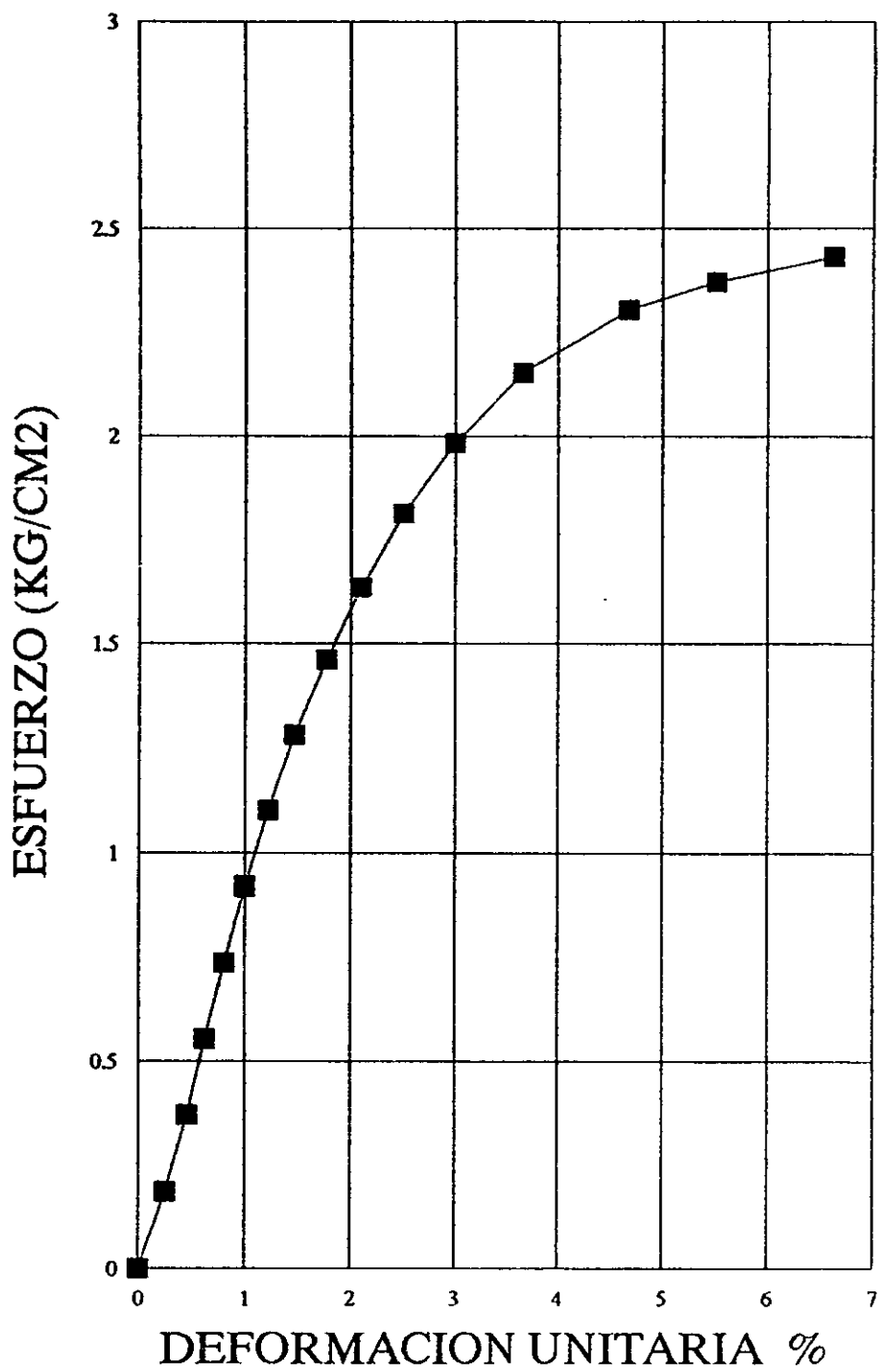
DATOS GENERALES

Ds = 3.71 cm
Dm = 3.7 cm
Di = 3.69 cm
H1 = 8.58 cm
H2 = 8.58 cm
H3 = 8.58 cm
Wi = 116.725 gr

Diametro medio = 3.7 cm
Altura promedio = 8.58 cm
Area = 10.7521 cm²
Peso Volumetrico = 1.26527 T/cm³
w (%) = 151 %

tiempo min	carga kg.	lectura mm	def tot mm	def unit	def unit %	1-def unit	area corr cm ²	esfuerzo kg/cm ²
0	0	18.385	0	0	0	1	10.7521	0
2	2	18.169	0.216	0.002517	0.251748	0.997483	10.77924	0.185542
4	4	17.995	0.39	0.004545	0.454545	0.995455	10.8012	0.370329
6	6	17.851	0.534	0.006224	0.622378	0.993776	10.81944	0.554557
8	8	17.699	0.686	0.007995	0.799534	0.992005	10.83876	0.738092
10	10	17.529	0.856	0.009977	0.997669	0.990023	10.86045	0.920772
12	12	17.339	1.046	0.012191	1.219114	0.987809	10.8848	1.102455
14	14	17.13	1.255	0.014627	1.462704	0.985373	10.91171	1.283026
16	16	16.87	1.515	0.017657	1.765734	0.982343	10.94537	1.451806
18	18	16.58	1.805	0.021037	2.10373	0.978963	10.98316	1.638873
20	20	16.239	2.146	0.025012	2.501166	0.974988	11.02793	1.813577
22	22	15.815	2.57	0.029953	2.995338	0.970047	11.08411	1.984824
24	24	15.245	3.14	0.036597	3.659674	0.963403	11.16054	2.150434
26	26	14.37	4.015	0.046795	4.679487	0.953205	11.27994	2.304976
27	27	13.65	4.735	0.055186	5.518648	0.944814	11.38013	2.372556
28	28	12.7	5.685	0.066259	6.625874	0.933741	11.51508	2.431595

Tabla 12



Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 a 15.60 m

Prueba : DENSIDAD DE SOLIDOS

Muestra No	M-23
Matraz No	1
Metodo de ext de aire	Bomba de vacio
W bws (grs)	695.59
Temperatura T °c	34.00
W bw (grs)	671.583
W mst (grs)	213.410
Tara (grs)	172.77
Ws (grs)	40.29
Ss	2.458

onde :

/ bws = peso del matraz + agua + muestra a T°C

/ bw = peso del matraz + agua a T°C (de la curva de calibracion)

/ mst = peso del suelo seco + peso de la tara

/s = peso del suelo seco

s = Densidad de solidos

$$Ss = Ws / (Wbw + Ws - Wbsw)$$

Tabla 13

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 a 15.60 m

Prueba : LIMITES DE PLASTICIDAD

LIMITE LIQUIDO

Prueba No	Capsula No	No. de Golpes	W cap+sh g	W cap+ss g	W agua g	W cap g	W ss g	w (%)
--	--	--						--
1	C-5	38	48.21	40.705	7.505	38.07	2.635	284.819
2	X-1	46	69.81	62.84	6.970	60.38	2.460	283.333
3	A-7	7	47.26	40.26	7.000	38.07	2.190	319.634

LIMITE PLASTICO

Prueba No	Capsula No	No. de Golpes	W cap+sh g	W cap+ss g	W agua g	W cap g	W ss g	w (%)
--	--	--						--
1	Y-1	--	40.14	38.69	1.45	37.78	0.91	159.340
2	Y-5	--	39.61	38.74	0.87	38.09	0.65	133.846
3	B-4	--	29.58	27.97	1.61	27.07	0.90	178.889

Contenido de agua w (%) = 231.18 %
 Limite liquido LL = 294.00 %
 Limite plastico Lp = 157.35 %
 Indice de plasticidad Ip = 136.65 %

Tabla 14

D A T O S D E C O N S O L I D A C I O N

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts

Fecha de inicio = 09/08/96 esfuerzo efectivo : 1.40 Kg/cm2 contra presión = 1.10 kg/cm2 esfuerzo efectivo : 0.30 kg/cm2				Fecha de inicio : 10/08/96 esfuerzo efectivo : 1.70 Kg/cm2 contra presión = 1.10 kg/cm2 esfuerzo efectivo : 0.60 kg/cm2				Fecha de inicio : 13/08/96 esfuerzo efectivo : 2.00 Kg/cm2 contra presión = 1.10 kg/cm2 esfuerzo efectivo : 0.90 kg/cm2			
Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm	Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm	Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm	Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm	Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm	Tiempo hh:mm:ss	Lectura cm
0	3.20	10800	9.20	0	4.00	10800	26.70	0	5.10	10800	30.50
4	3.30	14400	9.30	4	4.30	14400	27.30	4	5.60	14400	31.79
7	3.40			7	4.40	18000	27.70	7	5.90	18000	35.59
10	3.45			10	4.50	21600	28.00	10	6.20	21600	36.39
12	3.48			12	4.55	25200	28.40	12	6.45	25200	37.49
15	3.50			15	4.60	28800	28.70	15	6.70	29000	43.59
20	3.52			20	4.75	32400	29.00	20	6.90	35600	43.89
25	3.60			25	4.90	36000	34.70	25	7.00	39200	44.19
30	3.65			30	5.00	39600	34.85	30	7.10	42800	44.39
40	3.70			40	5.10	43200	34.87	40	7.50	46400	44.69
50	3.80			50	5.30	46800	35.05	50	7.80	50000	44.99
60	4.00			60	5.60	50400	35.10	60	8.10	53600	45.28
78	4.10			78	7.50	111600	35.15	78	8.75	97200	45.49
120	4.30			120	8.60	115200	35.70	120	9.35	100800	45.89
138	4.50			138	9.50			138	10.00	104400	46.04
180	4.69			180	10.30			180	10.45	108000	46.19
240	4.97			240	11.48			240	11.40	111600	46.39
300	5.15			300	12.40			300	12.10	162000	49.99
420	5.50			420	14.05			420	13.55	165600	50.29
600	6.10			600	15.90			600	15.20	187200	51.24
900	7.00			900	18.10			900	17.39	190800	51.64
1200	7.40			1200	19.70			1200	19.00	255600	53.69
1800	7.90			1800	21.80			1800	21.45	266400	54.09
2400	8.10			2400	23.00			2400	22.95	270000	54.14
3000	8.30			3000	23.90			3000	24.28	273600	54.29
3600	8.55			3600	24.70			3600	25.26	277200	54.39
4500	8.70			4500	25.05			4500	26.34	338400	55.79
5400	8.85			5400	25.50			5400	27.35	342000	55.88
6300	8.95			6300	25.85			6300	28.09	345600	55.91
7200	9.00			7200	26.05			7200	28.71	349200	56.00
9000	9.10			9000	26.48			9000	29.60	352800	56.09

Tabla 15

D A T O S D E C O N S O L I D A C I O N

Proyecto : Tesis C.A.C.
Localización : Ciudad de México

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 - 15.60 mts

Fecha de inicio = 20/08/96 esfuerzo efectivo : 2.30 Kg/cm2 contra presión = 1.10 kg/cm2 esfuerzo efectivo : 1.20 kg/cm2						Fecha de inicio : 30/08/96 esfuerzo efectivo : 3.50 Kg/cm2 contra presión = 1.10 kg/cm2 esfuerzo efectivo : 2.40 kg/cm2					
Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura	Tiempo	Lectura
hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm	hh:mm:ss	cm
0	1.20	10800	23.85	190800	70.58	0	2.00	10800	125.95	273600	311.35
4	2.00	12600	25.00	198000	71.18	4	3.80	12600	134.20	288000	312.55
7	2.05	14400	25.90	205200	71.53	7	4.00	14400	141.50	302400	313.80
10	2.10	18000	27.55	212400	72.23	10	4.20	16200	149.60	345600	316.87
12	2.20	21600	28.95	262800	76.98	12	4.40	18000	155.75	363600	317.95
15	2.30	25200	30.25	266400	77.28	15	4.55	19800	161.60	381600	318.95
20	2.40	28800	31.80	270000	77.58	20	4.75	21600	166.55	388800	319.65
25	2.50	32400	32.55	273600	77.73	25	5.00	23400	171.20	396000	319.90
30	2.60	36000	33.45	277200	77.93	30	5.25	25200	175.80	432000	321.77
40	2.80	39600	34.30	280800	78.22	40	5.70	27000	181.20	446400	322.40
50	2.95	75600	43.85	284400	78.43	50	6.10	28800	185.50	475200	323.75
60	3.20	79200	44.38	360000	81.93	60	6.50	32400	192.85	540000	326.35
78	3.65	82800	59.47	446400	87.08	78	7.80	36000	199.10	565200	327.35
120	4.05	86400	59.92	453600	87.23	120	8.75	39600	204.75	604800	332.85
138	4.40	90000	60.43	460800	87.53	138	9.80	43200	209.70	619200	333.10
180	4.80	93600	61.08	471600	87.93	180	10.70	46800	214.35	633600	333.45
240	5.40	97200	61.68	478800	88.33	240	12.50	50400	253.85		
300	5.90	100800	62.08	486000	88.53	300	14.20	93600	256.35		
420	6.95	104400	62.48	507600	89.32	420	17.40	97200	258.25		
600	8.10	108000	63.03	514800	89.52	600	21.50	100800	260.00		
900	9.75	111600	63.43	522000	89.78	900	27.40	104400	261.80		
1200	11.10	115200	63.98	536400	89.93	1200	32.60	108000	263.60		
1800	13.20	118800	64.38	543600	90.23	1800	42.15	111600	264.95		
2400	14.75	122400	64.78	550800	90.48	2400	50.35	115200	266.65		
3000	16.40	126000	65.38	558000	90.78	3000	62.6	118800	267.95		
3600	17.25	162000	68.43	594000	91.43	3600	71.60	122400	269.35		
4500	18.55	165600	68.70	601200	91.62	4500	78.90	172800	299.05		
5400	19.70	169200	68.98	608400	91.75	5400	92.00	183600	300.35		
6300	20.35	172800	69.23	615600	91.84	6300	98.55	201600	302.45		
7200	21.20	176400	69.52	622800	92.04	7200	104.60	223200	306.15		
9000	22.65	183600	70.08	640800	92.54	9000	116.10	259200	310.00		

Tabla 16

Proyecto : Tesis C.A.C
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 a 15.60 m

PROBETA DE SUELO		DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
				MASAS			
				Ja Js Ts			
				N° kg-cm-seg² seg			
Ds = 7.190 cm	HT1 = 17.030 cm	Do = 7.195 cm	Ao = 40.6585 cm²	1	0.6820	0.504770	0.357803
Dm = 7.190 cm	HTo = 17.070 cm	HTo = 17.023 cm		3	12.8573	0.747521	0.427998
Di = 7.210 cm	HT3 = 16.970 cm	HEo = 15.177 cm					
W = 829.44 gr	HE1 = 15.050 cm	PESO VOL = 1.9838 t/m³					
	HE2 = 15.240 cm	Contenido de agua = 231.19 %					
	HE3 = 15.060 cm	Compresión simple (Qu) = 2.5 kg/cm²					
DATOS DE CONSOLIDACIÓN				MASAS			
				N° s a ka C			
ESFc = 1.40 kg/cm²	ESFc' = 0.30 kg/cm²	Acons = 40.4987 cm²		1	0.015017	0.717781	0.051132
SFcp = 1.10 kg/cm²	DetaVol = 2.7200 cm³	Dc = 7.181 cm		3	0.018950	0.742062	0.075722

Ta = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
§a = Amortiguamiento del equipo	ESFcP = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
§s = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
Js = Momento polar de inercia Masas-suelo	
Nm = Número de masas en la prueba realizada	Qu = Resistencia en compresión simple
FAT = Factor de ajuste del tiempo	µ = Módulo cortante dinámico (kg/cm ²)
DecLog = Decremento logarítmico	ρp = Amortiguamiento de la probeta (%)

$$ESFc' = 0.30 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida =	1	DesvStand - Ts =	0.0185
Nm =	1	DesvStand - μ =	1.5259
FAT =	1.0060	DesvStand - δp =	0.5789
Valores medios			
μ =	30.106 kg/cm ²		
δp =	8.668 %		

[illegible]

Número de corrida =	2	DesvStand - Ts =	0.0425
Nm =	3	DesvStand - μ =	3.6070
FAT =	0.9940	DesvStand - σ_p =	1.1160
Valores medios			
μ =	33.705 kg/cm ²		
σ_p =	9.458 %		

[illegible]

PRUEBA DE PÉNDULO DE TORSIÓN

Proyecto : Tesis C.A.C
Localizacion : Ciudad de Mexico

Sondeo : SM-2
Muestra : M-23
Profundidad : 14.60 a 15.60 m

PROBETA DE SUELO		DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
$D_s = 7.190 \text{ cm}$	$HT1 = 17.030 \text{ cm}$	$D_o = 7.195 \text{ cm}$	$A_o = 40.6585 \text{ cm}^2$	MASAS	Ja	Js	Ta
$D_m = 7.190 \text{ cm}$	$HT2 = 17.070 \text{ cm}$	$HTo = 17.023 \text{ cm}$		Nº	kg-cm-seg ²		seg
$D_i = 7.210 \text{ cm}$	$HT3 = 16.970 \text{ cm}$	$HEo = 15.177 \text{ cm}$		1	8.6820	0.504770	0.357603
$W = 829.44 \text{ gr}$	$HE1 = 15.050 \text{ cm}$			3	12.8573	0.747521	0.427998
	$HE2 = 15.240 \text{ cm}$						
	$HE3 = 15.060 \text{ cm}$						
		PESO VOL = 1.9836 t/m ³					
		Contenido de agua = 231.19 %					
		Compresión simple (Q_u) = 2.5 kg/cm ²					
DATOS DE CONSOLIDACION				MASAS			
				Nº	g	ka	C
ESFc = 1.70 kg/cm ²	ESFc' = 0.60 kg/cm ²	Acons = 40.4987 cm ²		1	0.015017	0.717781	0.051132
ESFcp = 1.10 kg/cm ²	DeltaVol = 2.7200 cm ³	Dc = 7.181 cm		3	0.016950	0.742062	0.075722

NOTACIÓN

Ta = Período del equipo	ESFc = Esfuerzo confinante
sa = Amortiguamiento del equipo	ESFcp = Esfuerzo de contrapresión
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)	ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
sa = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)	DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Y1 = Amplitud del primer ciclo	Acons = Área consolidada
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo	Dc = Diámetro consolidado
J = Momento polar de inercia Masas-suelo	
Nm = Número de masas en la prueba realizada	Ou = Resistencia en compresión simple
FAT = Factor de ajuste del tiempo	μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm ²)
DecLog = Decremento logarítmico	sp = Amortiguamiento de la probeta (%)

$$ESFc' = 0.60 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida =	1	DesvStand - Ts =	0.0313
Nm =	1	DesvStand - μ =	3.9295
FAT =	1,0039	DesvStand - δp =	0.8392
Valores medios			
μ =	35.450 kg/cm ²		
δp =	8.100 %		

[illegible]

Número de corrida =	2	DesvStand - Ts =	0.0193
Nm =	3	DesvStand - μ =	2.0113
FAT =	0.9950	DesvStand - $\hat{s}_p$ =	0.7179
Valores medios			
μ =	38.487 kg/cm ²		
$\hat{s}_p$ =	7.993 %		

[illegible]

impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog ---	Ts seg	§s ---	μ kg/cm²	Qui/ μ ---	§p ---	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	49.00	4	40.00	3	17.10	3.60	0.38954	0.92334	0.06188	44.29942	0.05643	6.92679	0.43106	3.49216
2	49.50	4	40.50	3	19.00	4.00	0.38954	0.92125	0.06188	44.55675	0.05611	6.93085	0.47057	3.50446
3	50.50	4	40.50	3	22.80	5.00	0.37933	0.93986	0.06026	42.33985	0.05905	6.71308	0.56690	3.39833
4	51.50	4	40.80	3	24.50	5.80	0.36020	0.95142	0.05723	41.03791	0.06092	6.35134	0.62171	3.33595
5	51.00	4	41.00	3	20.50	3.50	0.44192	0.93759	0.07016	42.66823	0.05859	7.83740	0.47238	3.41094
6	52.00	4	41.10	3	21.00	3.60	0.44090	0.95365	0.07000	40.88189	0.06115	7.78668	0.53156	3.32428
7	52.00	4	41.50	3	22.00	3.80	0.43901	0.94446	0.06970	41.88696	0.05968	7.77140	0.56341	3.37321

PRUEBA DE PÉNDULO DE TORSIÓN

Proyecto: Tesis C.A.C.
Localización: Ciudad de México

Sondeo: SM-2
Muestra: M-23
Profundidad: 14.60 a 15.60 m

PROBETA DE SUELO			DATOS PROMEDIO		PROPIEDADES DEL PÉNDULO DE TORSIÓN			
Do = 7.190 cm	HT1 = 17.030 cm		Do = 7.195 cm	Ao = 40.6585 cm²	MASAS	Ja	Js	Ta
Dm = 7.190 cm	HT2 = 17.070 cm		HTo = 17.023 cm		N°	kg-cm-seg²		seg
Di = 7.210 cm	HT3 = 16.970 cm		HEo = 15.177 cm		1	8.6820	0.504770	0.357803
W = 829.44 gr	HE1 = 15.050 cm		PESO VOL = 1.19836 t/m³		3	12.8573	0.747521	0.427998
	HE2 = 15.240 cm		Contenido de agua = 231.19 %					
	HE3 = 15.060 cm		Compresión simple (Qu) = 2.5 kg/cm²					
DATOS DE CONSOLIDACIÓN			Acons = 40.4987 cm²		MASAS	Ja	Js	Ta
ESFc = 2.30 kg/cm²	ESFc' = 1.20 kg/cm²		Dc = 7.181 cm		N°	kg-cm-seg²		seg
ESFcP = 1.10 kg/cm²	DeltaVol = 2.7200 cm³				1	0.015017	0.717781	0.051132
					3	0.016950	0.742062	0.075722

NOTACIÓN

Ta = Período del equipo
Ja = Amortiguamiento del equipo
Ts = Período del sistema (equipo-suelo)
Js = Amortiguamiento del sistema (equipo-suelo)
Y1 = Amplitud del primer ciclo
Yn = Amplitud del ciclo n-ésimo
Js = Momento polar de inercia Masas-suelo
Nm = Número de masas en la prueba realizada
FAT = Factor de ajuste del tiempo
DecLog = Decremento logarítmico
ESFc = Esfuerzo confinante
ESFcP = Esfuerzo de contrapresión
ESFc' = Esfuerzo confinante efectivo
DeltaVol = Cambio volumétrico por consolidación
Acons = Área consolidada
Dc = Diámetro consolidado
Qu = Resistencia en compresión simple
μ = Módulo cortante dinámico (kg/cm²)
sp = Amortiguamiento de la probeta (%)

$$ESFc' = 1.20 \text{ kg/cm}^2$$

Número de corrida = 1
Nm = 1
FAT = 1.0022
Valores medios
μ = 49.228 kg/cm²
sp = 12.570 %

DesvStand-Ts = 0.0122
DesvStand-μ = 2.2126
DesvStand-sp = 0.8385

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Ja	μ kg/cm²	Qu/μ	D %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	28.80	3	27.00	2	17.10	2.00	0.71531	0.71268	0.11311	53.34530	0.04686	13.04780	0.32271	4.59419
2	29.20	3	27.00	2	20.90	3.00	0.64705	0.72257	0.10244	51.25610	0.04877	11.75774	0.39933	4.49014
3	29.20	3	27.00	2	18.20	2.10	0.71983	0.72257	0.11382	51.42608	0.04881	13.07059	0.34659	4.49014
4	39.90	4	40.15	3	25.00	1.90	0.64426	0.74897	0.10200	46.96476	0.05323	11.58918	0.48781	4.25481
5	39.90	4	40.90	3	24.10	1.80	0.64861	0.73327	0.10268	49.30501	0.05070	11.73186	0.46482	4.38344
6	39.90	4	40.90	3	20.00	1.00	0.74893	0.73143	0.11836	49.86229	0.05014	13.54186	0.38335	4.40137
7	40.50	4	40.90	3	24.00	1.40	0.71040	0.74430	0.11235	47.54408	0.05258	12.78367	0.46592	4.27923
8	40.00	4	40.90	3	23.00	1.10	0.76005	0.73511	0.12009	49.23501	0.05078	13.71947	0.44202	4.36568
9	40.00	4	41.00	3	21.00	1.10	0.73730	0.73332	0.11655	49.49719	0.05051	13.32308	0.40341	4.36301
10	40.8	4	41	3	23	1.8	0.63693	0.74798	0.10085	46.78504	0.05344	11.45349	0.44929	4.24563
11	41	4	41	3	23	1.5	0.68251	0.75165	0.10799	46.28510	0.05401	12.25050	0.44972	4.21277
12														

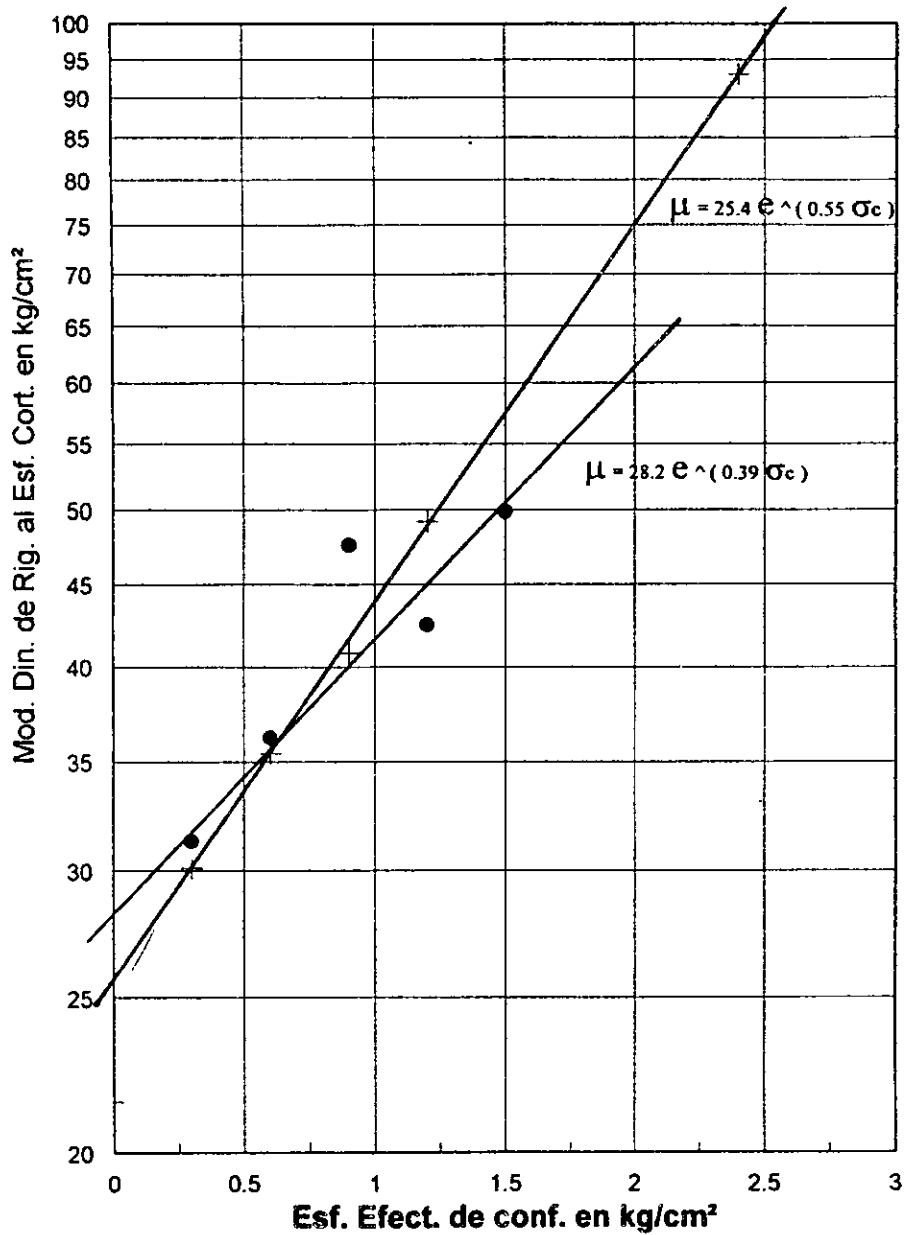
Número de corrida = 2
Nm = 3
FAT = 0.9995
Valores medios
μ = 51.775 kg/cm²
sp = 12.436 %

DesvStand-Ts = 0.0118
DesvStand-μ = 1.9267
DesvStand-sp = 0.8515

Impulso N°	Lm mm	Nm N°	Lp mm	Np N°	Y1 mm	Yn mm	DecLog	Ts seg	Ja	μ kg/cm²	Qu/μ	sp %	Distorsión %	Delta μ/μ %
1	34.00	3	39.80	3	16.10	2.00	0.69522	0.85384	0.10996	54.94470	0.04550	12.87178	0.30434	3.70576
2	48.10	4	53.50	4	19.00	1.00	0.73611	0.86125	0.11636	53.79501	0.04647	13.37372	0.36056	3.65289
3	47.00	4	54.00	4	21.80	1.50	0.66911	0.86894	0.10589	52.21590	0.04788	12.12549	0.41774	3.59302
4	47.20	4	54.00	4	21.90	1.60	0.65412	0.87364	0.10355	51.59899	0.04845	11.63944	0.42108	3.56816
5	47.50	4	54.00	4	22.00	1.20	0.72718	0.87919	0.11497	50.91354	0.04910	13.12758	0.42330	3.53158
6	48.10	4	54.00	4	22.50	1.80	0.63143	0.89030	0.09899	49.05643	0.05096	11.36541	0.43817	3.46068
7	47.90	4	54.90	4	20.00	1.00	0.74893	0.87206	0.11636	52.07488	0.04801	13.55088	0.38241	3.57871
8	47.50	4	55.00	4	20.00	1.10	0.72511	0.86320	0.11484	53.44255	0.04678	13.16580	0.36031	3.63923
9	48.50	4	55.00	4	21.00	1.50	0.65978	0.88138	0.10443	50.42670	0.04958	11.90895	0.40593	3.51740
10	48.90	4	55.00	4	23.00	1.90	0.62341	0.88885	0.09873	49.27815	0.05073	11.22760	0.44755	3.47118

anexo B

Ley de comportamiento dinámico para $m = 1$



M-18

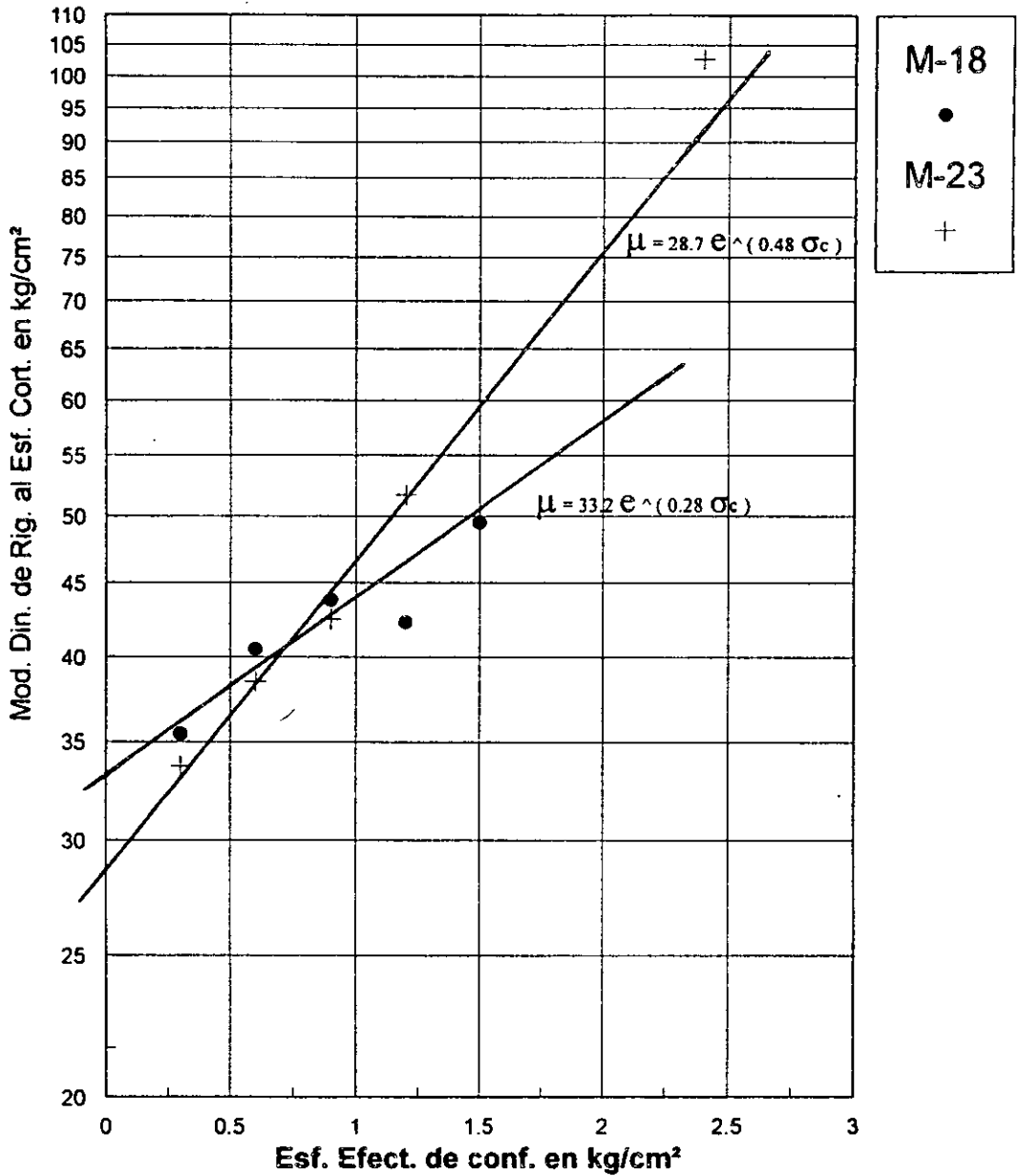
•

M-23

+

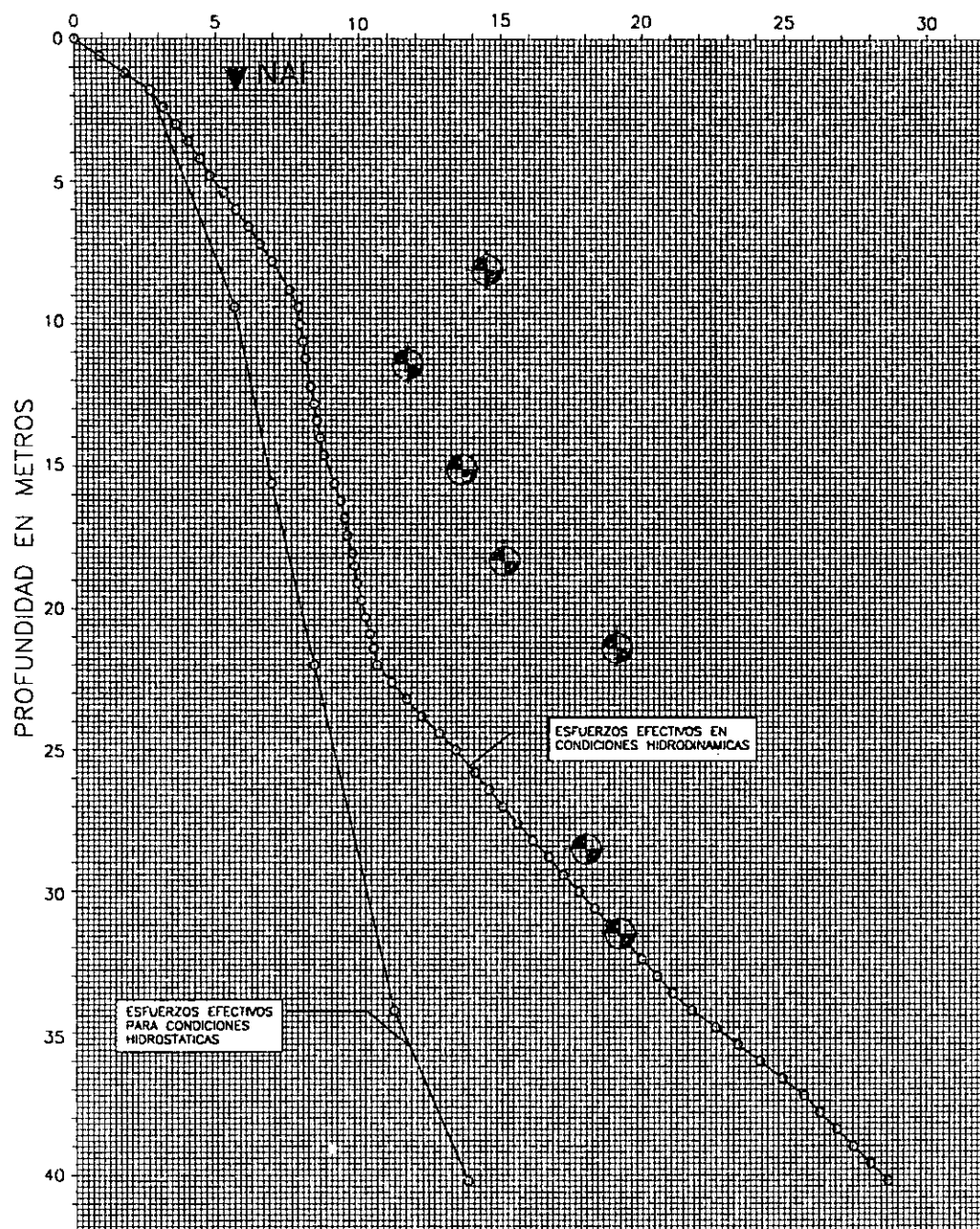
Grafica 1

Ley de comportamiento dinámico para $m = 3$



Grafica 2

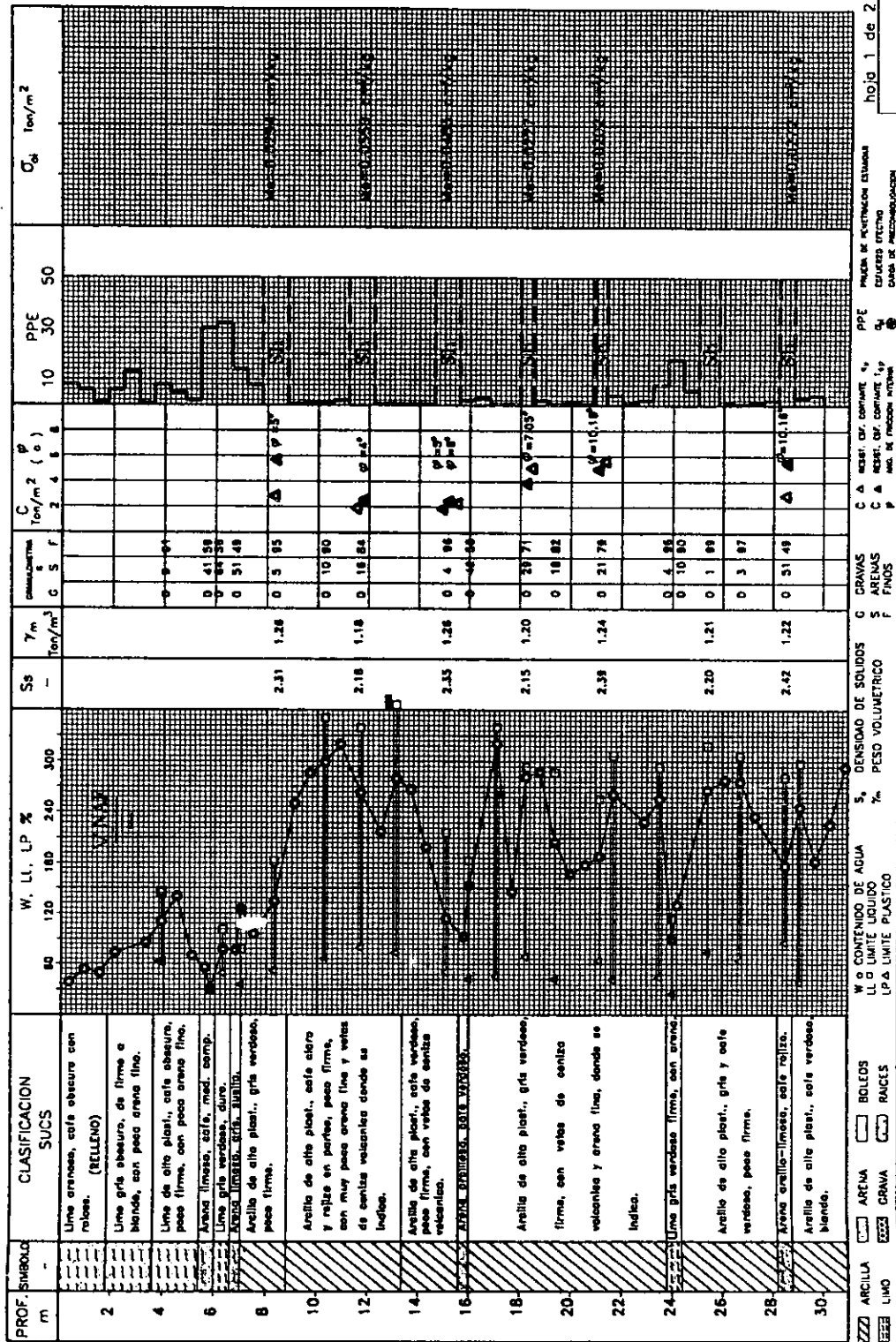
ESFUERZOS EFECTIVOS σ_{oz} en Ton/m²



ESFUERZO CRITICO DE COMPRESION

PROYECTO: TESIS C.A.C
LOCALIZACION: Ciudad de México

PROYECTO: TESIS C.A.C
LOCALIZACIÓN: Ciudad de México
SONDEO: SM-2



SONDEO: SM-2 (continuacion)

PROF. SONDADO	CLASIFICACION SUCS	W, LL, LP %	S _u	γ _m	COMPACTACION	C	PPE	Q _u
m			-	Ton/m ³	G S F	Ton/m ² (°)	10 30 50	Ton/m ²
32	Arilla de alta plast., color verdoso, blanda.	60 120 180 240 300	2.28	1.23	0 35 83	0 2 4 6 8	10 30 50	1.0-2.0
34	Arilla de alta plast., color verdoso, firme, con arena.				0 5 93			
36	Arilla de alta plast., color verdoso, firme.				0 54 48			
38	Linea de med. y alta plast., gris arenosa, dura, con arena al principio del estrato.		2.24	1.61	0 19 81			
40	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 4 96			
42	Linea de med. y alta plast., gris arenosa, dura, con arena al principio del estrato.				0 3 97			
44	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
46	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
48	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
50	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
52	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
54	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
56	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
58	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
60	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
62	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
64	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
66	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
68	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
70	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
72	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
74	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
76	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
78	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
80	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
82	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
84	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
86	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
88	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
90	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
92	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
94	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
96	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
98	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			
100	Arilla de alta plast., gris verdoso, firme.				0 8 92			