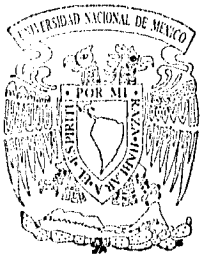


5  
2 ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE INGENIERIA

EFFECTO DE LOS INCREMENTOS DE  
CARGAS EN PRUEBAS DE CONSOLIDACION  
UNIDIMENSIONAL EN SUELOS BLANDOS

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a:

LUIGI ALTAN GOMEZ



DIRECTOR DE TESIS:  
ING. HECTOR A. LEGORRETA CUEVAS

México, D.F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

RECIBIDA CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-066/96

Señor  
LUIGI ALTAN GOMEZ  
Presente.

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

**"EFECTO DE LOS INCREMENTOS DE CARGAS EN PRUEBAS DE CONSOLIDACION  
UNIDIMENSIONAL EN SUELOS BLANDOS"**

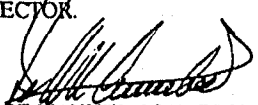
**INTRODUCCION**

- I. TEORIA DE LA CONSOLIDACION
- II. LA PRUEBA DE CONSOLIDACION
- III. ENSAYES DE CONSOLIDACION
- IV. 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. Universitaria, a 26 de abril de 1996.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*jbr

**A MIS PADRES**

**A MI HERMANO**

**A MI FAMILIA**

**A MIS AMIGOS**

**A MIS PROFESORES**

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**A LA U. N. A. M.**

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

#### I. TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN.

##### A. *Fenómeno de la consolidación*

1. Definición
2. Analogía de la consolidación unidimensional de Terzaghi

##### B. *Consolidación primaria*

1. Solución matemática

##### C. *Consolidación secundaria*

#### II. LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN

##### A. *Tipos de consolidómetro*

1. Consolidómetro de anillo fijo
2. Consolidómetro de anillo flotante

##### B. *Procedimiento de la prueba*

1. Descripción del mecanismo de transmisión de carga
2. Calibración del aparato
3. Preparación y montaje de la prueba
4. Equipo para la prueba
5. Descripción general
6. Datos
7. Resultados obtenidos

### **III. ENSAYES DE CONSOLIDACIÓN**

#### **A. Pruebas**

1. Prueba No.1 ( $\Delta\sigma/\sigma = 1.2$ )
2. Prueba No.2 ( $\Delta\sigma/\sigma = 1.0a$ )
3. Prueba No.3 ( $\Delta\sigma/\sigma = 1.0b$ )
4. Prueba No.4 ( $\Delta\sigma/\sigma = 0.8$ )
5. Prueba No.5 ( $\Delta\sigma/\sigma = 0.6$ )
6. Prueba No.6 ( $\Delta\sigma/\sigma = 0.4$ )

#### **B. Comparación de resultados**

### **IV. CONCLUSIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto analizar los efectos de los incrementos de cargas producidos en la pruebas de consolidación unidimensional en suelos finos; estableciendo una secuencia de incrementos que cumplan con ciertos requerimientos para que dichas pruebas sean más prácticas y representativas, pero tratando de afectar lo menos posible al material.

Así mismo se desea observar el comportamiento del suelo con diferentes razones de carga, para poder saber que razón es menos destructiva para la muestra, pero más efectiva para la realización de dicha prueba.

En el primer capítulo se define el fenómeno de la consolidación unidimensional en suetos finos mencionando y analizando las partes que la componen, desarrollando los pasos que la conforman y describiendo la teoría de sobre la cual están cimentadas sus bases, también se explican los tipos de consolidación, sin embargo sólo se profundiza en la consolidación primaria pues es la que interesa en éste trabajo, presentándose la solución matemática y su interpretación.

En el siguiente capítulo se aborda todo lo referente con la prueba de consolidación mencionando su función y describiendo los tipos de aparatos, así como su aplicación dependiendo del tipo de resultado que se quiera obtener en la prueba.

También se desarrolla el procedimiento de la prueba haciendo una revisión total de ésta, contando con la descripción del mecanismo de transmisión de carga y realizando la calibración del aparato, así mismo se explica la metodología para la preparación y el montaje de la prueba, mencionando el equipo necesario para efectuar la prueba.

De igual manera se presenta una descripción general de la realización de una prueba de consolidación mostrando los datos requeridos y los resultados que se obtienen.

En el capítulo 4 se lleva a cabo la realización de los ensayos de consolidación, efectuándose cuatro pruebas con diferente razón de carga y dos pruebas con diferente carga pero con igual razón de carga; después se elabora una comparación de los datos obtenidos.

Por último se mencionan las conclusiones a que condujo el desarrollo del presente trabajo y se hacen algunos comentarios acerca de las limitaciones de este.



## TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN

### FENÓMENO DE LA CONSOLIDACIÓN.

El proceso de deformación en suelos blandos tiene lugar en un largo periodo posterior a la aplicación de una carga, no obstante se tiene presente que existe un cambio de volumen instantáneamente, dicho cambio rebasa los alcances del presente trabajo por lo cual solo se hará mención sin profundizar en su estudio.

La deformación es el resultado de una serie de cambios pero principalmente de dos fenómenos.

El más importante efectuado por una deformación debida a cambios de volumen siendo un proceso por el cual se transforma una masa de suelo sin modificar su forma; la distancia entre sus partículas cambia pero su posición relativa se mantiene igual.

Así mismo existe otra deformación importante que es llamada desviadora, la cual es un proceso por el que una masa de suelo modifica su forma y además varía su posición relativa manteniendo su volumen constante.

Por lo expuesto anteriormente se puede considerar que los procesos reales de deformación se presentan como la suma de ambos fenómenos principalmente.

La deformación es un tema muy extenso estudiado principalmente por la Mecánica de Suelos y sus bases están conformadas gracias a los estudios realizados por el Doctor Karl vonTerzaghi los cuales se desarrollaron sobre bases empíricas. Más tarde uno de sus sucesores el Doctor Arthur Casagrande continuo los estudios del Doctor Terzaghi tratando de asentar sobre bases científicas algunos de los trabajos del Doctor.

El Doctor Terzaghi (1924-1925) desarrolló la teoría de consolidación primaria para un suelo saturado, a partir de las siguientes hipótesis:

- El incremento de presión es aplicado instantáneamente.
- La deformación del suelo y el drenaje del agua son unidimensionales.
- El suelo esta completamente saturado con agua.
- Es válida la ley de Darcy.
- El agua y los sólidos del suelo son incompresibles.
- Los coeficientes de permeabilidad y compresibilidad del esqueleto mineral son constantes para el incremento de presión aplicado.
- La deformación del suelo es pequeña comparada con el espesor inicial.

Es importante mencionar que en la consolidación primaria se busca mediante pruebas realizadas en el laboratorio poder reproducir fielmente la realidad reconociendo que el resultado numérico nos da una idea aproximada de los fenómenos de deformación que se suscitan en el campo.

## **DEFINICIÓN**

Los esfuerzos producidos por una serie de incrementos de carga en un suelo fino saturado son soportados en primera instancia por el agua intersticial que contiene; más sin embargo después de un período de tiempo ésta es desalojada a través de los poros del suelo; debiendo soportar dichos incrementos gradualmente la estructura mineral del mismo.

Durante la transferencia de carga existe simultáneamente un cambio en el volumen del suelo, que es igual al agua desalojada. A dicho proceso se le conoce como CONSOLIDACIÓN.

## **ANALOGÍA DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE TERZAGHI**

Para desarrollar su teoría de la consolidación unidimensional el Doctor Terzaghi modificó un modelo mecánico creado por Lord Kelvin con otros fines, el cual se puede mostrar en tres etapas.

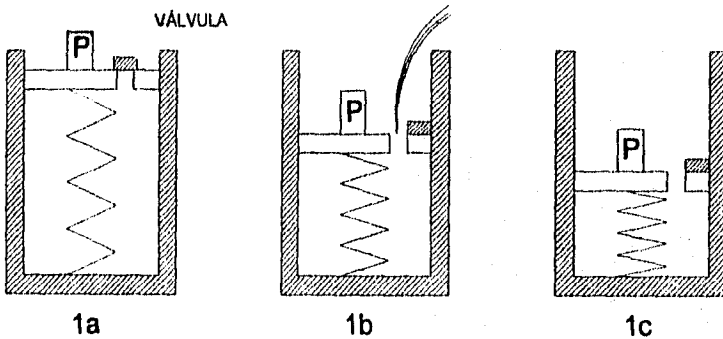
La primera etapa comienza representando una masa de suelo saturado ( esquema 1.a ).

Del esquema 1.a el liquido corresponde al agua en los poros, el resorte a la estructura del suelo, "P" a la carga y "V" a la válvula, que son las condiciones de carga y drenaje respectivamente.

Al mantenerse la válvula cerrada el agua no puede ser desalojada, por lo tanto la carga "P" es soportada totalmente por el agua.

La siguiente etapa se observa cuando se abre la válvula; el agua es expulsada y la carga es soportada gradualmente por el resorte ( esquema 1.b ).

Por último, el tiempo requerido para transmitir la carga "P" del agua al resorte, depende de la viscosidad y la rapidez con la que es expulsada el agua por la válvula ( esquema 1.c ).



ANALOGÍA DEL RESORTE

Fig.1 Modelo mecánico de Terzaghi.

## CONSOLIDACIÓN PRIMARIA

Es un proceso en el cual existe un retraso hidrodinámico en la expulsión del agua que se encuentra dentro de los huecos del suelo; en el momento de desaparecer el gradiente que ocasiona dicha expulsión todo el incremento de carga es soportado por el esqueleto estructural del suelo, el proceso provoca la deformación gradual de volumen del suelo y existe un acercamiento de las partículas sólidas al desalojarse el agua, sin considerar la deformación o deslizamiento de los granos del mismo.

Tomando en cuenta las hipótesis de la teoría de la consolidación de Terzaghi y considerando una capa de arcilla de espesor  $2H$  drenada por sus fronteras superior e inferior, sometida a la acción de una carga superficial unitaria "P" Terzaghi determinó la siguiente igualdad :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Donde:

$u$  ; Exceso de presión hidrostática.

$t, z$  ; Variables tiempo y profundidad.

$C_v$  ; Coeficiente de consolidación.

$k$  ; Coeficiente de permeabilidad.

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w}$$

$m_v$  ; Coeficiente de compresibilidad volumétrico unitario.

$\gamma_w$  ; peso unitario del agua.

$C_v$  también se puede obtener gráficamente de la curva de consolidación (deformación-tiempo), para tal efecto se utiliza la expresión:

$$C_v = \frac{TH^2}{t}$$

La cantidad T es un número sin dimensiones llamado "factor tiempo".

H; es el espesor medio de la muestra o la máxima distancia que recorre el agua.

La solución de la ecuación (1-1) con las condiciones de frontera supuestas, es la siguiente serie.

$$u = \frac{4p}{\pi} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{2N+1} \operatorname{sen} \left[ \frac{(2N+1)\pi z}{2H} \right] E^{-(2N+1)^2 \pi^2 \frac{t}{4}}$$

La expresión anterior es utilizada para calcular el porcentaje de consolidación  $U = (1 - u/u_i) 100$ , de un estrato de suelo con deformación unidimensional. Aquí  $u_i$  representa el exceso de presión hidrostática inicial y es igual a "P".

Con objeto de aclarar el origen de la igualdad que determina el porcentaje de consolidación U, se presenta el siguiente desarrollo. Considerando que en la curva de compresibilidad de la figura 2, los puntos A y B representan un asentamiento total p de un elemento de suelo de altura dz y área unitaria, el punto intermedio E muestra el estado de consolidación del mismo elemento de suelo, pero en un instante t, se tendrá un asentamiento  $\delta$  que será menor que p.

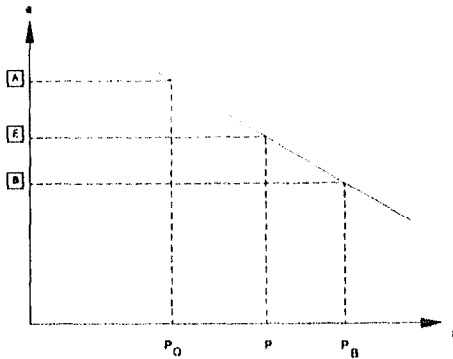


Fig. 2 Curva de compresibilidad.

Aplicando relaciones volumétricas, los asentamientos tendrán la siguiente expresión.

$$\delta = dz \frac{e_0 - e}{1 - e_0}$$

$$\rho = dz \frac{e_0 - e_B}{1 + e_0}$$

Por definición se tiene que:

$$U = \frac{\delta}{e} 100 = \left( \frac{e_0 - e}{e_0 - e_B} \right) 100 = \left( \frac{P - P_0}{P_B - P_0} \right) 100 = \left( \frac{U_i - u}{u_i} \right) 100$$

$$u = \left( \frac{1 - u}{u_i} \right) 100$$

Sustituyendo el valor de  $u$ , se determina la siguiente igualdad.

$$U = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{(2N+1)} \left[ \text{sen} \frac{(2N+1)\pi z}{2H} \right] E^{-\frac{(2N+1)^2 \pi^2 T}{4}}$$

Para fines prácticos interesa conocer el valor medio de Cv, por tal circunstancia se calcula el valor promedio de U que se denominará  $\bar{U}$ .

La integración de la ecuación (1-8) en función de z para el valor medio de U en un tiempo fijo T, tiene como valor la relación.

$$\bar{U}\% = \left[ 1 - \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{8}{(2N+1)^2 \pi^2} E^{-\frac{(2N+1)^2 \pi^2 T}{4}} \right] 100$$

De lo anterior se puede inferir que  $\bar{U} = F(T)$ , esta relación ha sido dibujada en una escala semilogarítmica, donde puede observarse que la curva tiende a ser asintótica para valores de T iguales o mayores de 1 (Figura 3).

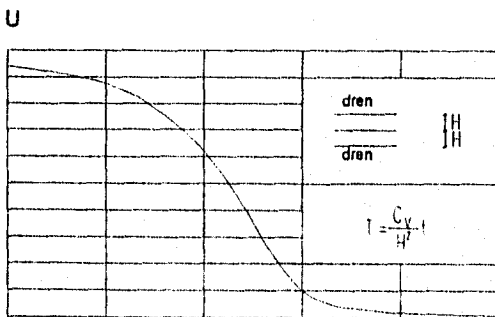


Fig. 3 Grado de consolidación U vs factor tiempo T.



Usando la relación  $\bar{U} = F(T)$ , la compresión de un estrato de espesor  $2H$  se puede calcular como una función del tiempo.

La deformación volumétrica será.

$$\delta = \rho F(T)$$

Cuando  $F(T)$  tiende a 1, prácticamente  $\bar{U} = 100\% = 1$  y la compresión del estrato por consolidación primaria se determina con la relación.

$$\rho = m_v(2H)\Delta p = \Delta H_i$$

Donde.

$m_v$  ; Coeficiente de compresibilidad volumétrico unitario, que es igual a la relación.

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

$\Delta P$  ; Incremento de presión por una carga externa.

$2H$  ; Espesor del estrato compresible.

Si se comparan dos estratos semejantes con espesores  $2H_1$  y  $2H_2$ , con las mismas condiciones de drenaje y para el mismo grado promedio de consolidación, el tiempo está dado por la relación.

$$\frac{C_{v1} * t_1}{C_{v2} * t_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2}$$

Cuando el coeficiente de consolidación es idéntico en ambos estratos, es válida la siguiente igualdad.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2}$$

Mediante este procedimiento es posible correlacionar la consolidación en el espécimen de prueba de laboratorio con un estrato real que presente las mismas características de drenaje.

Por otra parte, es conveniente mencionar que cuando se aplica un incremento de esfuerzos al espécimen de una prueba de consolidación, se obtiene una curva semejante a la indicada en la figura 4, en donde puede observarse que la compresión volumétrica no termina como lo supone la teoría ( Cuando  $T = 1$  ). La línea recta que precede a la parte inclinada de amplia curvatura, se origina por efectos de la consolidación secundaria, en este tramo el exceso hidrostático de la presión de poro es muy pequeño, puesto que la mayoría de los esfuerzos aplicados han sido transmitidos al esqueleto estructural del suelo, el cual continúa cambiando de volumen.

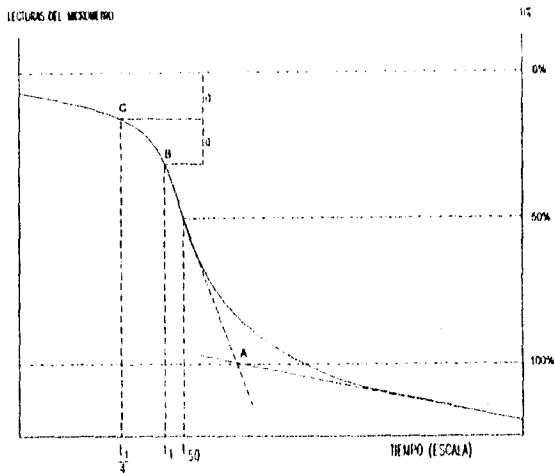


Fig. 4 Método de Casagrande para determinar el coeficiente de consolidación.

## SOLUCIÓN MATEMÁTICA

La solución matemática para la consolidación primaria se obtiene por medio de la curva trazada con el método de Casagrande para la determinación del 0%, 50% y 100% de consolidación primaria en dicha curva.

La curva se construye tomando como eje de las ordenadas las lecturas del micrómetro y el eje de las abscisas a el tiempo en escala logarítmica, graficándose en el cuadrante inferior derecho y utilizándose hojas milimétricas para su mejor obtención.

Para obtener el 0% de consolidación se toma arbitrariamente un valor del tiempo llamado  $t_1$ , procurando que este a la derecha de la curva, después dicho valor se divide entre 4 y

se tiene el valor  $t_{1/4}$ ; la distancia en el eje de las coordenadas entre los puntos  $t_1$  y se le  $t_{1/4}$ ; conoce como "a", este valor es duplicado hacia la parte superior del valor anterior de "a" y en ese punto se traza una línea horizontal, siendo este punto el 0% de consolidación.

Para la obtención del 100% teórico de consolidación se trazan dos rectas, una que es la continuación de los dos últimos puntos obtenidos en la curva, y la otra es la continuación al punto tangente del tramo recto de la curva; el punto donde se intersectan ambas rectas divide la consolidación primaria de la secundaria, pero además en ese punto se traza una línea horizontal que nos da el 100% de la consolidación primaria.

Resultándonos que la distancia entre las líneas horizontales del 0% y el 100% dividida entre dos, nos da el valor del 50% de la consolidación.

### CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA

El origen del proceso de consolidación secundaria se desconoce, pero se atribuye a un fenómeno de viscosidad intergranular debido al reacomodo entre las partículas del esqueleto estructural del suelo.

Dicha etapa de consolidación se observa cuando los deslizamientos relativos entre las partículas o las deformaciones plásticas son comparables con la velocidad con que es desalojada al agua.

## **LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN**

Es una prueba en la cual se somete una muestra de suelo a las condiciones de drenaje y esfuerzo, similares a las condiciones que ocurren en el campo.

Para realizar estas pruebas se utilizan unos aparatos llamados consolidómetros.

## TIPOS DE CONSOLIDOMETRO

### CONSOLIDOMETRO DE ANILLO FIJO

Aunque actualmente es usado muy poco, este tipo de aparato puede efectuar pruebas de consolidación y de permeabilidad simultáneamente. Se le llama así por no poderse desplazar durante la prueba.

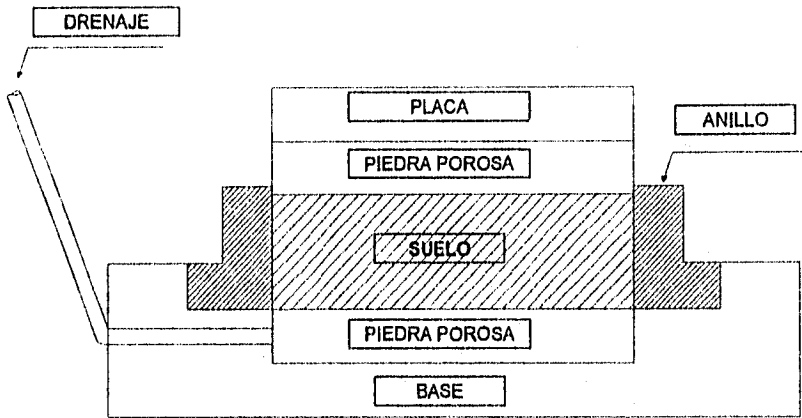


Fig. 5 Esquema del consolidómetro de anillo fijo.

### CONSOLIDOMETRO DE ANILLO FLOTANTE

Este aparato es usado principalmente ahora, y se le llama así porque se puede desplazar durante la prueba, con este tipo de consolidómetro solo se pueden ejecutar pruebas de consolidación.

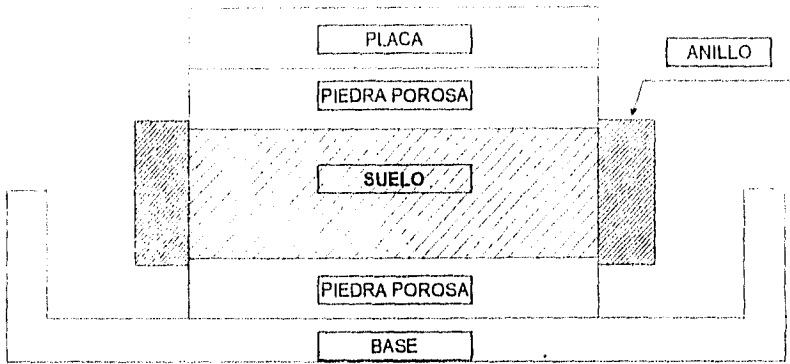


Fig.6 Esquema del consolidómetro de anillo flotante.

### PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

#### DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE CARGA

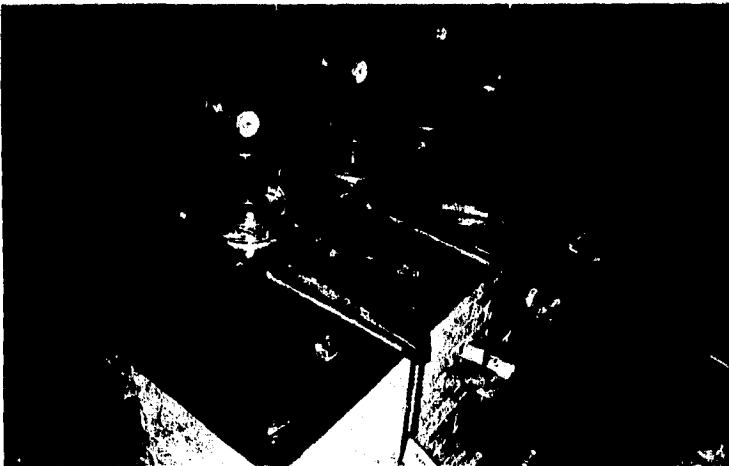


Fig. 7 Esquema del mecanismo de transmisión de carga de un consolidómetro.

Del esquema anterior, se puede observar que la carga se aplica por medio de pesas colocadas en una ménsula que cuelga de un extremo de la viga de carga. La carga se transmite al marco por medio de una pieza de acero y unas barras que están apoyadas en una rótula móvil, ligada al pedestal del aparato por una rótula fija con radio  $r_1$ . La viga de carga puede girar en torno a la rótula fija.

La relación del brazo de palanca de la ménsula de carga con  $r_2$  y del radio  $r_1$ , antes mencionado, suele ser del orden de 10 y esta es la razón de multiplicación de cargas del aparato. Aquí cabe mencionar que en para este trabajo se obtuvieron los valores exactos de los brazos de palanca de cada uno de los consolidómetros.

El peso de la viga y la ménsula de carga se balancean con el contrapeso. El peso del marco de carga se balancea, a su vez, con la rótula móvil.

La posición del marco de carga respecto a la cazuela puede ajustarse usando las tuercas de las barras laterales del marco.

## **CALIBRACIÓN DEL APARATO**

Para realizar las pruebas es preciso obtener una curva de calibración; es decir, una curva que de las deformaciones propias del aparato, sin muestra.

Dichas deformaciones deberán restarse de las obtenidas en una prueba, con el fin de llegar a las deformaciones de la muestra únicamente.



La curva se obtiene sujetando al conjunto de las piezas del aparato, sin muestra, efectuando una prueba de consolidación y dibujando las lecturas observadas en el micrómetro contra las correspondientes cargas, en escala aritmética, usualmente.

## **PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LA PRUEBA**

Para trabajar bien con una muestra inalterada es muy importante tener un fragmento de esta, cuyo volumen sea del tamaño del anillo de consolidación; así mismo se debe contar con el instrumental necesario para poder manipular bien la muestra y evitar la evaporación.

Al mismo tiempo que se prepara la muestra de consolidación, se deben obtener unas muestras para determinar el peso específico relativo y para la realización de pruebas de límites de plasticidad.

El procedimiento detallado para la obtención de la muestra para pruebas de consolidación deberá ajustarse de la siguiente manera:

1.- Determinése y anótese el peso propio del anillo para confinar la muestra y de dos placas de vidrio de 15\*15 cm. Hágase lo mismo con el área y la altura del anillo.

2.- Colóquese la masa de arcilla inalterada del tamaño apropiado en el anillo de consolidación y córtese la muestra con un cortador hasta obtener sus dimensiones correctas. Debe tenerse mucho cuidado para evitar la evaporación del agua de la muestra. Conforme el labrado de la muestra progresa, ésta se va presionando hacia dentro del anillo, usando para ello una placa de vidrio; durante toda la operación, el lado inferior de la muestra descansa en una base metálica,

introducida en el anillo, de diámetro ligeramente menor que el interior de éste.

Continúese el labrado de la muestra

hasta que su base sobresalga un poco por la cara inferior del anillo

3.- Retírese la porción de la muestra que sobresalga por la cara superior del anillo, hasta lograr una superficie continua a nivel; para esto puede usarse una segueta de alambre.

4.- Colóquese una placa de vidrio, ya pesada, sobre el anillo; inviértase éste y repítase la remoción del material en la cara inferior. Una vez realizada, colóquese en esa cara la otra placa de vidrio ya tarada.

5.- Anótese una muy cuidadosa y detallada descripción de la muestra.

6.- Usando la balanza, pésese el conjunto muestra, anillo y placas de vidrio.

7.- Retírense con cuidado las placas de vidrio y, en su lugar, céntrense cuidadosamente las piedras porosas ligeramente humedecidas en sus bases, presionándolas muy suavemente contra la muestra, a fin de lograr que se adhieran. Colóquese ahora con cuidado el anillo en la cazuela del consolidómetro, cuidando que el anillo ya no sufra ningún movimiento, una vez colocado.

8.- Colóquese un anillo de algodón hidrófilo, húmedo, en torno a la piedra porosa superior, cubriendo la parte superior del espacio entre el anillo y la cazuela. Es esencial que el algodón permanezca húmedo durante la compresión de la muestra; para ello deberá rociársele algo de agua de tiempo en tiempo. Generalmente el algodón puede retirarse después de la consolidación bajo el segundo incremento de carga, y, en tal caso, toda la cazuela deberá llenarse de agua; durante el resto de la prueba debe

cuidarse muy especialmente que el nivel del agua en la cazuela no baje del borde superior del anillo.

Si la muestra se sumerge desde el principio, sin usar algodón, se puede producir una expansión excesiva bajo las pequeñas presiones iniciales.

El procedimiento de montaje de la muestra queda detallado de la siguiente manera:

Con gran cuidado, a fin de evitar movimientos del anillo y de las piedras porosas en la cazuela, se coloca esta sobre la plataforma del banco de consolidación y se centra cuidadosamente la piedra porosa superior bajo el marco de carga.

Después se balancea la palanca de carga y se ajusta la elevación de la pieza transversal superior del marco de carga, hasta que el marco quede en contacto con la pequeña esfera metálica alojada en la muesca de la placa de carga previamente colocada sobre la piedra porosa superior. Se comprueba la horizontalidad de la pieza superior del marco de carga.

Se coloca el extensómetro, atornillando el puente que lo sostiene y poniéndolo en contacto con el marco de carga; se pone el extensómetro en cero.

#### **EQUIPO PARA LA PRUEBA**

El equipo necesario para realizar pruebas de consolidación se puede clasificar de la siguiente forma. En equipo para el labrado de la muestra el cual está formado por el siguiente instrumental. Arco con alambre, seguetas de acero, cuchillas para labrado y espátulas, además del aparato. Torno para labrado.

Para la realización de la prueba se requiere de las siguientes piezas. Consolidómetro, cazuela, anillo, piedras porosas (2), placa y esfera metálicas, algodón hidrófilo, papel filtro, micrómetro (extensómetro), cronómetro .

Así mismo se requiere de cápsulas, horno y balanza eléctrica, estos para el manejo, control y medición de las muestras.

Las innovaciones utilizadas en este tipo de pruebas en la Facultad de Ingeniería son el uso de lectoras y micrómetros electrónicos los cuales están conectados entre sí e instalados en el consolidómetro. Con estos aparatos se consigue una mayor precisión en las lecturas obtenidas, además de que se pueden leer más puntos. Por consiguiente se tienen como resultado curvas más exactas y representativas de las pruebas.

## DESCRIPCIÓN GENERAL

Una prueba de consolidación unidimensional estándar se realiza sobre una muestra labrada en forma de cilindro con una altura pequeña en comparación al diámetro de la sección horizontal. La muestra se coloca en el interior de un anillo, generalmente de acero, que le proporciona un completo confinamiento lateral. El anillo se coloca entre dos piedras porosas, una en cada cara de la muestra; las piedras son de sección circular y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del anillo. El conjunto se coloca en la cazuela del consolidómetro.

Por medio del marco de carga, se aplican cargas a la muestra, repartiéndolas uniformemente en toda su área con un dispositivo formado por una esfera y una placa metálicas colocadas sobre la piedra porosa superior. Un extensómetro apoyado en el

marco de carga móvil y ligado a la cazuela fija, permite llevar un registro de las deformaciones del suelo. Las cargas se aplican en incrementos, permitiendo que cada incremento obre por un periodo de tiempo suficiente para que la velocidad de deformación se reduzca prácticamente a cero.

En cada incremento de carga se hacen lecturas en el extensómetro, para conocer la deformación correspondiente a diferentes tiempos. Los datos de estas lecturas se dibujan en una gráfica que tiene por abscisas los valores de los tiempos transcurridos en escala logarítmica y como ordenadas las correspondientes lecturas del extensómetro, a escala natural.

Estas curvas se llaman de consolidación y se obtienen para cada incremento de carga aplicado. En rigor, la prueba de consolidación, tal como se hace en un consolidómetro, efectúa una disminución en el volumen de la muestra por acortamiento de la altura, pero sin cambio en la sección transversal; por lo tanto, tomando en cuenta las definiciones de deformación volumétrica y desviadora, se ve que ambas ocurren; a todo nuevo volumen de la muestra le corresponde una nueva forma.

Una vez que el suelo alcanza su máxima deformación bajo un incremento de carga aplicado, su relación de vacíos llega a un valor menor, evidentemente, que el inicial y que puede determinarse a partir de los datos iniciales de la muestra y las lecturas del extensómetro. Así, para cada incremento de carga aplicado se obtiene una relación de vacíos y de esfuerzo actuante sobre el espécimen.

En suma, de toda la prueba, una vez aplicados todos los incrementos de carga; se tienen valores para construir una gráfica en cuyas abscisas se ponen los valores de la presión actuante, en escala natural o logarítmica y en cuyas ordenadas se anotan los

correspondientes "e" (relación de vacíos) en escala natural. Estas curvas se llaman de compresibilidad y de ellas se obtiene una de cada prueba de consolidación completa.

Generalmente en una curva de compresibilidad se definen tres tramos diferentes. El "A" es un tramo curvo que comienza en forma casi horizontal y cuya curvatura es progresiva, alcanzando su máximo en la proximidad de su unión con el tramo "B". El tramo "B" es generalmente un tramo recto muy aproximadamente y con el se llega al final de la etapa de carga de la muestra, al aplicar el máximo incremento de la carga, al cual corresponde la máxima presión sobre la muestra. A partir de este punto es común en la prueba de consolidación someter al espécimen a cargas decrecientes, permaneciendo cada decremento el tiempo suficiente para que la velocidad de deformación se reduzca prácticamente a cero; en esta etapa se tiene una recuperación del espécimen, si bien este nunca llega de nuevo a su relación de vacíos inicial; el tramo "C" corresponde a esta etapa, con el espécimen llevado a carga final nula, como es usual.

De la gráfica anteriormente mencionada, a el tramo "A" se le llama "tramo de recompresión", a el tramo "B", "tramo virgen" y finalmente al tramo "C", "tramo de descarga". Figura No. 8

De esta curva se obtiene la carga de preconsolidación, la cual es la presión máxima que un suelo ha soportado en su historia geológica. Esta carga o esfuerzo efectivo puede ser igual o menor al esfuerzo efectivo que se obtiene al momento del muestreo.

El Doctor Casagrande en 1936 desarrolló un procedimiento empírico para la determinación de la carga de preconsolidación.

- 1.- De a curva de compresibilidad se determina el punto de máxima curvatura (a).
- 2.- Se dibuja una horizontal al punto (a), a-b.
- 3.- Se dibuja una tangente al punto (a), a-c.
- 4.- Se traza una bisectriz en el ángulo abc, a-d.
- 5.- Se proyecta la parte recta gh, hasta intersectar con la recta a-d, a dicho punto de intersección se le conoce como la carga de preconsolidación.

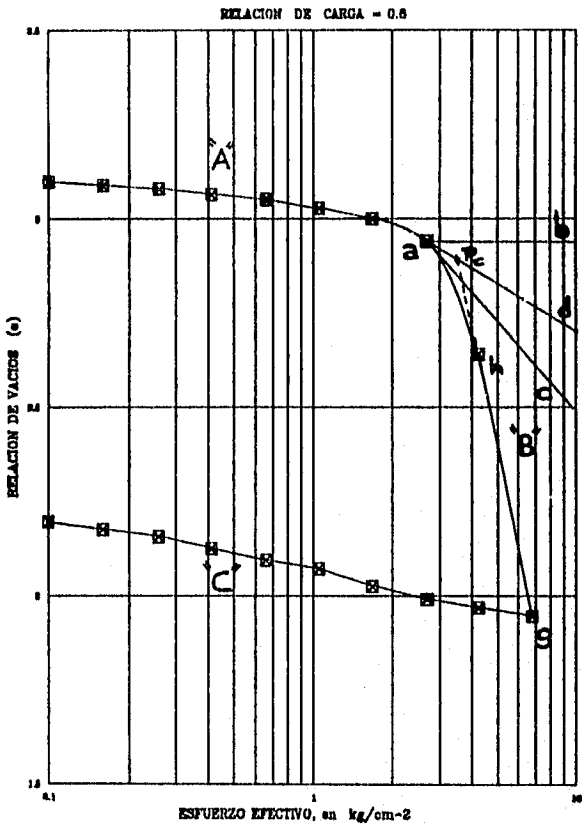


Fig. 8 Representación semilogarítmica típica de una curva de compresibilidad.

## DATOS

Se ejecutan los cálculos indicados en la forma de DATOS GENERALES, así como el registro en la forma de REGISTRO DE CARGA Y CÁLCULOS, que se anexan más adelante, sin embargo cabe mencionar que el intervalo de tiempo entre incrementos de carga usado en los cálculos es el tiempo, arbitrariamente escogido, para el cual se completa la consolidación primaria en todos los incrementos de carga.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados que se obtienen al efectuar una prueba de consolidación son las gráficas llamadas de compresibilidad que ya mencionamos antes, gracias a las cuales se pueden determinar los siguientes coeficientes:

Índice de compresión  $C_c$ .- Es la pendiente de la curva de compresibilidad en el tramo virgen.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log}\sigma_1 - \text{Log}\sigma_2}$$

Índice de expansión  $C_e$ .- Es la pendiente de la curva de compresibilidad en el tramo de descarga.

$$C_e = \frac{e_3 - e_2}{\text{Log}\sigma_3 - \text{Log}\sigma_2}$$

Coefficiente de consolidación  $C_v$ .- Parámetro de la ecuación unidimensional de consolidación.

$$C_v = \frac{0.197H^2}{t_{50}}$$



Donde H, es la distancia máxima que recorre el agua.

Coefficiente de compresibilidad  $a_v$ - Es la pendiente de la curva de compresibilidad.

$$a_v = - \frac{e_2 - e_1}{\sigma_2 - \sigma_1}$$

Coefficiente de permeabilidad media  $k_c$ - Se obtiene al desarrollar la teoría de Terzaghi.

$$K_c = \frac{a_v C_v \gamma_w}{(1 + e_m) 100}$$

Es muy importante conocer estos coeficientes puesto que gracias a ellos se conocen las características físicas, además de saber como se comporta el tipo de suelo que se este estudiando. La obtención de las gráficas de compresibilidad es muy importante ya que por medio de estas se puede conocer el límite de resistencia de un suelo y saber de la historia de este, como los esfuerzos a los que ha estado sometido con anterioridad.

PRUEBA DE CONSOLIDACION.

DATOS GENERALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA  
GEOTECNIA

Lémina Nal

OBRA N° \_\_\_\_\_ SONDEO N° \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION \_\_\_\_\_ MUESTRA N° \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ PROFUNDAO \_\_\_\_\_  
APARATO N° \_\_\_\_\_ ANILLO N° \_\_\_\_\_ CLASIFICACION \_\_\_\_\_  
OPERADOR \_\_\_\_\_  
CALCULO \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

HUMEDAD ANTES DE LA PRUEBA.

Peso de probeta inalterada + anillo N° \_\_\_\_\_ + vidrio N° \_\_\_\_\_ Grs  
Peso de anillo N° \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) + vidrio N° \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta inalterada \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta seca + anillo N° \_\_\_\_\_ + vidrio N° \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta seca \_\_\_\_\_ "  
Peso de agua \_\_\_\_\_ "  
Contenido de agua \_\_\_\_\_ %

HUMEDAD DESPUES DE LA PRUEBA.

Peso de Probeta consolidada + anillo N° \_\_\_\_\_ + vidrio N° \_\_\_\_\_ Grs.  
Peso de anillo N° \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) + vidrio N° \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta consolidada \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta seca + anillo N° \_\_\_\_\_ + vidrio N° \_\_\_\_\_ "  
Peso de probeta seca \_\_\_\_\_ "  
Peso de agua \_\_\_\_\_ "  
Contenido de agua \_\_\_\_\_ %

HUMEDAD TESTIGO

Peso de muestra inalterada + vidrio N° \_\_\_\_\_ Grs.  
Peso de muestra seca + vidrio N° \_\_\_\_\_ "  
Peso de vidrio N° \_\_\_\_\_ "  
Peso de muestra seca \_\_\_\_\_ "  
Peso de agua \_\_\_\_\_ "  
Contenido de agua \_\_\_\_\_ %

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

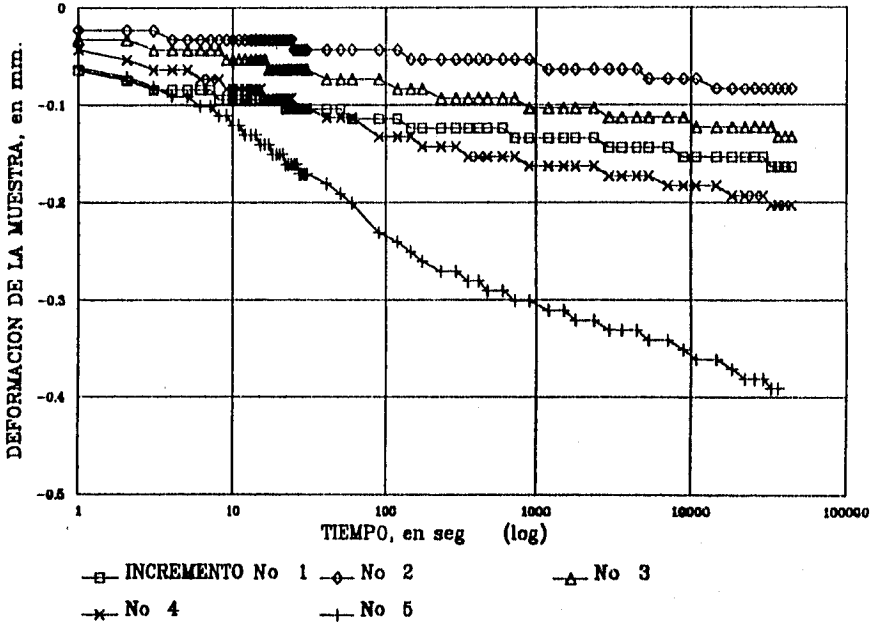


## **ENSAYES DE CONSOLIDACIÓN**

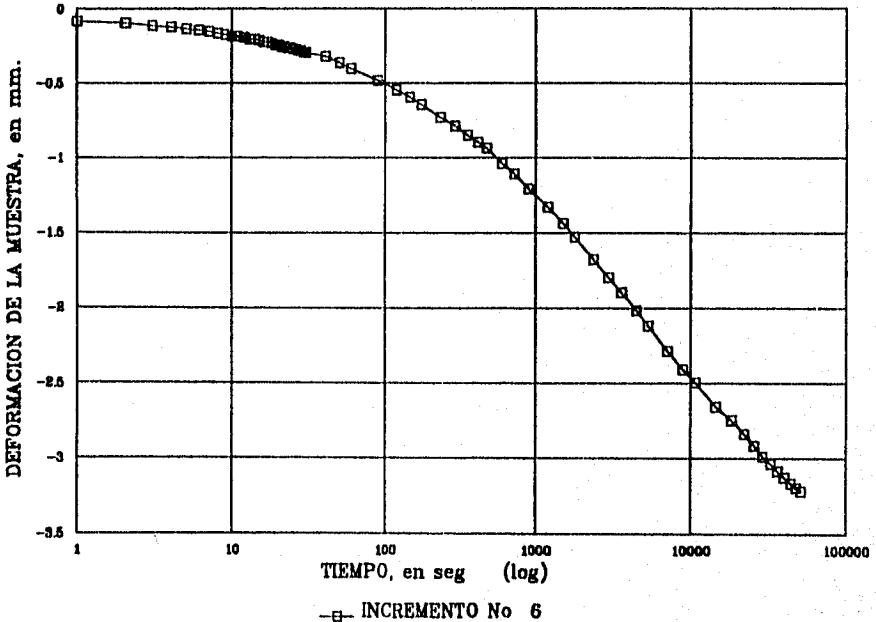
### **PRUEBAS**

Las pruebas se realizaron con un suelo de la Cd. de México de la zona norponiente, de la col. Camarones ; dicho suelo se extrajo de una profundidad de 10.50-11.00 m. Dentro de las observaciones que se hicieron se encontró que el material es una arcilla de color gris oscuro con un poco de materia orgánica. Se utilizaron consolidómetros de anillo flotante y para todas las pruebas se utilizó el mismo material.

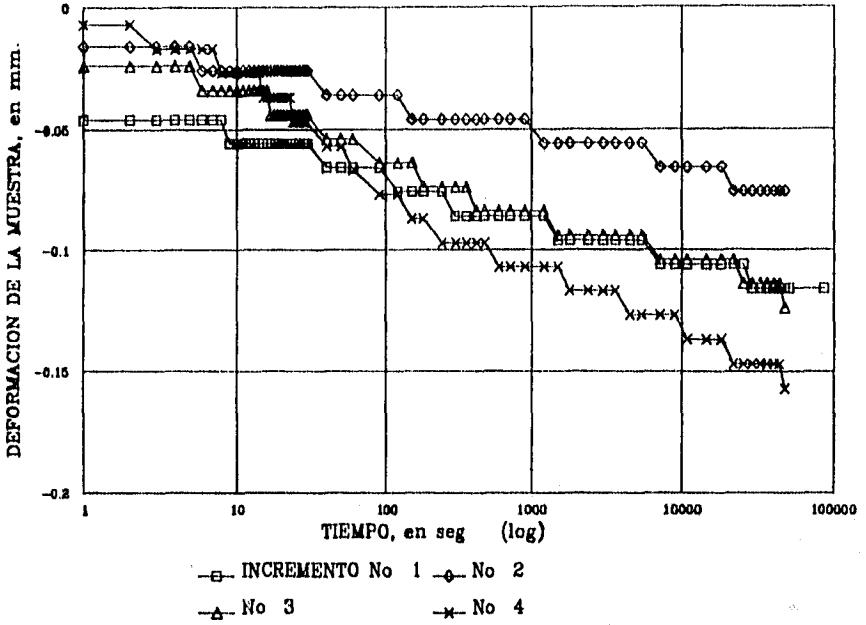
RELACION DE CARGA = 1.2



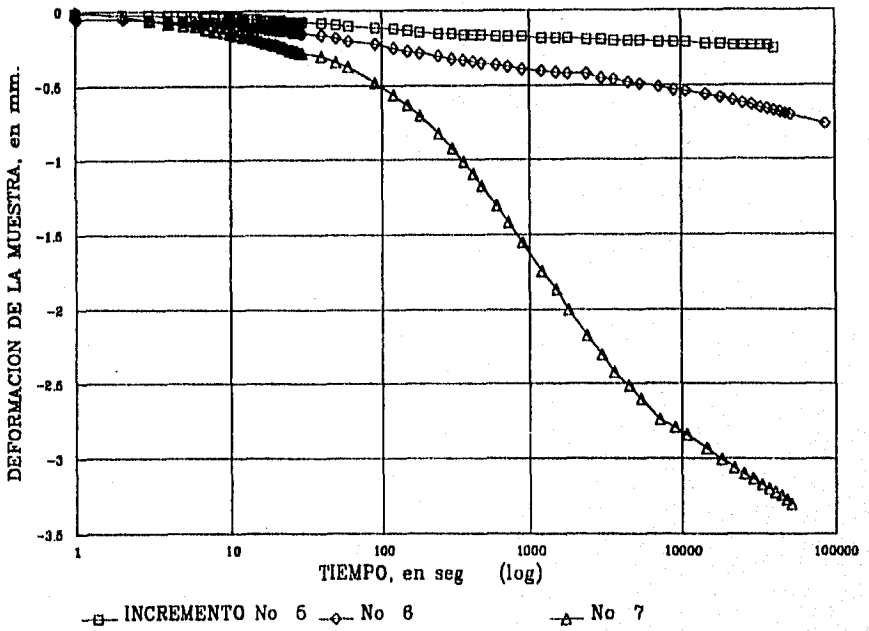
RELACION DE CARGA = 1.2

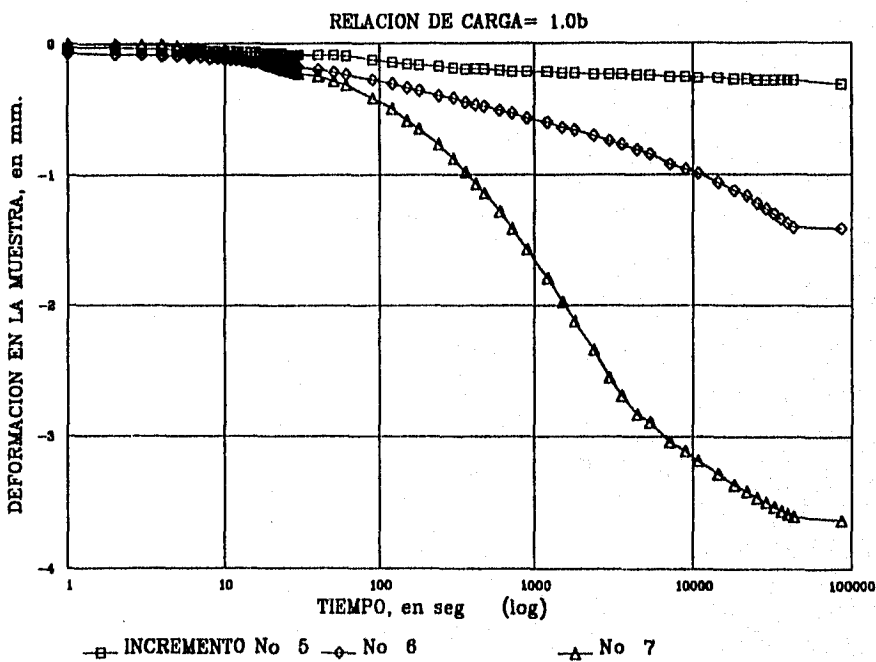
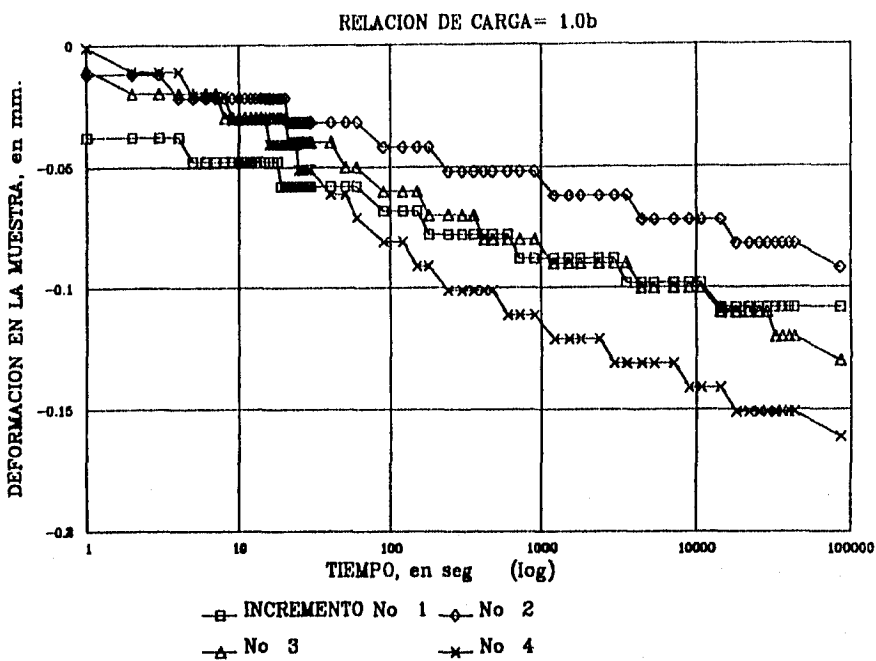


RELACION DE CARGA = 1.0a

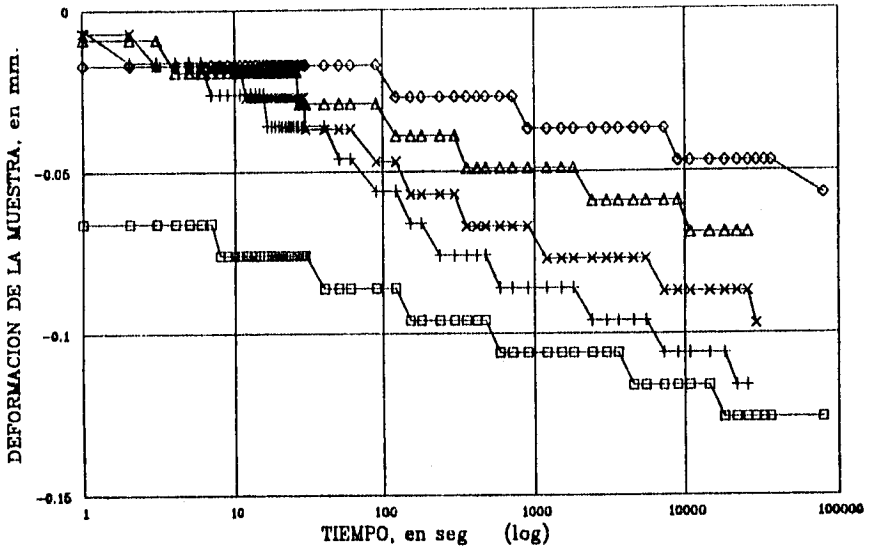


RELACION DE CARGA = 1.0a



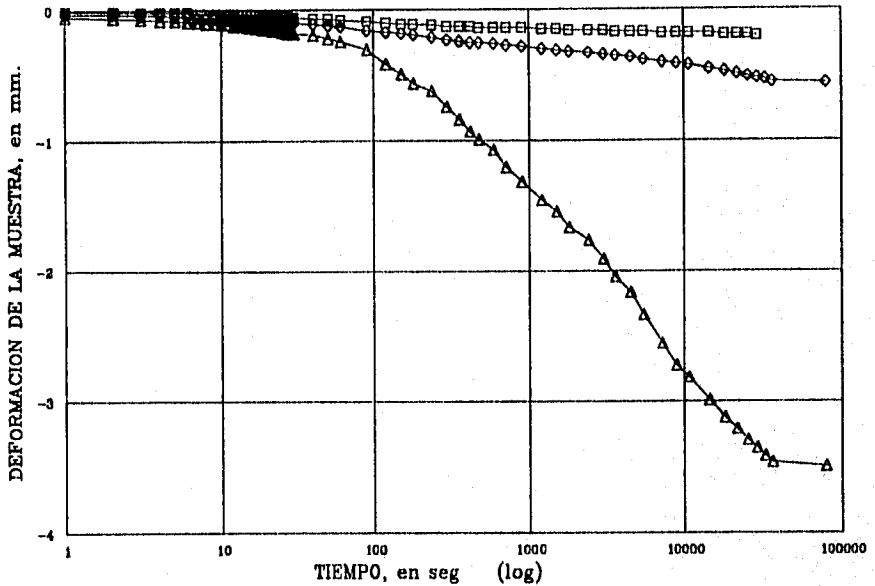


RELACION DE CARGA = 0.8



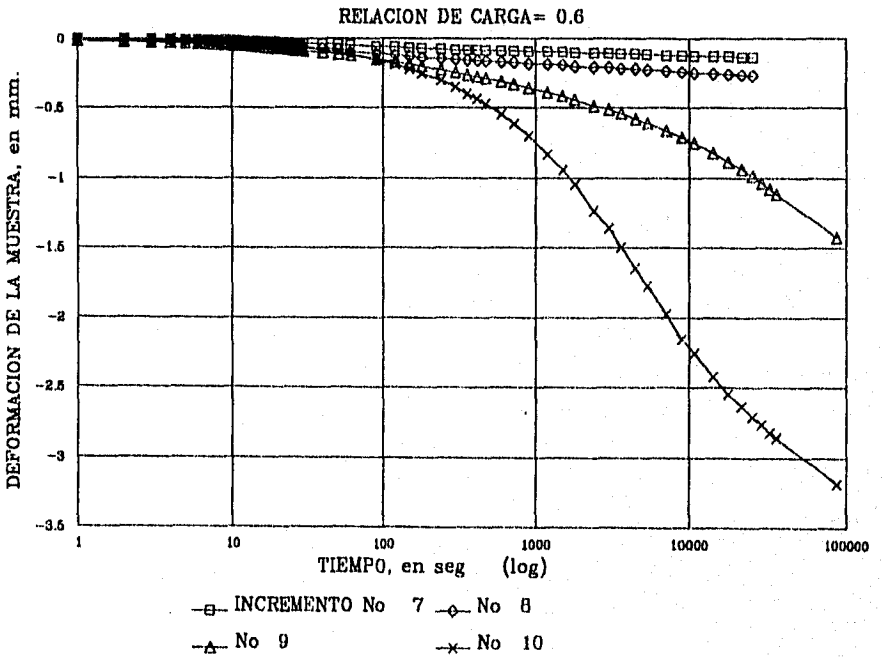
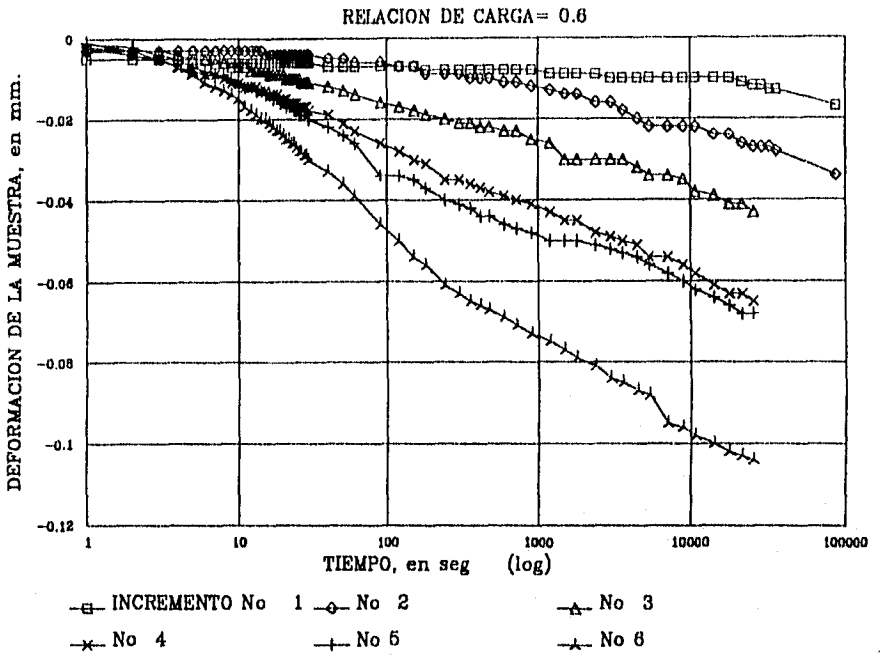
—□— INCREMENTO No 1    —◇— No 2    —△— No 3  
—×— No 4                —+— No 5

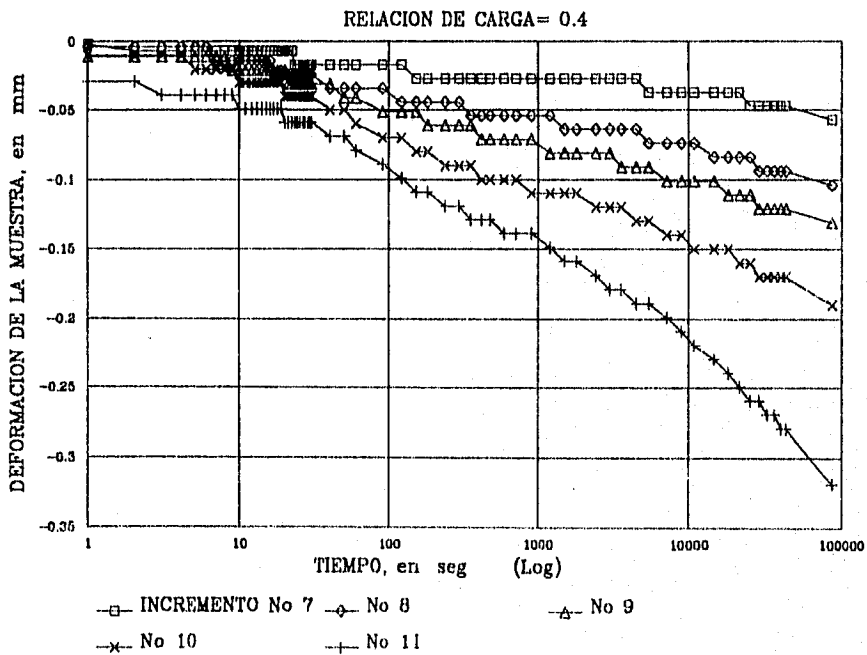
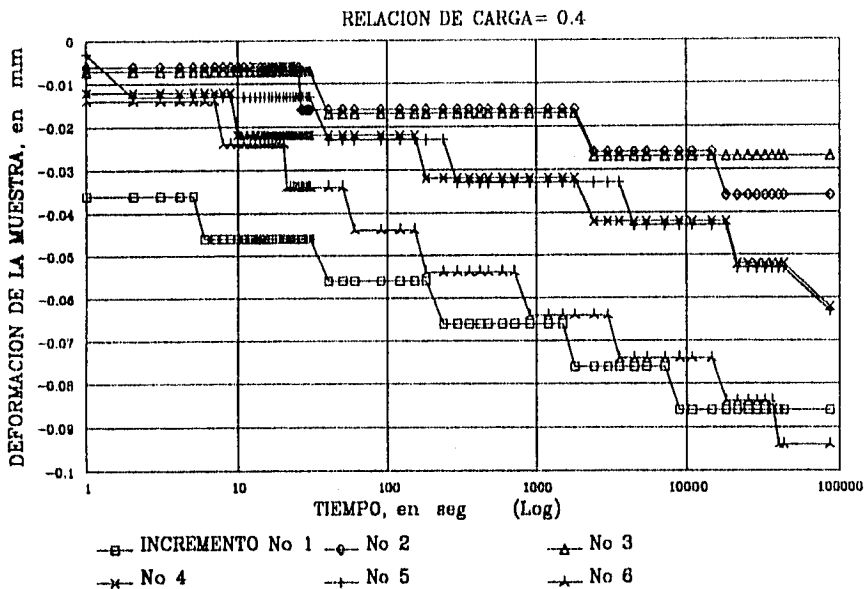
RELACION DE CARGA = 0.8



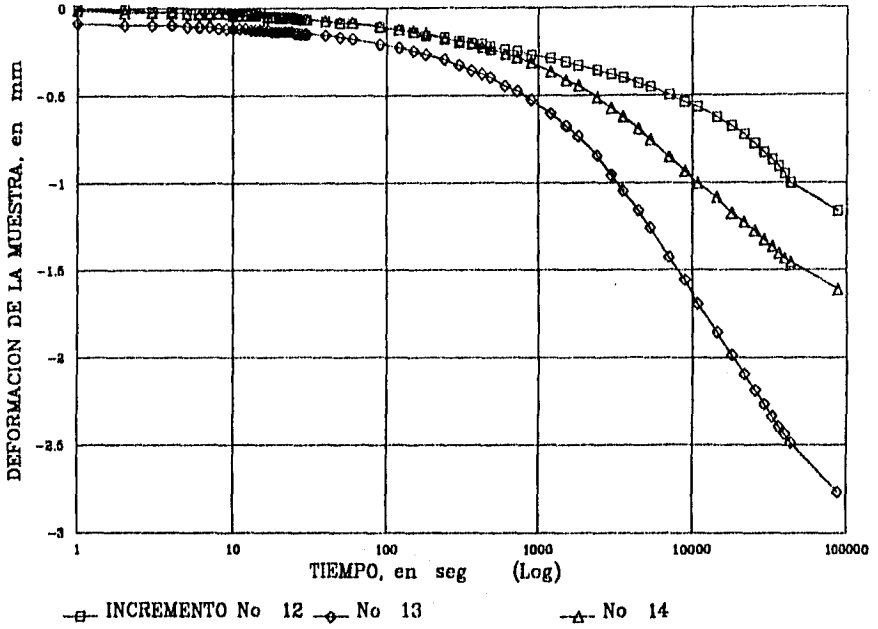
—□— INCREMENTO No 6    —◇— No 7    —△— No 8







RELACION DE CARGA = 0.4



## **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE  
CONSOLIDACION

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE  
CONSOLIDACION

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 1.00

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 1.2

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO:	
Øm = 8.000 cm	Hm = 20.000 mm	Contenido de Agua = 123.030 %	Altura de Sólidos = 4.9513 mm
AREAm = 50.2656 cm <sup>2</sup>	Wm = 133.32 gr	Inicial = 130.867 %	Grado de Saturación = 98.52 %
Ws = 57.74 gr	Ww = 133.98 gr	Final = 98.944 %	Gw(fin) = 100.51 %
Peso Vol = 1.32616 t/m <sup>3</sup>	Se = 2.32	Relación de Vacíos Inicial = 3.059	Final/carga = 1.786
		Final/descarga = 2.059	

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO:	
Øm = 8.000 cm	Hm = 20.000 mm	Contenido de Agua = 129.940 %	Altura de Sólidos = 4.9959 mm
AREAm = 50.2656 cm <sup>2</sup>	Wm = 133.98 gr	Inicial = 120.860 %	Grado de Saturación = 100.40 %
Ws = 58.28 gr	Ww = 133.98 gr	Final = 115.020 %	Gw(fin) = 106.53 %
Peso Vol = 1.33272 t/m <sup>3</sup>	Se = 2.32	Relación de Vacíos Inicial = 3.003	Final/carga = 2.119
		Final/descarga = 2.459	

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MITRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm <sup>2</sup>	REL DE VACIOS e
12/JUN/98	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	20.000	0.000	0.000	3.0033
13/JUN/98	6.283	0.120	0.1200	0.0120	0.108	19.892	0.540	0.125	3.0175
14/JUN/98	12.566	0.230	0.2300	0.0300	0.200	19.800	1.000	0.250	2.9960
15/JUN/98	25.133	0.360	0.3600	0.0600	0.300	19.870	1.650	0.500	2.9727
16/JUN/98	50.266	0.600	0.6000	0.1000	0.401	19.508	2.455	1.000	2.9452
17/JUN/98	100.531	0.980	0.9800	0.1710	0.809	19.191	4.045	2.000	2.8790
18/JUN/98	201.062	2.980	2.9800	0.2290	2.431	17.559	12.155	4.000	2.5484
19/JUN/98	402.124	6.520	6.5200	0.3260	6.192	13.808	30.960	8.000	1.7886
19/JUN/98	201.062	6.300	6.3000	0.2910	6.009	13.991	30.045	4.000	1.8257
19/JUN/98	100.531	5.980	5.9800	0.2330	5.747	14.253	28.735	2.000	1.8796
19/JUN/98	50.266	5.200	5.2000	0.1700	5.490	14.540	27.300	1.000	1.9295
19/JUN/98	25.133	5.320	5.3200	0.2000	5.200	14.800	26.000	0.500	1.9891
19/JUN/98	12.566	5.000	5.0000	0.0800	4.920	15.060	24.800	0.250	2.0457
19/JUN/98	6.283	4.720	4.7200	0.0500	4.670	15.330	23.350	0.125	2.0922

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MITRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm <sup>2</sup>	REL DE VACIOS e
12/JUN/98	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	20.000	0.000	0.000	3.0033
14/JUN/98	5.027	0.019	0.1900	0.0280	0.164	19.836	0.820	0.100	2.9705
14/JUN/98	11.059	0.290	0.2900	0.0330	0.257	19.743	1.285	0.220	2.9519
15/JUN/98	24.326	0.440	0.4400	0.0500	0.390	19.810	1.950	0.484	2.9252
16/JUN/98	53.532	0.680	0.6800	0.0770	0.603	19.347	3.015	1.065	2.8826
17/JUN/98	117.772	1.130	1.1300	0.1090	1.024	18.576	5.120	2.343	2.7993
18/JUN/98	259.099	4.570	4.5700	0.1500	4.420	15.890	22.100	5.154	2.1182
18/JUN/98	117.772	4.280	4.2800	0.1380	4.142	16.858	20.710	2.343	2.1742
18/JUN/98	53.532	3.850	3.8500	0.0980	3.754	16.248	18.770	1.085	2.2516
18/JUN/98	24.326	3.410	3.4100	0.0650	3.341	16.656	18.705	0.484	2.3345
18/JUN/98	11.059	3.070	3.0700	0.0500	3.020	16.900	16.100	0.220	2.3666
18/JUN/98	5.027	2.760	2.7600	0.0400	2.720	17.250	15.800	0.100	2.4568

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE  
CONSOLIDACION

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 0.8

**DATOS GENERALES:**  
Øm = 7.980 cm  
Hm = 20.000 mm  
AREAm = 50.0145 cm²  
Wm = 133.48 gr  
Ws = 58.72 gr  
Peso Vol = 1.33421 t/m³  
Ss = 2.32

**DATOS DE PROCESO:**  
CONTENIDO DE AGUA ALTURA DE SOLIDOS = 5.0008 mm  
Testigo = 121.150 %  
Inicial = 122.806 %  
Final = 103.640 %  
GRADO DE SATURACION  
Gw(ini) = 96.51 %  
Gw(fin) = 105.94 %  
RELACION DE VACIOS  
Inicial = 2.952  
Final/carga = 1.968  
Final/carga = 2.270

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm²	REL DE VACIOS e
22/JUN/96	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	20.000	0.000	0.000	2.9521
23/JUN/96	5.002	0.140	0.1400	0.0040	0.136	19.854	0.680	0.100	2.8252
24/JUN/96	9.003	0.200	0.2000	0.0070	0.193	19.807	0.985	0.180	2.9140
25/JUN/96	16.205	0.280	0.2800	0.0180	0.262	19.738	1.310	0.324	2.9003
25/JUN/96	29.159	0.400	0.4000	0.0410	0.359	19.641	1.795	0.583	2.8512
26/JUN/96	52.515	0.550	0.5500	0.0800	0.470	19.530	2.250	1.050	2.8592
26/JUN/96	94.527	0.800	0.8000	0.1300	0.670	19.330	3.350	1.890	2.8197
27/JUN/96	170.153	1.500	1.5000	0.1800	1.320	18.880	6.800	3.402	2.6913
28/JUN/96	308.292	3.220	3.2200	0.2290	4.991	15.006	24.355	6.124	1.8599
28/JUN/96	170.153	5.040	5.0400	0.2120	4.828	15.172	24.140	3.402	1.9981
28/JUN/96	94.527	4.750	4.7500	0.1820	4.608	15.302	23.040	1.890	2.0415
28/JUN/96	52.515	4.510	4.5100	0.1560	4.354	15.646	21.770	1.050	2.0817
28/JUN/96	29.156	4.260	4.2600	0.1350	4.125	15.675	20.625	0.583	2.1370
28/JUN/96	16.205	4.000	4.0000	0.1200	3.880	16.120	19.400	0.324	2.1854
28/JUN/96	9.003	3.790	3.7900	0.1120	3.678	16.322	18.390	0.180	2.2253
28/JUN/96	5.002	3.560	3.5600	0.1060	3.454	16.546	17.270	0.100	2.2698

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE  
CONSOLIDACION

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 1.0t

**DATOS GENERALES:**  
Øm = 7.980 cm  
Hm = 20.000 mm  
AREAm = 50.0145 cm²  
Wm = 134.46 gr  
Ws = 80.80 gr  
Peso Vol = 1.34421 t/m³  
Ss = 2.32

**DATOS DE PROCESO:**  
CONTENIDO DE AGUA ALTURA DE SOLIDOS = 5.2228 mm  
Testigo = 118.230 %  
Inicial = 118.870 %  
Final = 102.710 %  
GRADO DE SATURACION  
Gw(ini) = 87.30 %  
Gw(fin) = 107.82 %  
RELACION DE VACIOS  
Inicial = 2.829  
Final/carga = 1.862  
Final/carga = 2.214

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm²	REL DE VACIOS e
12/JUN/96	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	20.000	0.000	0.000	2.8295
13/JUN/96	5.002	0.120	0.1200	0.0040	0.116	19.884	0.580	0.100	2.8073
14/JUN/96	10.003	0.200	0.2000	0.0080	0.192	19.808	0.980	0.200	2.7627
15/JUN/96	20.008	0.340	0.3400	0.0240	0.316	19.694	1.590	0.400	2.7690
16/JUN/96	40.012	0.540	0.5400	0.0510	0.479	19.521	2.395	0.800	2.7378
17/JUN/96	80.023	0.850	0.8500	0.1170	0.733	19.287	3.865	1.500	2.6891
18/JUN/96	160.046	1.670	1.6700	0.1750	1.495	18.505	7.475	3.200	2.5432
19/JUN/96	320.093	3.130	3.1300	0.2320	4.898	15.102	24.490	6.400	1.8916
19/JUN/96	160.046	4.920	4.9200	0.2070	4.713	15.287	23.565	3.200	1.9271
19/JUN/96	80.023	4.810	4.8100	0.1750	4.635	15.595	22.175	1.600	1.9603
19/JUN/96	40.012	4.280	4.2800	0.1450	4.115	15.885	20.575	0.800	2.0416
19/JUN/96	20.008	3.630	3.6300	0.1250	3.625	16.195	18.025	0.400	2.1009
19/JUN/96	10.003	3.600	3.6000	0.1140	3.485	16.514	17.430	0.200	2.1520
19/JUN/96	5.002	3.320	3.3200	0.1060	3.214	16.786	16.070	0.100	2.2141

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE CONSOLIDACION

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 0.4

**DATOS GENERALES:**

Øm = 8.000 cm  
Hm = 20.000 mm  
AREAm = 50.2655 cm²  
Wm = 132.82 gr  
Ws = 56.30 gr  
Peso Vol = 1.32118 t/m³  
Ss = 2.32

**DATOS DE PROCESO:**

**CONTENIDO DE AGUA**

Teorigo = 128.590 %  
Inicial = 135.918 %  
Final = 104.707 %

ALTURA DE SOLIDOS = 4.8278 mm

**GRADO DE SATURACION**

Gwfini = 100.34 %  
Gwfin = 115.21 %

**RELACION DE VACIOS**

Inicial = 3.143  
Finalcarga = 1.749  
Finaldescarga = 2.198

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm²	REL DE VACIOS e
12/JUN/96	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	20.000	0.000	0.000	3.1427
13/JUN/96	5.027	0.110	0.1100	0.0040	0.108	19.894	0.530	0.100	3.1207
14/JUN/96	7.037	0.150	0.1500	0.0060	0.142	19.858	0.710	0.140	3.1132
15/JUN/96	9.852	0.180	0.1800	0.0110	0.168	19.831	0.845	0.180	3.1077
16/JUN/96	13.773	0.250	0.2500	0.0200	0.230	19.770	1.150	0.274	3.0850
17/JUN/96	19.302	0.320	0.3200	0.0270	0.293	19.707	1.485	0.384	3.0620
18/JUN/96	26.992	0.430	0.4300	0.0430	0.387	19.613	1.935	0.537	3.0225
19/JUN/96	37.799	0.500	0.5000	0.0580	0.444	19.558	2.220	0.752	3.0507
20/JUN/96	52.929	0.620	0.6200	0.0720	0.548	19.452	2.740	1.053	3.0292
21/JUN/96	74.091	0.770	0.7700	0.0810	0.679	19.321	3.395	1.474	3.0020
22/JUN/96	103.748	0.980	0.9800	0.1110	0.859	19.131	4.345	2.084	2.9827
23/JUN/96	145.217	1.320	1.3200	0.1320	1.188	18.812	5.940	2.899	2.8999
24/JUN/96	203.324	2.500	2.5000	0.1530	2.247	17.653	11.735	4.045	2.6580
25/JUN/96	284.603	5.280	5.2800	0.1870	5.113	14.887	25.585	5.882	2.0838
26/JUN/96	358.454	8.800	8.8000	0.1740	8.729	13.274	33.630	7.927	1.7498
26/JUN/96	284.603	8.820	8.8200	0.1730	8.647	13.353	33.235	5.862	1.7858
26/JUN/96	203.324	8.700	8.7000	0.1700	8.539	13.451	33.895	4.045	1.7888
26/JUN/96	145.217	8.550	8.5500	0.1480	8.402	13.598	32.010	2.889	1.8186
26/JUN/96	103.748	8.380	8.3800	0.1300	8.280	13.740	31.300	2.084	1.8460
26/JUN/96	74.091	8.240	8.2400	0.1100	8.130	13.670	30.650	1.474	1.8729
26/JUN/96	52.929	8.080	8.0800	0.0920	5.988	14.012	29.940	1.053	1.9023
26/JUN/96	37.799	5.800	5.8000	0.0750	5.825	14.175	29.125	0.752	1.9361
26/JUN/96	26.992	5.780	5.7800	0.0640	5.718	14.284	28.560	0.537	1.9587
26/JUN/96	19.302	5.800	5.8000	0.0470	5.553	14.447	27.785	0.384	1.9825
26/JUN/96	13.773	5.900	5.9000	0.0370	5.415	14.597	26.985	0.274	2.0019
26/JUN/96	9.852	5.800	5.3100	0.0270	5.283	14.717	26.415	0.180	2.0484
26/JUN/96	7.037	5.800	5.1400	0.0200	5.120	14.880	26.500	0.140	2.0821
26/JUN/96	5.027	5.780	5.0100	0.0170	4.863	15.007	24.965	0.100	2.1084

PROYECTO: TESIS DE LICENCIATURA  
LOCALIZACION: FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE CONSOLIDACION

SONDEO:  
MUESTRA:  
PROFUNDIDAD:

RELACION DE CARGA = 0.8

**DATOS GENERALES:**

Øm = 8.000 cm  
Hm = 20.000 mm  
AREAm = 50.2655 cm²  
Wm = 132.72 gr  
Ws = 56.60 gr  
Peso Vol = 1.32019 t/m³  
Ss = 2.32

**DATOS DE PROCESO:**

**CONTENIDO DE AGUA**

Teorigo = 128.880 %  
Inicial = 133.251 %  
Final = 108.483 %

ALTURA DE SOLIDOS = 4.8793 mm

**GRADO DE SATURACION**

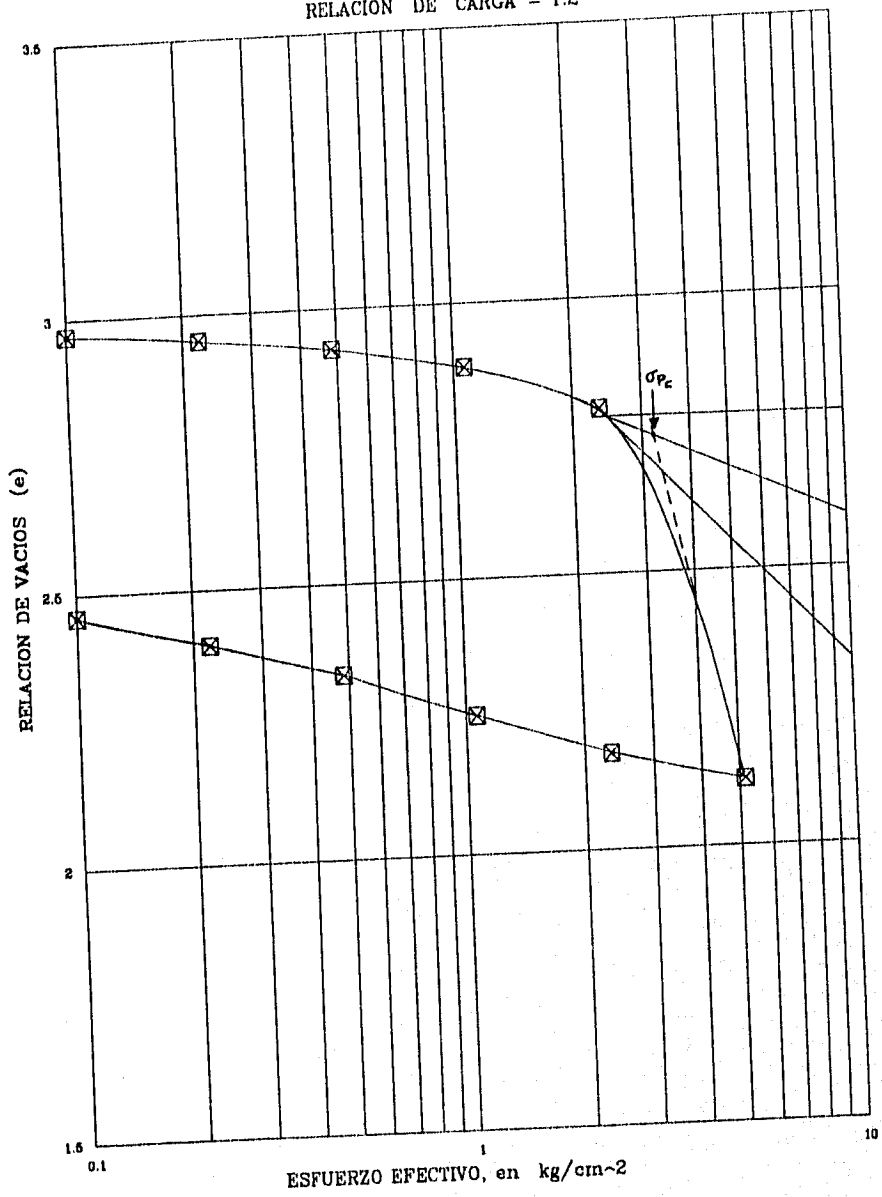
Gwfini = 99.78 %  
Gwfin = 112.52 %

**RELACION DE VACIOS**

Inicial = 3.068  
Finalcarga = 1.847  
Finaldescarga = 2.198

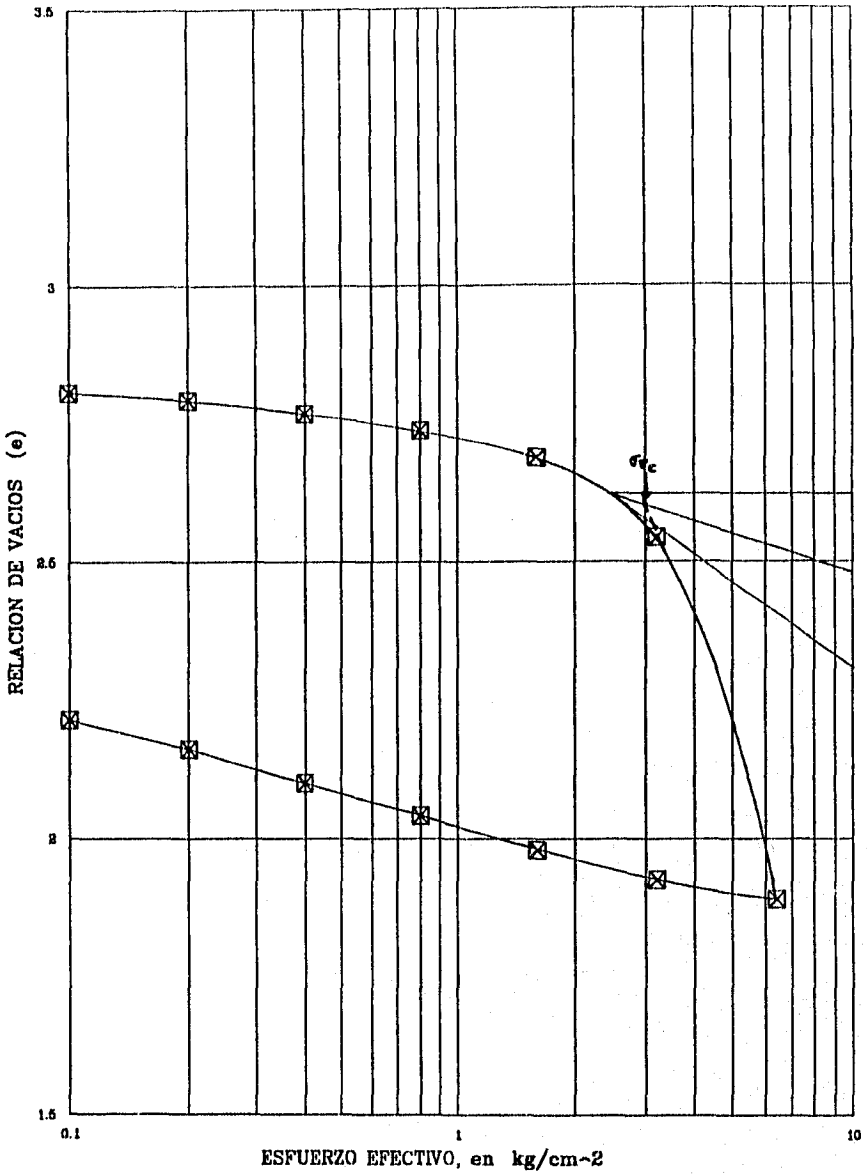
FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF SUELO mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm²	REL DE VACIOS e
22/JUN/96	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	20.000	0.000	0.000	3.0690
23/JUN/96	5.027	0.017	0.0170	0.0110	0.008	19.994	0.030	0.100	3.0977
24/JUN/96	8.943	0.088	0.0880	0.0180	0.050	19.980	0.250	0.180	3.0887
25/JUN/96	12.868	0.123	0.1230	0.0300	0.063	19.907	0.485	0.258	3.0799
25/JUN/96	20.800	0.218	0.2180	0.0500	0.168	19.834	0.833	0.410	3.0650
26/JUN/96	32.975	0.310	0.3100	0.0750	0.235	19.785	1.175	0.558	3.0508
26/JUN/96	52.728	0.460	0.4600	0.1120	0.348	19.652	1.740	1.049	3.0277
27/JUN/96	84.306	0.641	0.6410	0.1580	0.488	19.514	2.430	1.679	2.9894
27/JUN/96	135.012	0.970	0.9700	0.1970	0.773	19.227	3.885	2.688	2.9409
28/JUN/96	212.923	2.470	2.4700	0.2350	2.235	17.785	11.175	4.230	2.8409
28/JUN/96	342.257	5.822	5.8220	0.3010	5.821	14.379	28.105	8.808	1.9479
28/JUN/96	212.923	5.805	5.8050	0.2940	5.511	14.489	27.555	4.230	1.9995
28/JUN/96	135.012	5.658	5.6580	0.2570	5.401	14.589	27.005	2.888	1.9920
28/JUN/96	84.306	5.451	5.4510	0.2150	5.238	14.784	26.180	1.876	2.0259
28/JUN/96	52.728	5.178	5.1780	0.1710	5.006	14.965	25.025	1.049	2.0732
28/JUN/96	32.975	5.095	5.0350	0.1370	4.898	15.102	24.490	0.856	2.0951
28/JUN/96	20.800	4.858	4.8580	0.1100	4.749	15.251	23.745	0.410	2.1257
28/JUN/96	12.868	4.674	4.6740	0.0810	4.583	15.407	22.985	0.258	2.1576
28/JUN/96	8.043	4.582	4.5820	0.0600	4.502	15.498	22.510	0.180	2.1763
28/JUN/96	5.027	4.458	4.4580	0.0500	4.408	15.532	22.040	0.100	2.1958

RELACION DE CARGA = 1.2

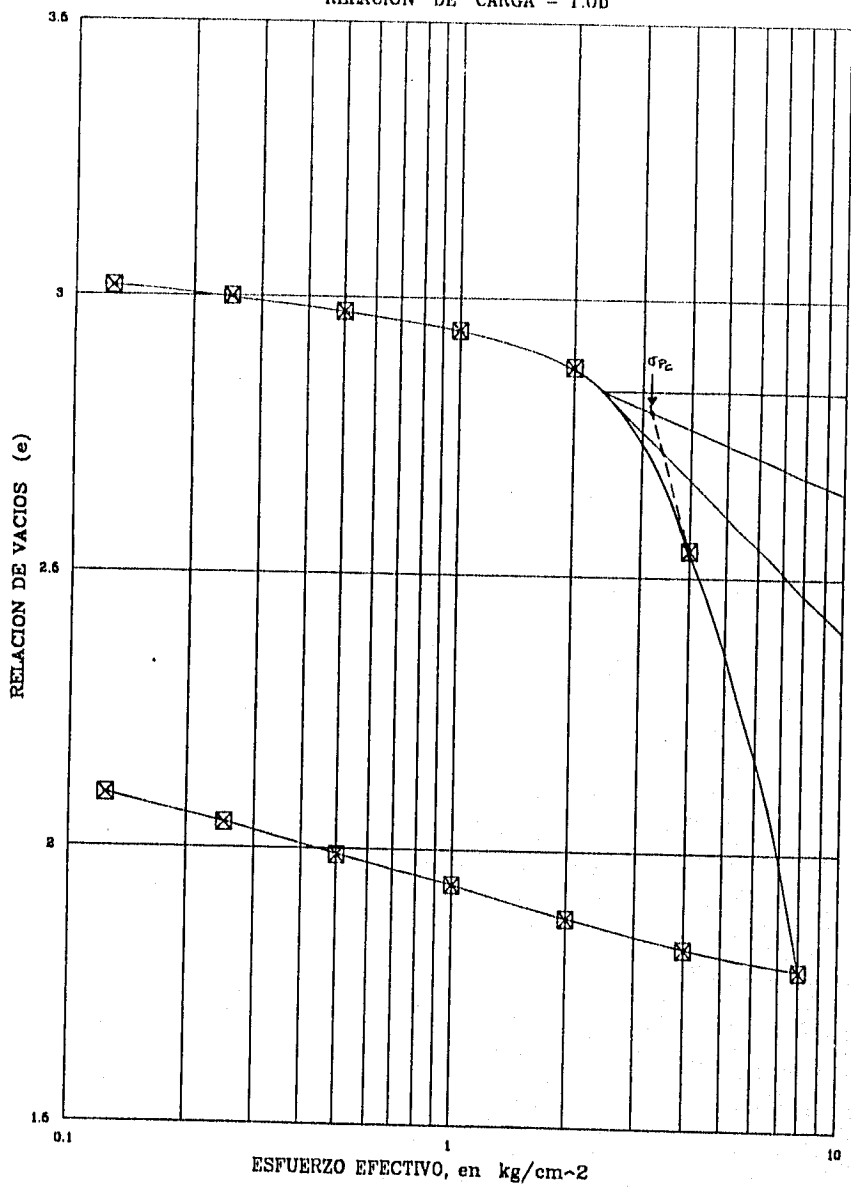




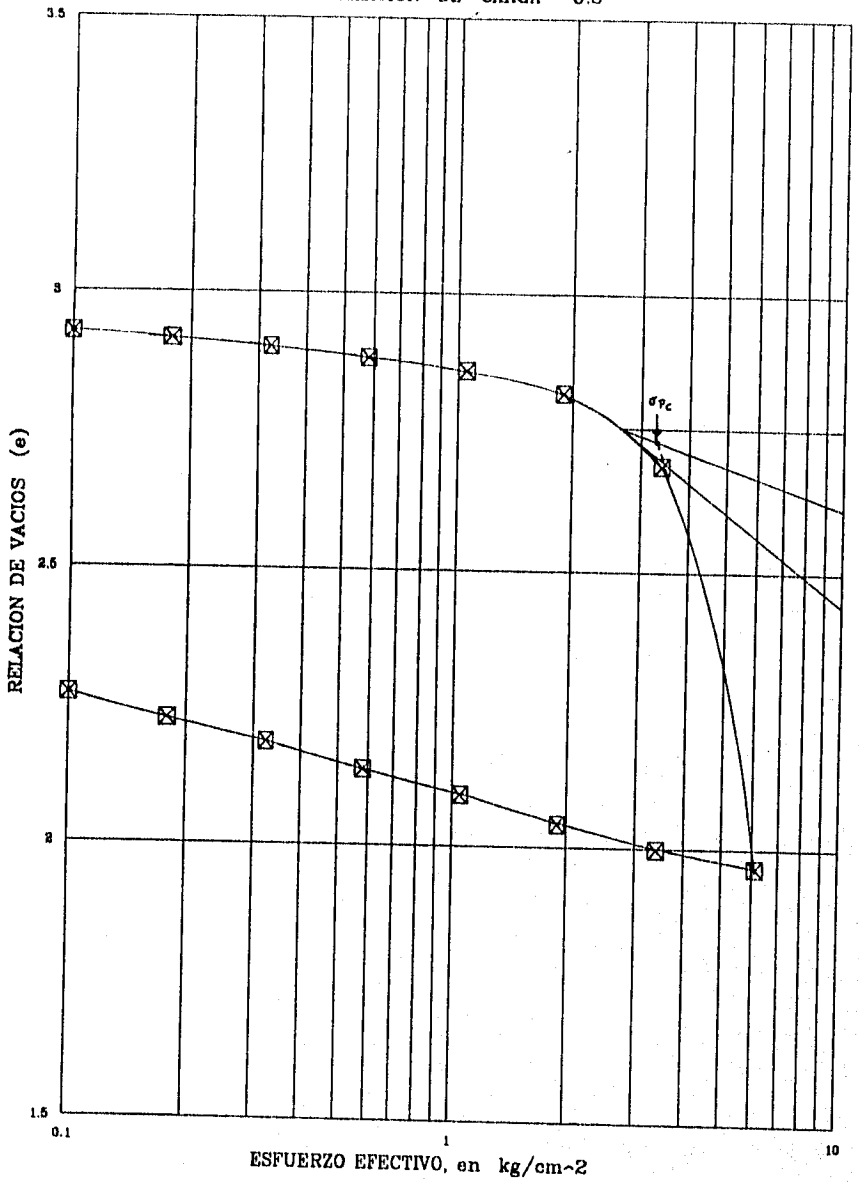
RELACION DE CARGA = 1.0a



RELACION DE CARGA = 1.0b

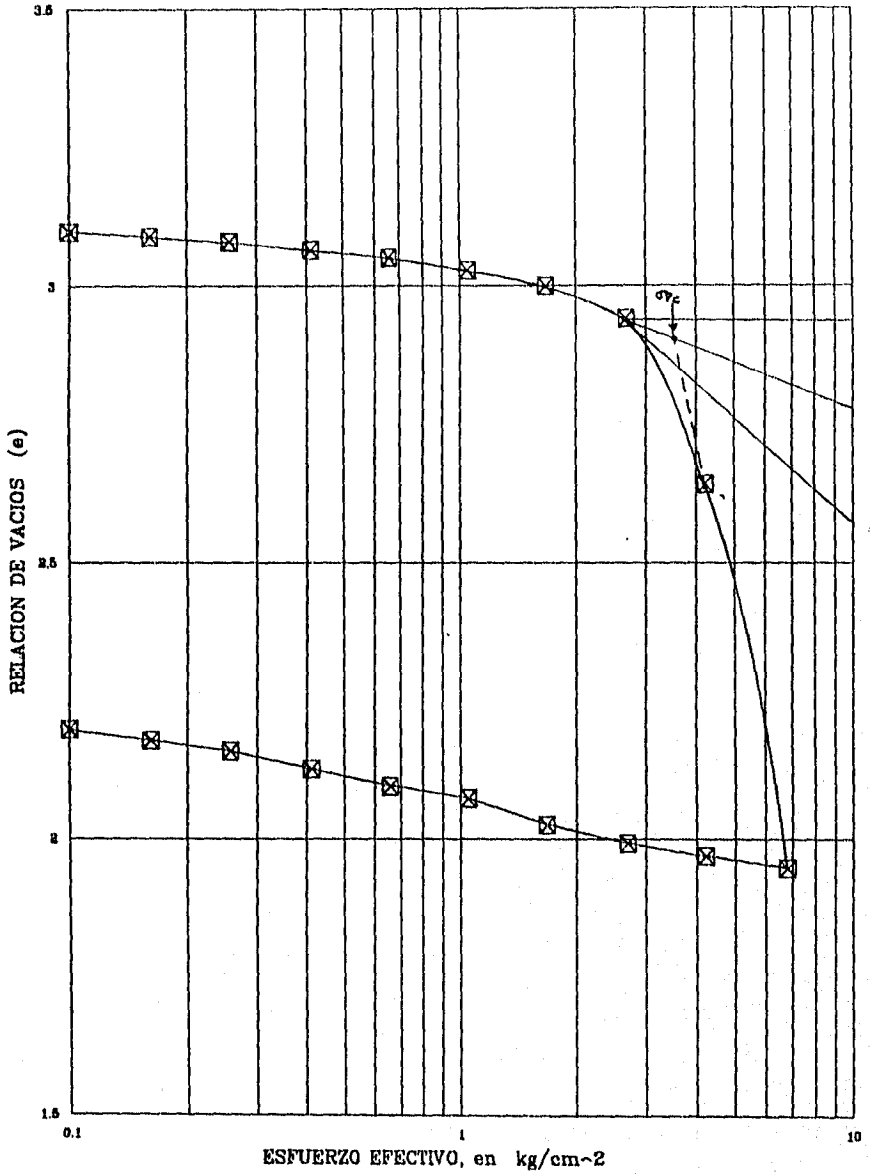


RELACION DE CARGA = 0.8

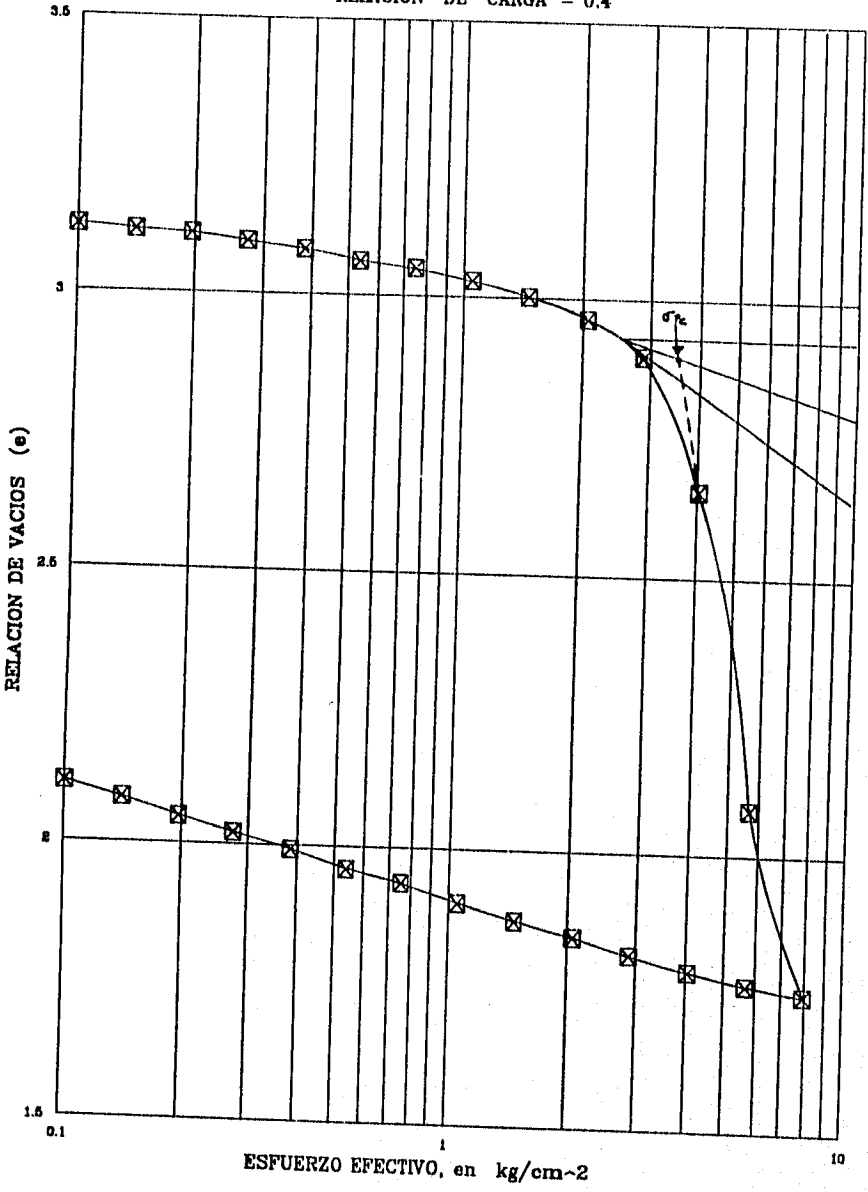


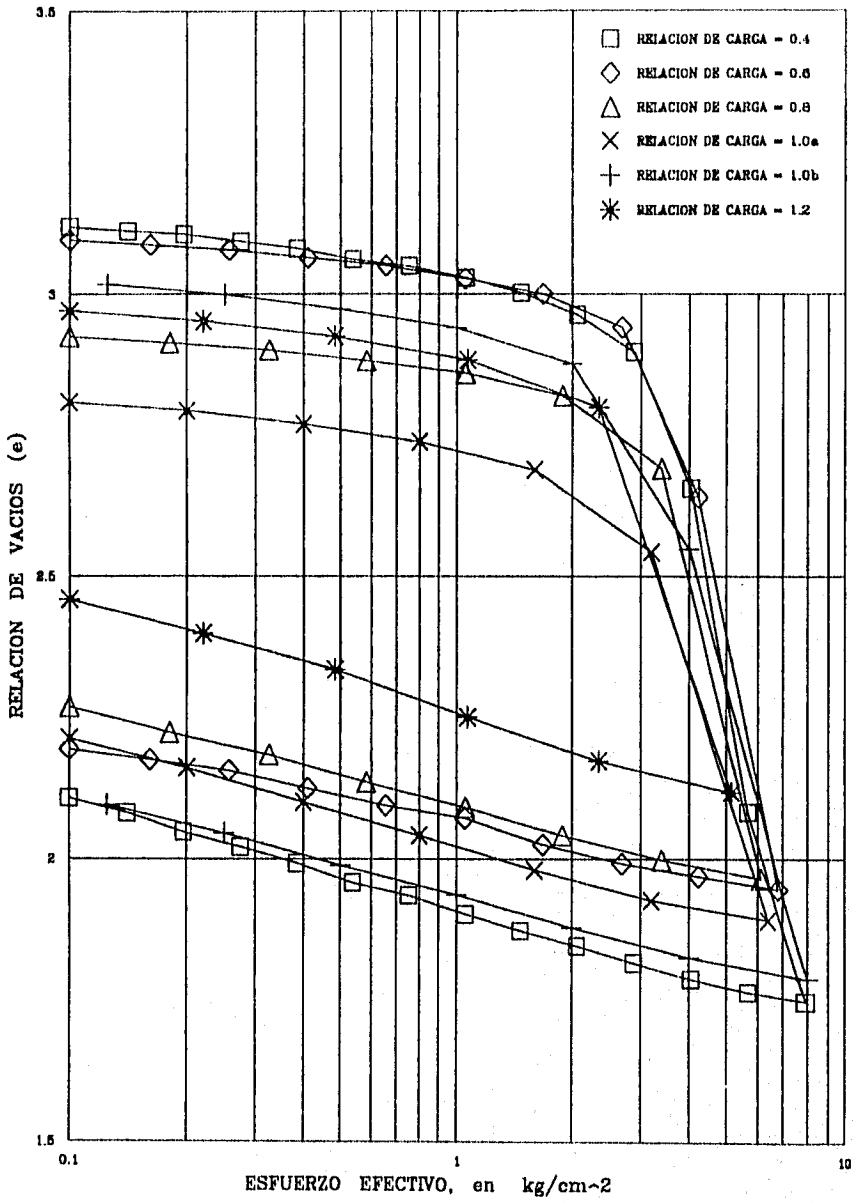
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

RELACION DE CARGA = 0.6



RELACION DE CARGA = 0.4





## CONCLUSIONES

Las conclusiones que se obtuvieron del desarrollo del presente trabajo son muy importantes porque con ellas se pueden conseguir mejores y más exactos valores para poder diseñar y hacer más eficientes las construcciones.

De los datos arrojados por la investigación podemos decir que para los suelos blandos se debe de utilizar una razón de carga de 0.4, esto por varios motivos; con esta razón de carga se obtienen más puntos para poder definir con una mejor precisión el punto que nos da como dato la carga de preconsolidación, la cual es muy importante para el diseño de construcciones .

Con esta razón de carga se destruye menos al suelo en estudio puesto que los incrementos de carga son más pequeños los absorbe mejor, dañándose muy poco el material; obteniéndose también pruebas más representativas del suelo.

Una de las limitaciones con que uno se puede encontrar es el tiempo de realización de la prueba, pero se puede resolver muy fácilmente si se van graficando los valores que se van obteniendo de la prueba, con esto se va viendo como evoluciona la consolidación primaria, y en qué momento se logra ésta para poder aplicar el siguiente incremento de carga; así mismo en la curva de compresibilidad, pues se debe de cuidar mucho el poder definir bien el punto de la carga de preconsolidación, después de encontrar dicho valor se pueden efectuar incrementos más fuertes. Efectuando esta metodología se reduce el tiempo de la prueba en un 50% aproximadamente.

A continuación se hacen una serie de recomendaciones para poder efectuar mejores y más eficientes pruebas.

1.- Usar micrómetros de 3 decimales para poder obtener mejores gráficas de consolidación.

2.- Al obtener las lecturas del micrómetro con la lectora, se hagan de la siguiente manera:

0-10 Cada 1 seg.

10-30 Cada 2seg.

30-60 Cada 5 seg.

Esto con el fin de obtener menos puntos al inicio de la curva de consolidación y poder observar mejor el desarrollo de ésta.

3.- Fijar bien el micrómetro para una buena obtención de los datos.

4.- Efectuar los incrementos de carga a una misma hora siempre, y que de preferencia coincida con una hora exacta.

5.- La razón de carga siempre dependerá del tipo de suelo que se esté estudiando.



## BIBLIOGRAFÍA

MECÁNICA DE SUELOS.  
TOMO 1,  
JUÁREZ BADILLO, RICO RODRÍGUEZ.  
EDITORIAL LIMUSA.

SOILS MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE.  
TERZAGHI, KARL AND PECK, RALPH B.  
JOHN WILEY & SONS, INC. 1967

FUNDAMENTALS OF SOIL MECHANICS.  
TAYLOR, DONALD WOOD.  
JOHN WILEY & SONS, INC 1948

APUNTES DE LA MATERIA DE COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS.  
ING. HÉCTOR ALFREDO LEGORRETA CUEVAS.  
FACULTAD DE INGENIERÍA.  
U. N. A. M.