

CONSOLIDOMETRO CON MEDICION DE PRESION DE PORO

Walter I. Paniagua Zavala *
Alberto Jaime P. **

*** Alumno de Posgrado, DEPMI UNAM**

**** Investigador, Instituto de Ingeniería UNAM
y Profesor, DEPMI UNAM**

D - 94

CONOLIDOMETRO CON MEDICION
DE PRESION DE PORO



F
DEPMI
D-94
1991
E.S.

Walter J. Parizquez Zavala
Alonso Jaime P.

Alumno de Posgrado, DEPMI UNAM
Investigador, Instituto de Física UNAM
Profesor, DEPMI UNAM

D-94

C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION
2. DESCRIPCION DEL EQUIPO
3. CALIBRACION DEL EQUIPO
4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYE
5. POSIBLES FUENTES DE ERROR
6. RESULTADOS TIPICOS
7. CONCLUSIONES
8. RECONOCIMIENTOS
9. REFERENCIAS

C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION
2. DESCRIPCION DEL OBJETO
3. CATEGORIAS DEL OBJETO
4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
5. POSIBLES FUENTES DE ERROR
6. RESULTADOS TEORICOS
7. CONCLUSIONES
8. REFERENCIAS
9. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION

El objeto de una prueba de consolidación unidimensional es determinar el cambio de volumen, y la velocidad con que ocurre, de un espécimen de suelo con confinamiento rígido lateral, y sujeto a una carga axial, de tal manera que la deformación lateral sea nula.

La prueba se hace aplicando al suelo una serie de incrementos crecientes de carga axial. El cambio de volumen se mide con un extensómetro montado en un puente fijo, y conectado a la placa de carga.

Para cada incremento de carga, los cambios volumétricos se miden con respecto al tiempo. Con estos datos, se obtiene la curva de consolidación, para los incrementos de carga. Además, se determina la curva de compresibilidad del suelo (relación de vacíos vs esfuerzo vertical aplicado).

En los ensayos de consolidación unidimensional con contrapresión, y con medición de presión de poro, se obtiene la misma información de las pruebas convencionales, y, además, se mide la disipación del exceso de presión hidrostática en el agua intersticial durante cada incremento de carga. Se somete el espécimen a una contrapresión, con el propósito asegurar un grado de saturación cercano al 100 %, lo cual permite que la medición de la presión de poro sea confiable.

La medición de presión de poro en muestras de suelo en pruebas de consolidación se realizó originalmente con el propósito de corrobora-

rar las predicciones hechas con la teoría de Terzaghi. Posteriormente, se han llevado a cabo para realizar ensayos de compresibilidad diferentes al convencional, como los de deformación controlada, carga continua, gradiente controlado, etc.

El proceso de consolidación definido por Terzaghi, sólo considera la parte hidrodinámica del proceso de deformación del suelo. Para verificar lo señalado por este autor se requieren mediciones directas de la disipación del exceso de presión de poro durante la consolidación, y como ayuda en el estudio de la consolidación secundaria.

En este trabajo se describe un consolidómetro que permite aplicar contrapresión al espécimen de suelo, dar la carga en forma neumática, y medir la presión del agua intersticial en la base del espécimen. También se explicitan los sistemas de medición, y se señalan las posibles fuentes de error.

2. DESCRIPCION DEL EQUIPO

El equipo consta de las siguientes partes (figs 1, 2 y 3) :

- 1) Cámara inferior. Se compone de un cilindro de lucita de 5" de diámetro, una placa base, anillo de consolidación fijo (de 50 cm² de área y 20 mm de altura), dos piedras porosas, y placa de purga/transmisión de carga. La cámara inferior aloja al espécimen y se encuentra llena de agua sometida a presión, fig 2.

La placa base tiene dos orificios que conectan al exterior de la cámara: uno al centro de ella, para medir la presión de poro; y el otro, a un lado del anillo, para inundar la cámara inferior y aplicarle presión.

El anillo de consolidación se encuentra fijo a la placa base, y a un anillo que contiene una piedra porosa (esta piedra porosa no forma una superficie de drenaje, sino que permite medir la presión del agua en la base del espécimen). El anillo de la piedra porosa cuenta con dos aro-sellos, en las caras superior e inferior (fig 3), para sellar al espécimen del resto de la cámara.

La placa de transmisión de carga se coloca sobre la piedra porosa que se encuentra arriba del espécimen; esta piedra permite el drenaje del suelo.

2) Cámara superior. Se compone de un cilindro de lucita de 5" de diámetro, placa, tapa y extensómetro de carátula, con precisión de 0.01 mm. La placa tapa tiene dos orificios que conectan al exterior: uno para transmitir la carga (presión total) sobre el espécimen en forma neumática, y otro para purgar de aire la cámara inferior, a través de una manguera, fig 2.

Las cámaras superior e inferior se encuentran separadas por una membrana de hule, de forma circular, mediante la cual se aplica la carga axial al suelo. La membrana cuenta con una conexión con la placa tapa, para permitir la salida del aire al inundar la cámara inferior.

Asimismo, se colocó una base rígida sobre la membrana, para apoyo del extensómetro.

Las placas base y tapa están unidas por tres barras, perpendiculares a éstas, y colocadas a 120° .

La presión de poro se mide con un transductor electrónico, cuya señal se lee con un puente de Wheatstone digital. Este equipo permite medir la presión con una precisión de 0.01 kg/cm^2 .

El arreglo general del aparato se muestra en la fig 4. Se observa que la presión hacia la cámara inferior se transmite a través de un recipiente cerrado. Entre este recipiente y la cámara, se encuentra la válvula (3), que controla el drenaje de la cámara (y el desplazamiento del espécimen).

El funcionamiento del equipo para hacer el ensaye con incrementos de carga es como sigue (fig 5):

- 1) Se coloca el espécimen en la cámara inferior, y se inunda (fig 5a). Si se desea, es posible aplicar una presión a través del recipiente cerrado, mostrado en la fig 4.

- 2) Con el drenaje cerrado (válvula-3, fig 4), se da un incremento de presión (de aire), a través de la cámara superior. Como la presión se transmite por medio de la membrana, tanto al espécimen como al agua

dentro de la cámara inferior, el esfuerzo efectivo no cambia y no hay consolidación (fig 5b).

3) Se permite el drenaje, y entonces el incremento de carga lo toma el suelo. Al deformarse la membrana, un poco de agua es expulsada, fuera de la cámara, hacia el recipiente cerrado. La membrana permanece deformada transmitiendo la carga al espécimen (fig 5c).

El equipo diseñado permite, con ligeras adaptaciones, realizar otro tipo de ensayos, poco convencionales, tales como : de gradiente controlado, velocidad de carga continua, y velocidad de deformación controlada. En la fig 6 se muestra el consolidómetro con medición de presión de poro, modificado para realizar este ensaye, colocado sobre una máquina de deformación controlada. La carga se aplica a través de un vástago, que descansa en la tapa superior de la muestra de suelo.

3. CALIBRACION DEL EQUIPO

La compresibilidad del equipo se mide colocando en lugar del espécimen, una placa rígida. Se inunda la cámara inferior y se registra en el extensómetro la deformación bajo carga (con el drenaje cerrado). La curva de calibración se muestra en la fig 7.

Con el transductor de presión de poro se mide la presión del agua dentro de la celda, con el objeto de determinar la magnitud de la carga absorbida por la deformación de la membrana, comparando las presiones de las cámaras superior e inferior. Se observó que la res-

puesta era igual a la presión aplicada, es decir, la carga se transmite íntegramente al espécimen, a través de la membrana.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYE

MONTAJE

1) Labrado. Se hace de manera similar a los ensayos convencionales. Debe ponerse especial cuidado al enrasar la cara inferior del espécimen, para evitar un remoldeo excesivo, que eclipse la medición de presión de poro (que se realiza en la base). Asimismo, se colocan discos de papel filtro en ambas caras del espécimen.

2) Se coloca sobre la placa base una piedra porosa (dentro de un anillo) y, sobre ésta, el anillo de consolidación (fig 2); el anillo con la piedra porosa y el de consolidación se fijan a la placa base con tres tornillos (fig 8a). Es recomendable aplicar un poco de grasa a la cabeza de los tornillos, para evitar su oxidación, ya que permanecen bajo agua durante todo el ensaye.

3) Se coloca la piedra porosa superior y el cilindro de lucita de la cámara inferior (fig 8b).

4) Se coloca la placa de transmisión de la carga (que tiene atornillada la membrana y una placa para soporte del extensómetro) sobre la piedra porosa. Debe cuidarse que la membrana apoye uniformemente sobre el cilindro de lucita.

5) Se coloca el cilindro de lucita de la cámara superior sobre la membrana, que se encuentra extendida sobre el cilindro inferior. Ambos cilindros sujetan la membrana.

6) Se coloca la tapa (con el extensómetro atornillado) sobre el cilindro de la cámara superior. En esta posición, la manguera de purga que tiene la membrana (fig 9a) se conecta a la tapa.

Debe cuidarse que el extensómetro tenga carrera suficiente para la deformación esperada, ya que no es posible manipular el extensómetro durante el ensaye. Esto se puede lograr ajustando el tornillo que lo sujeta a la tapa (fig 2).

7) La tapa se apoya sobre el cilindro de lucita superior, y se fija por medio de tres barras que se atornillan a la placa base. Debe sujetarse con la presión suficiente para que los cilindros opriman la membrana de hule, y ésta selle las cámaras superior e inferior (fig 9b) del consolidómetro.

SATURACION DEL SISTEMA (Referirse a la fig 4)

8) Con las válvulas 2,3,4,6 y 8 cerradas, se abren las válvulas 1 y 5, para permitir que el agua del depósito, destilada y desaireada, inunde las líneas del sistema. La bureta y el recipiente cerrado deben contener un pequeño tirante de agua, así como la línea entre la válvula 4 y la piedra porosa de la placa base.

9) Se permite que escurra un poco de agua por el tornillo de purga de la válvula de block del transductor de presión (fig 10). Posteriormente, se cierra el tornillo de purga y se abre la válvula 6, dejando escurrir agua. Es posible llenar los conductos de la válvula de block del transductor utilizando una jeringa con aguja, a través del orificio del tornillo de purga, cuidando de no dañar la membrana de medición del transductor.

10) Después de circular el agua por las líneas por algunos segundos, se cierra la válvula 6 y la alimentación de agua (válvula-1); asimismo, se abren las válvulas 2 y 8, correspondientes a la bureta y al recipiente cerrado, respectivamente.

11) Se aplica una presión, a través de la bureta y del recipiente cerrado, de 1 a 2 kg/cm^2 ; entonces, se deja salir un poco de agua, abriendo y cerrando rápidamente la válvula 6, cuidando que siempre exista un tirante de agua en la bureta y en el recipiente. En caso de vaciarse alguno de los dos, es necesario regresar al punto (9). Se registra la lectura en la bureta.

12) Se retira la presión aplicada, y se observa el cambio de lectura en la bureta; la diferencia de lecturas no debe ser mayor de 1 mm. Una lectura mayor indica la presencia de aire atrapado en el sistema, por lo que es necesario repetir el procedimiento a partir del punto (11).

INUNDACION (Referirse a la fig 4)

13) Una vez saturadas las líneas, se procede a la inundación de la muestra, cerrando las válvulas 2,5, y 8. Se abren la válvula 1, de alimentación de agua, la válvula 3, de entrada de agua a la cámara inferior, y la válvula 7, para permitir la salida de aire de la cámara inferior.

14) Se llena de agua la cámara inferior, con una velocidad tal, que se evite la presencia de burbujas en su interior.

15) Se permite que salga un poco de agua a través de la válvula 7, para asegurar la saturación de la cámara inferior; una vez inundada la cámara, se cierran las válvulas 1 y 7 simultáneamente.

APLICACION DE CONTRAPRESION (BP) (Referirse a la fig 4)

16) Se abren las válvulas 2,3 y 4. Se aplica la presión deseada (contrapresión) a través del recipiente cerrado y, simultáneamente, se aplica esa misma presión a la cámara superior, con el objeto de evitar que exista un cambio de esfuerzos efectivos en el espécimen.

17) La contrapresión se mantiene el tiempo suficiente para que se disuelvan las burbujas de gas; Black y Lee (1983), reportan el tiempo señalado para incrementar la saturación de los especímenes (fig 11). En todos los casos, la contrapresión se mantuvo 24 horas.

CARGA INCREMENTAL

18) Para iniciar un incremento de carga, se cierra la válvula 3, (fig 4), y se aplica el incremento de presión deseado a la cámara superior.

Se observa el aumento de la presión de poro, así como el tiempo que tarda en ocurrir. Si el espécimen se encuentra muy cercano al 100 % de saturación, la presión de poro se incrementará en la misma magnitud que el incremento de presión en la cámara superior, y casi de inmediato. La relación entre el aumento de presión de poro y el aumento de presión en la cámara, se puede considerar similar al parámetro B de Skempton. Black y Lee (1973), muestran valores típicos del parámetro B vs. el grado de saturación (fig 12), que dan una idea del grado de saturación logrado en el espécimen.

19) Una vez estabilizada la lectura de presión de poro (usualmente entre 15 y 40 min.), se registra la magnitud de la deformación instantánea ocurrida en esta etapa, antes de iniciar la consolidación.

20) Se inicia la consolidación al abrir el drenaje, con la válvula 3. Se toman lecturas de deformación volumétrica (en el extensómetro) y de presión de poro (en el puente digital), respecto del tiempo.

DESCARGA

21) Una vez terminado el proceso de carga, se inicia la descarga con el procedimiento inverso: se cierra la válvula 3 (de drenaje) y se

disminuye la presión en la cámara superior. Para iniciar la descarga, se abre el drenaje.

Se permite la descarga durante 1 minuto, para cada decremento, a fin de observar únicamente el fenómeno de recuperación elástica del suelo.

5. POSIBLES FUENTES DE ERROR.

1) Debidos a la muestra.

- Alteración de la probeta durante su preparación. Los cambios en la estructura del suelo afectan la relación esfuerzo-deformación-tiempo.
- Los residuos del labrado para la determinación de la densidad de sólidos y contenido de agua, pudieran no ser representativos de la muestra.

2) Debidos al equipo.

- Corrientes galvánicas en el consolidómetro. Se impiden utilizando materiales no corrosivos (por ejemplo, plástico, acero inoxidable) en el anillo.
- Fricción entre la muestra y el anillo. Para disminuirla, se aplica una capa delgada de grasa de silicón en el interior del anillo, antes del labrado.
- Rozamiento de las piedras porosas con el anillo.
- Permeabilidad insuficiente en las piedras porosas.

- Fugas entre el anillo de la piedra porosa, el anillo de consolidación, y la placa base. Existe comunicación entre el espécimen y la cámara inferior; es decir, el drenaje no se encuentra impedido en la base, y no es posible medir la disipación del exceso de presión de poro.

- Fugas en la membrana. La presión de la cámara superior se transmite a la inferior, y el esqueleto del suelo no recibe carga.

- Fugas de presión en la cámara superior. No se mantiene la carga constante.

- Variaciones en la presión de la cámara superior, debidas a mal funcionamiento de los reguladores de presión de aire, o a interrupciones en el suministro de aire a presión.

- Inclinação de la placa de transmisión de carga durante el ensaye. Esto puede deberse a heterogeneidades en el espécimen, o a un deterioro de la membrana.

3) Debidos al procedimiento.

- La probeta no llena completamente el anillo de consolidación.

- Secado del espécimen, si no se hace el labrado en el cuarto húmedo.

- Variaciones apreciables de la temperatura durante la prueba. Esto afecta la viscosidad del agua y las lecturas de deformación.

- Relación incremento de carga-esfuerzo actuante inadecuada.

- Líneas del sistema con burbujas de aire atrapadas. Esto genera errores en la medición de presión de poro.

- Contrapresión inadecuada. Si es pequeña, puede ser insuficiente para generar la saturación deseada; y si es muy grande, puede ocasionar

nar daños en la estructura del suelo. Lowe et al (1964), recomiendan utilizar el valor de la presión de poro que la muestra tenía in situ.

- Tiempo de aplicación de contrapresión insuficiente para garantizar la saturación.

6. RESULTADOS TIPICOS.

En la fig 13 se muestra una gráfica típica de disipación de exceso de presión de poro de una muestra de arcilla de la ciudad de México. Paniagua (1989) presenta los resultados detallados de una serie de ensayos realizados con este aparato.

Se pueden hacer ensayos de consolidación con velocidad controlada. El ensayo se realiza deformando de manera continua al espécimen de arcilla, con una velocidad constante. En la fig 14 se muestra la curva de compresibilidad de una muestra de suelo, determinada con un ensayo de velocidad de deformación constante. Se compara con una curva obtenida en un ensayo convencional, en una muestra de arcilla gemela.

7. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó un consolidómetro con medición de presión de poro en la base del espécimen, con carga neumática y posibilidad de aplicación de contrapresión. Se muestra, paso a paso, el montaje y desarrollo del ensayo con este equipo.

2. El consolidómetro con medición de presión de poro es sencillo de manejar y no se requiere de equipo sofisticado para su uso. La información obtenida es de gran ayuda para explicar el comportamiento del suelo. Sin embargo, las fuentes de error son más numerosas que las de los ensayos convencionales.

3. El equipo permite realizar ensayos de velocidad de deformación controlada (CRS), de carga continua y de gradiente controlado, con adaptaciones mínimas.

8. RECONOCIMIENTO

La información presentada en este trabajo proviene de la tesis de maestría del primer autor, hecha bajo la dirección del segundo en la División de Estudios de Posgrado de la UNAM.

9. REFERENCIAS

1. Black, D.K. and Lee, K.L. (1973) "Saturating Laboratory Samples by Back Pressure", JSMFD, ASCE Vol.94, pp.234-251.
2. Black, D.K. and Lee, K.L. (1983) "Time to Dissolve an air Bubble in a drain Line", JSMFD, ASCE Vol.98, pp.181-194.
3. Lowe J. III, Zacheo F., and Feldman H. (1962) "Consolidation Testing with Backpressure", JSMFD, ASCE, SM5, pp.69-102.
4. Paniagua, W.I. (1989) "Deformabilidad de Arcillas, Incluyendo Compresión Secundaria". Tesis de Maestría, DEPI UNAM.

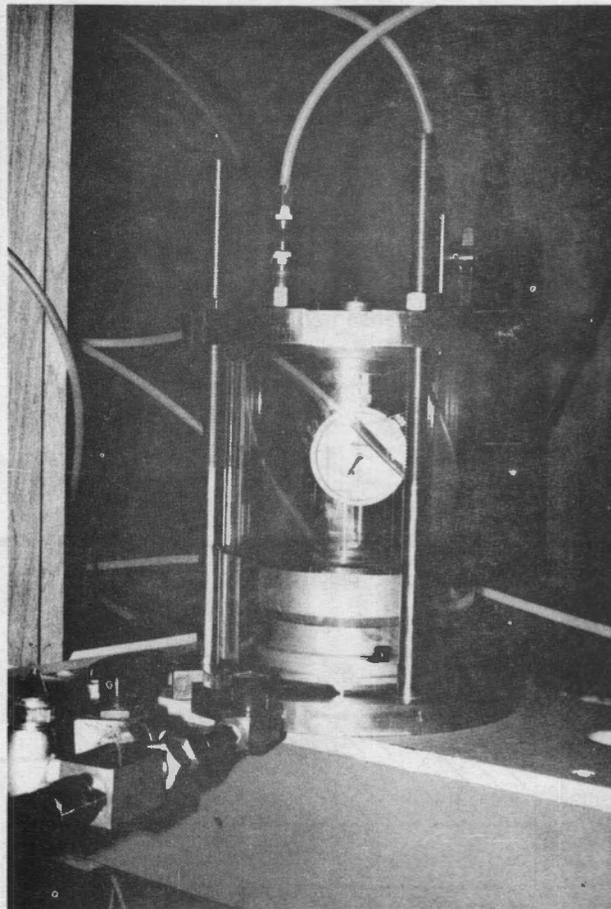


Fig. 1 Consolidómetro con medición de presión de poro.

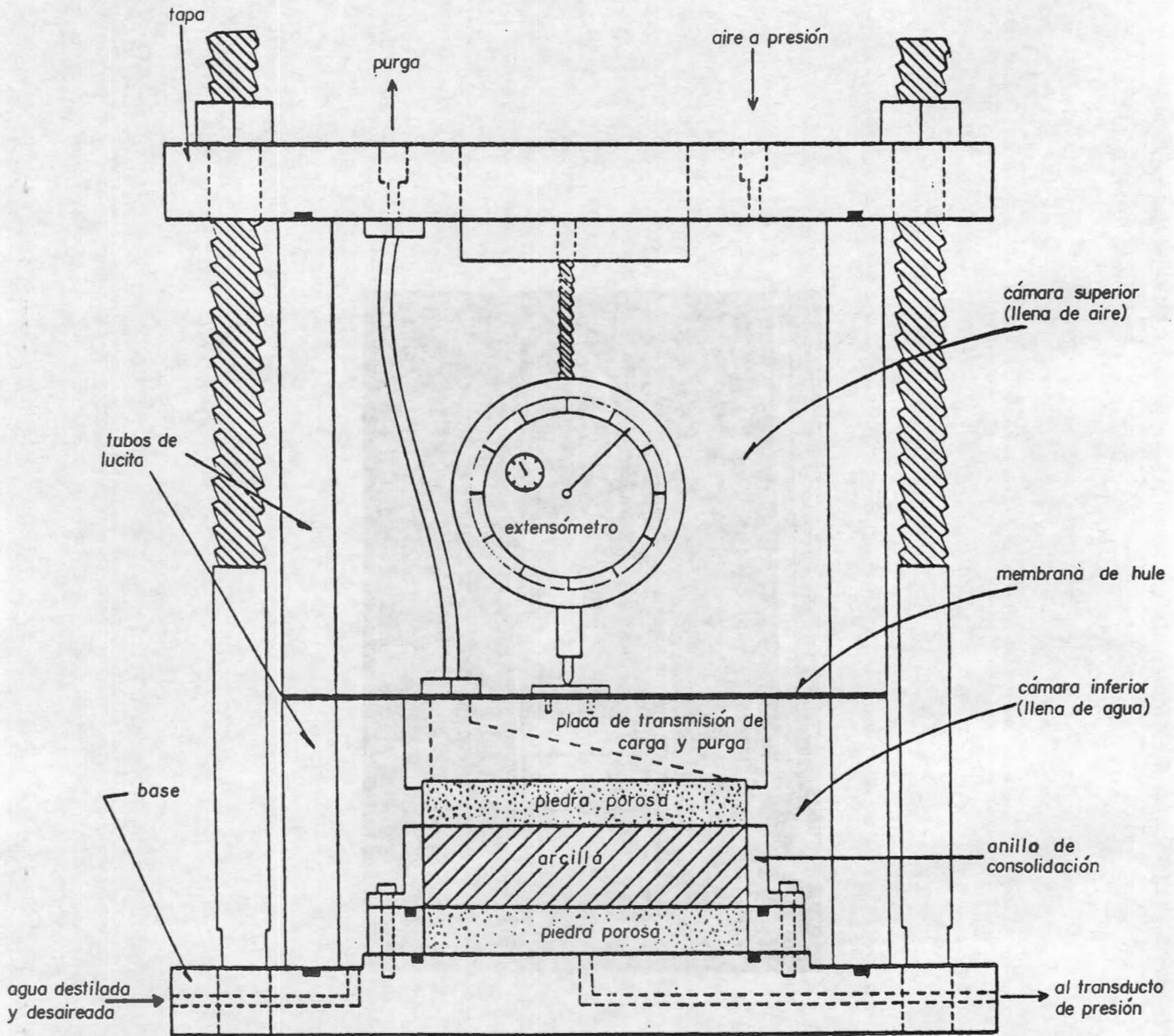


Fig. 2 Consolidómetro con medición de presión de poro. Diagrama esquemático.

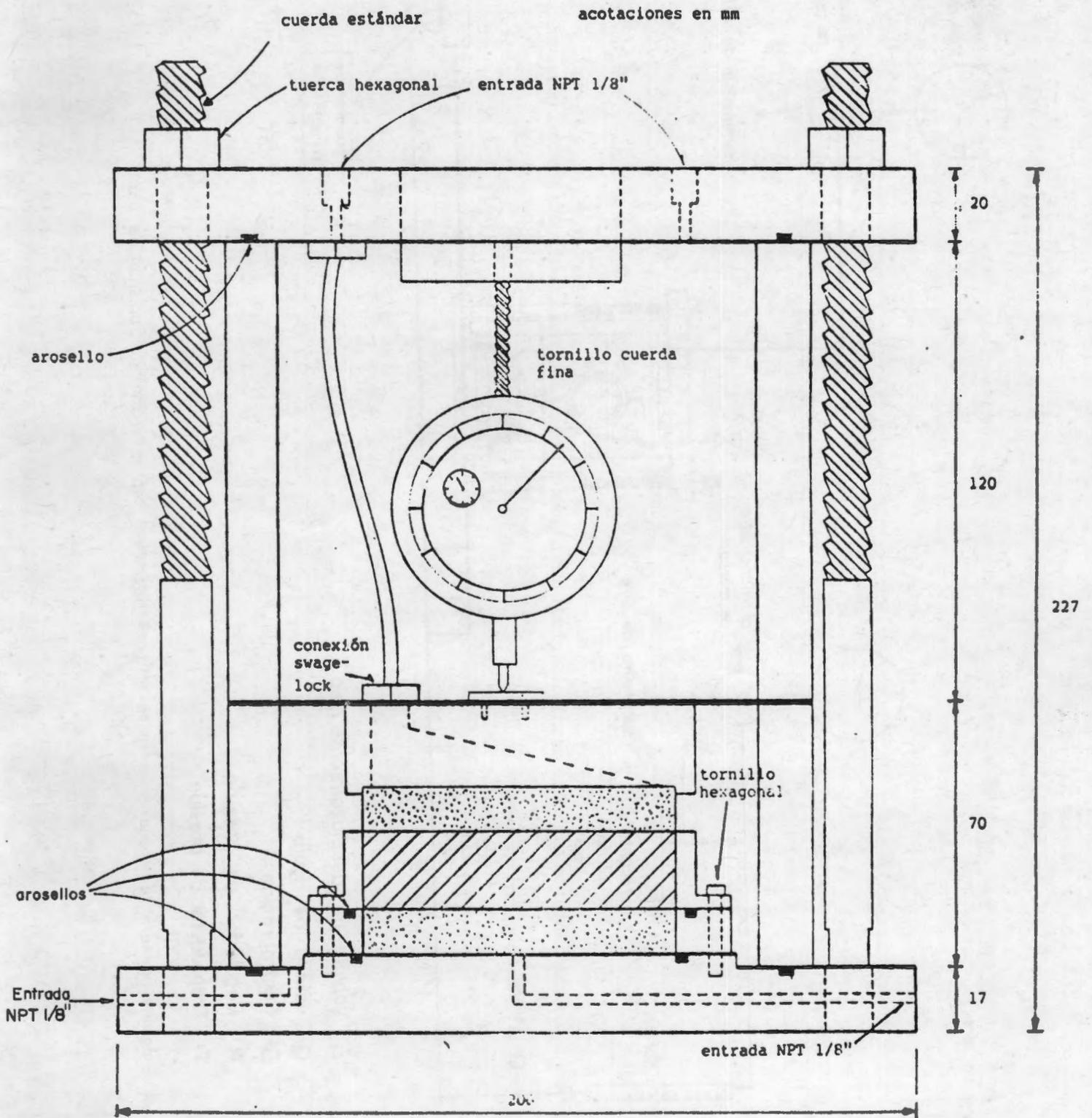


Fig. 3 Dimensiones generales del consolidómetro con dimensión de presión de poro.

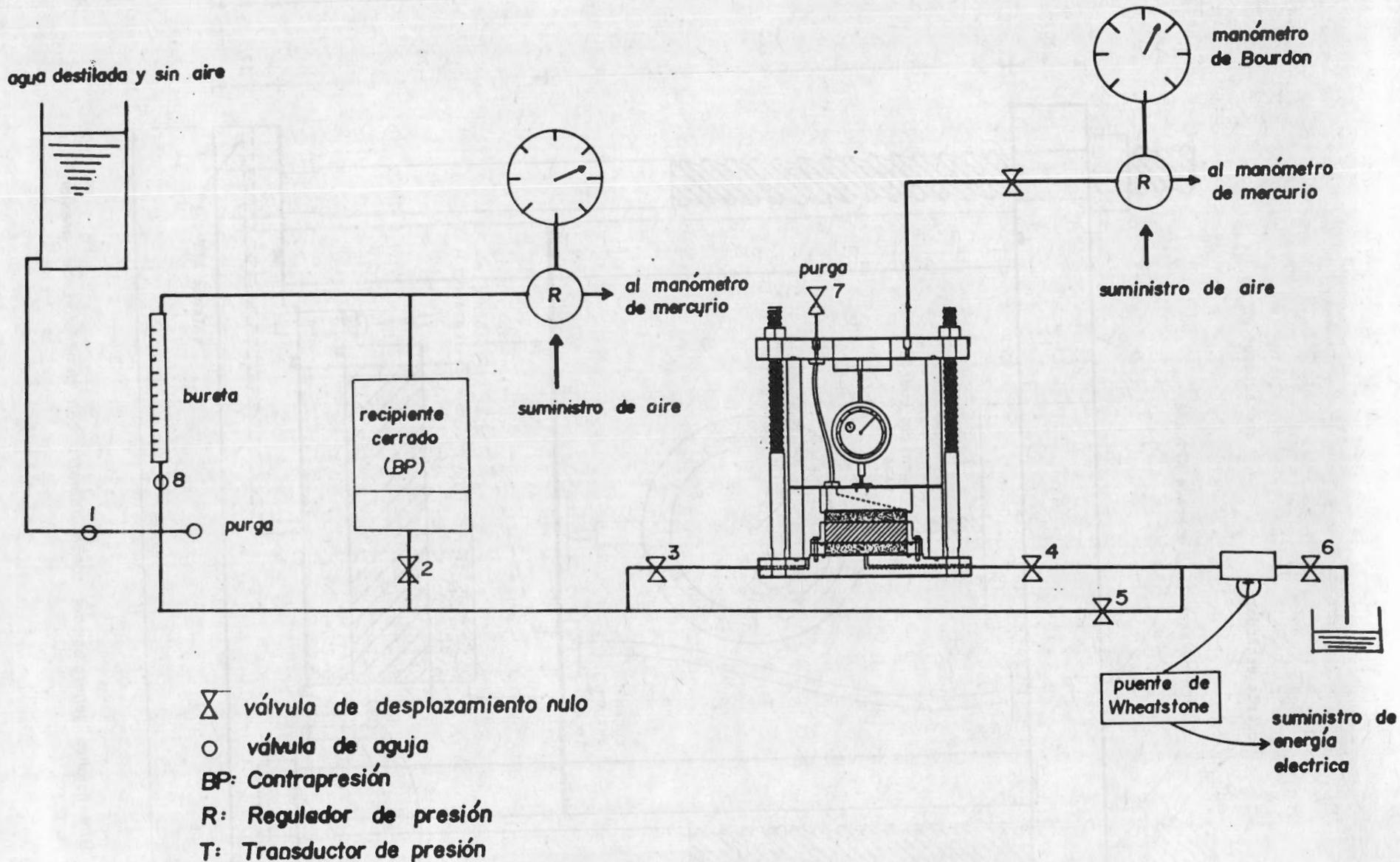
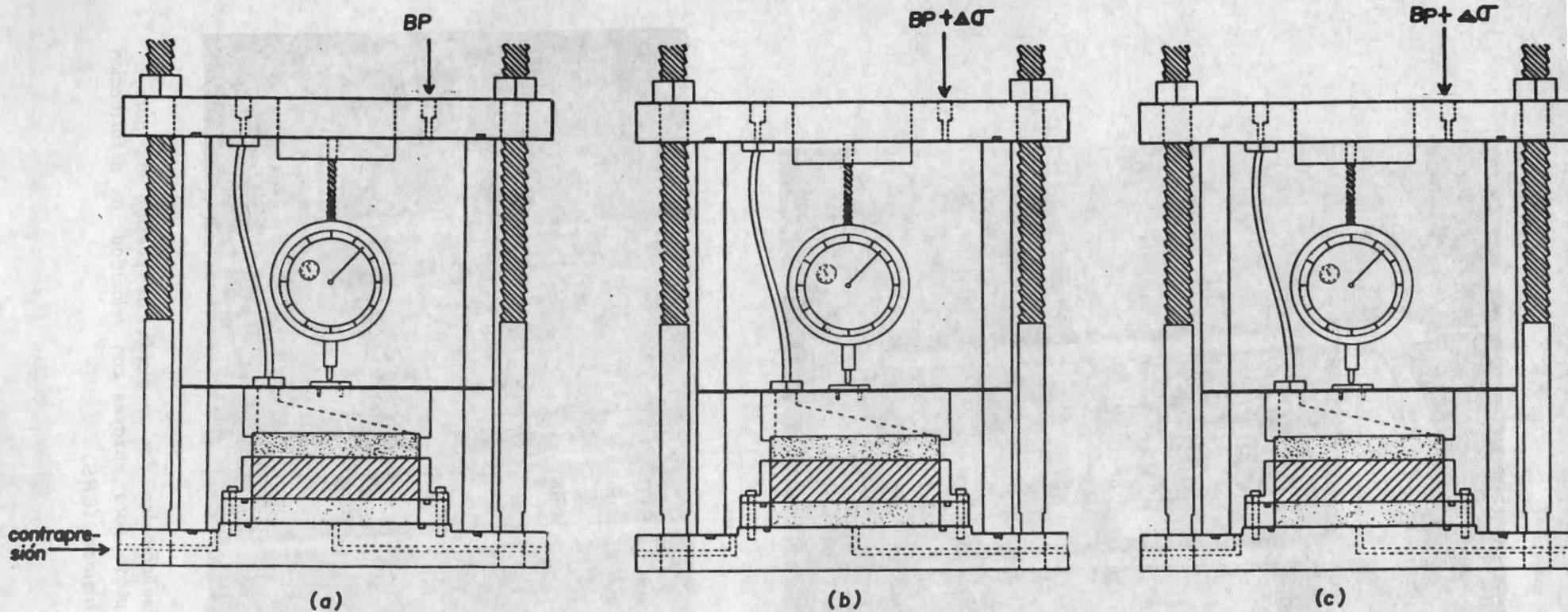


Fig. 4 Diagrama general de conexiones para el consolidómetro con medición de presión de poro.



✕ válvula cerrada

⊗ válvula abierta

a) Inundación y saturación por contrapresión (BP)

b) Aplicación de incremento de carga, sin permitir el drenaje.

c) Consolidación

BP Contrapresión

$\Delta\sigma$ Incremento de carga

Fig. 5. Esquema del funcionamiento general del consolidómetro con medición de presión de poro.

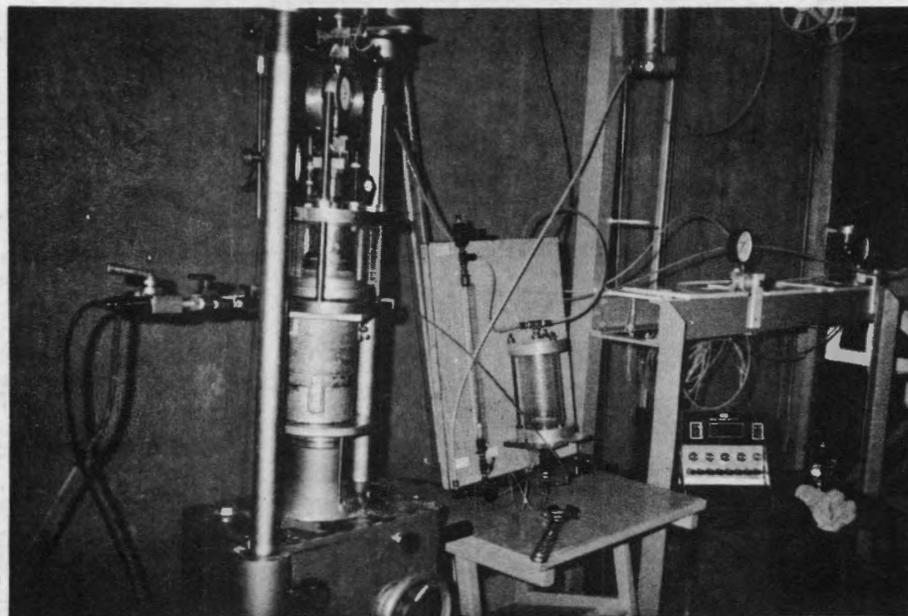
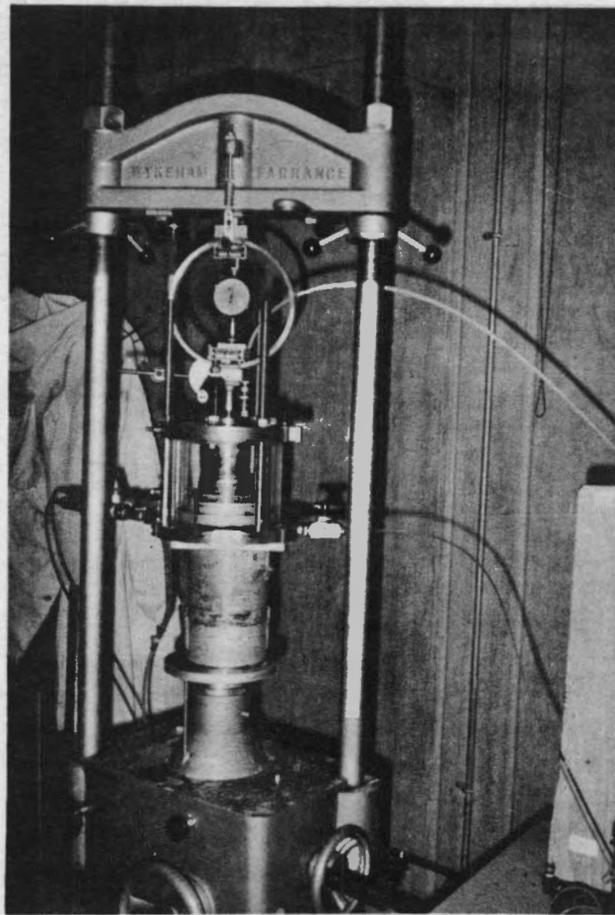


Fig. 6 Consolidómetro con medición de presión de poro, adaptado para ensayos con velocidad de deformación controlada (CRS).

CONS. CON MEDICION DE PRESION DE PORO
deformación del aparato

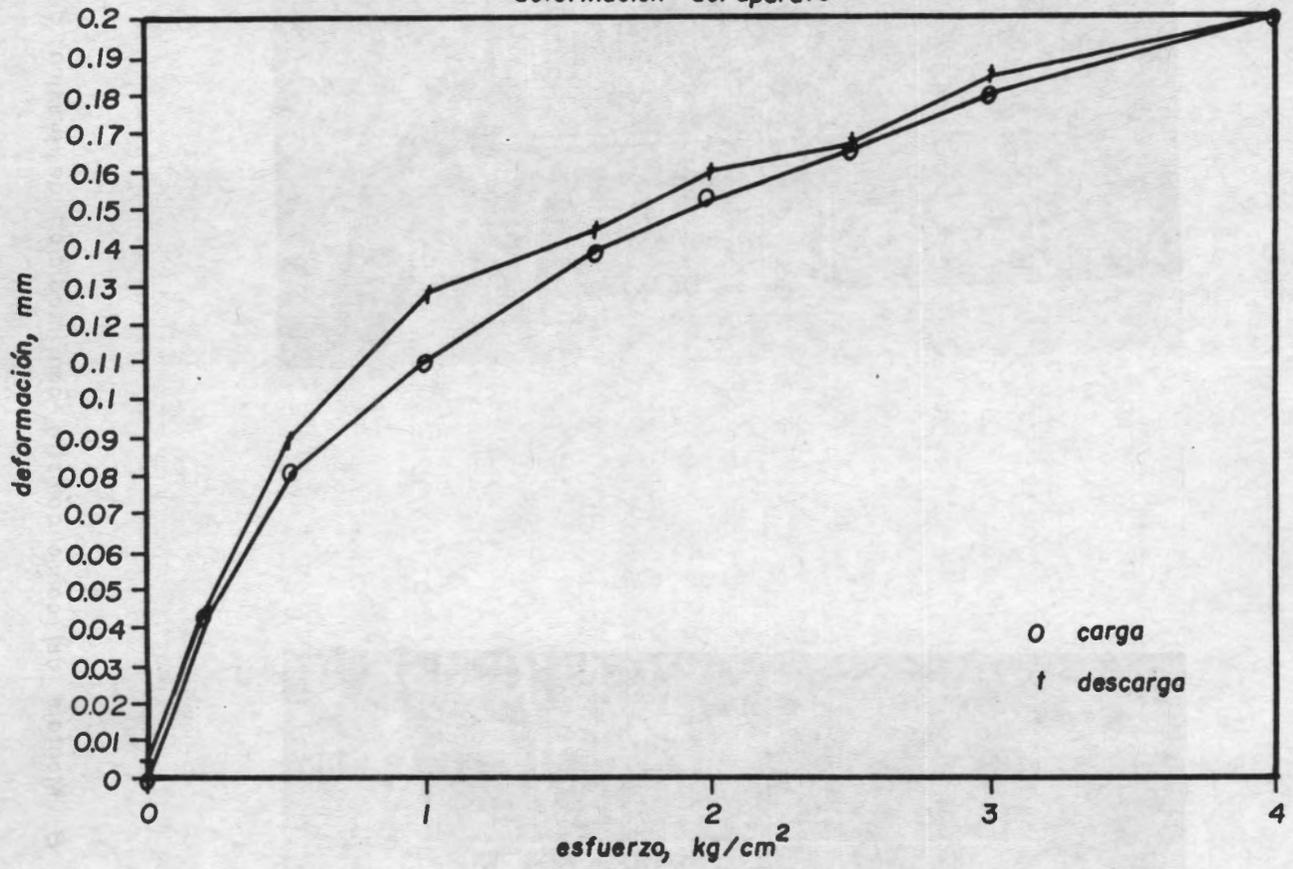


Fig. 7 Calibración por compresibilidad del aparato

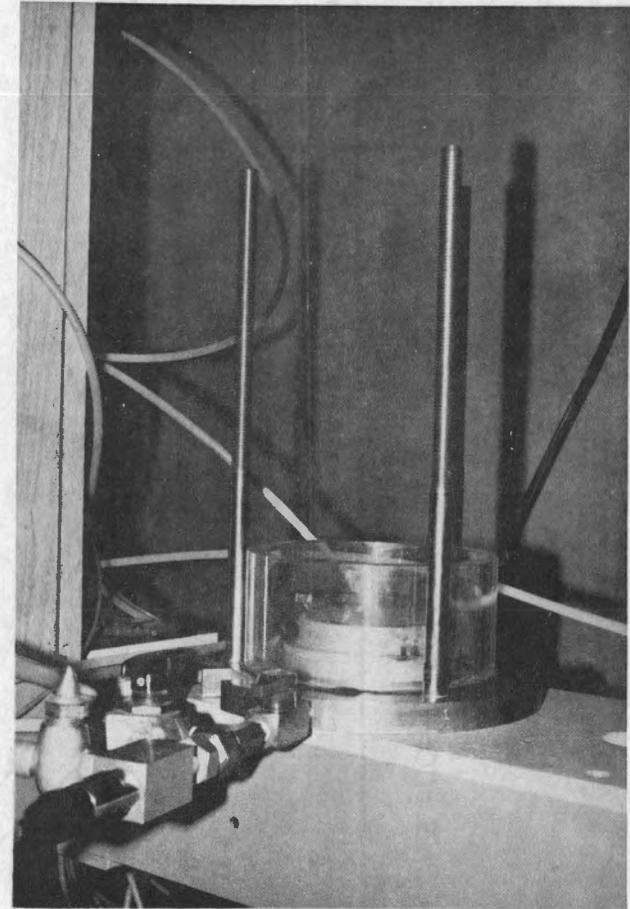
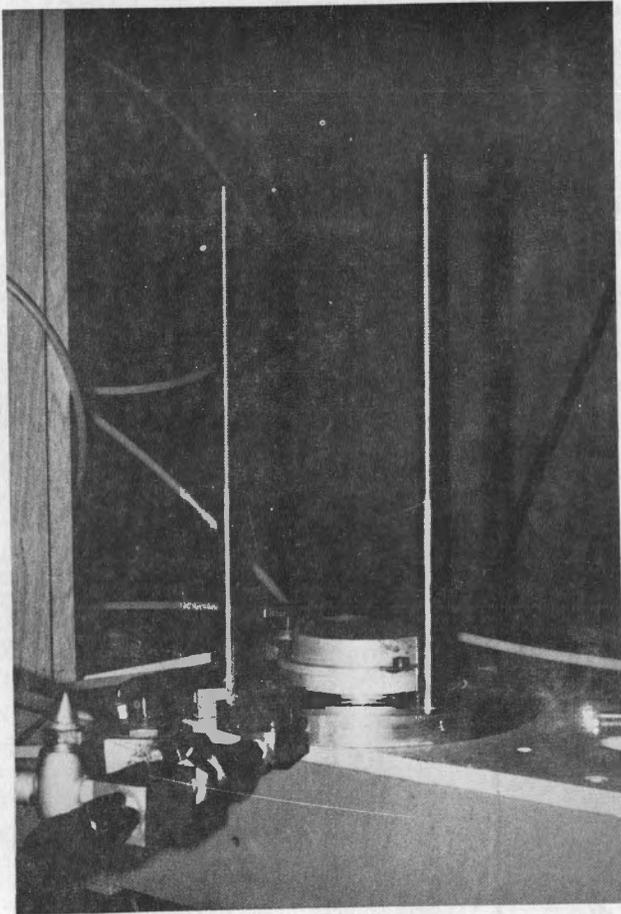


Fig. 8 Montaje del consolidómetro con medición de presión de poro.

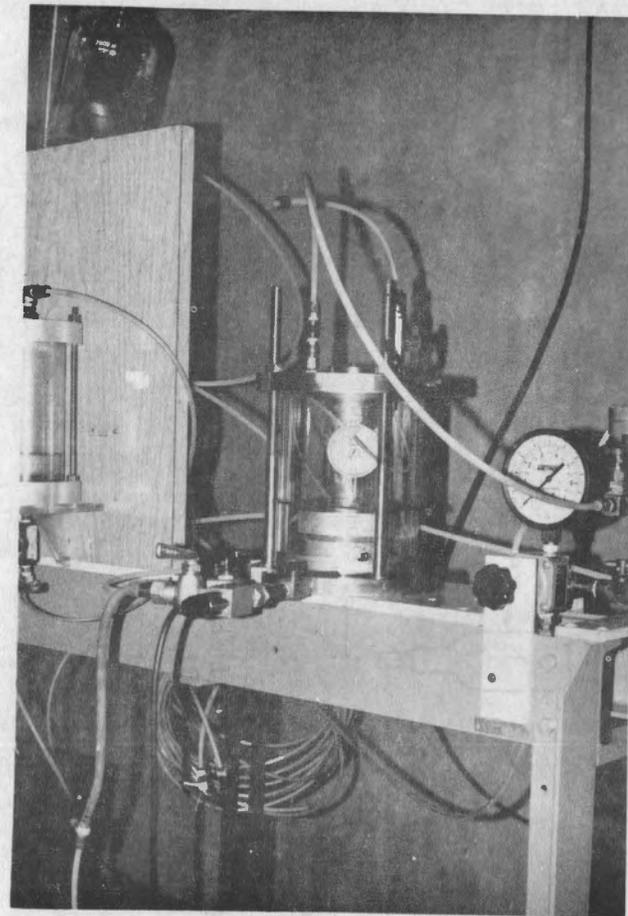
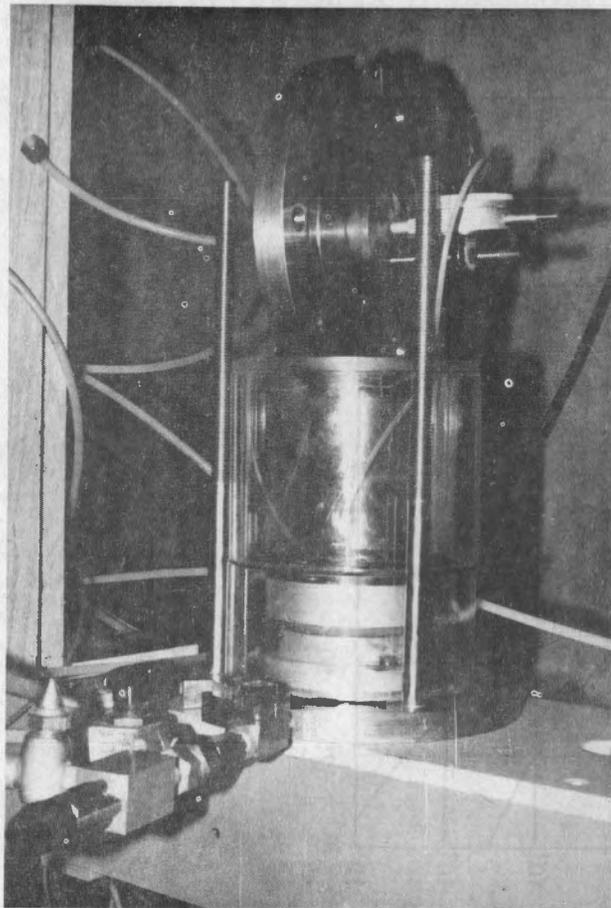


Fig. 9 Montaje del consolidómetro con medición de presión de poro



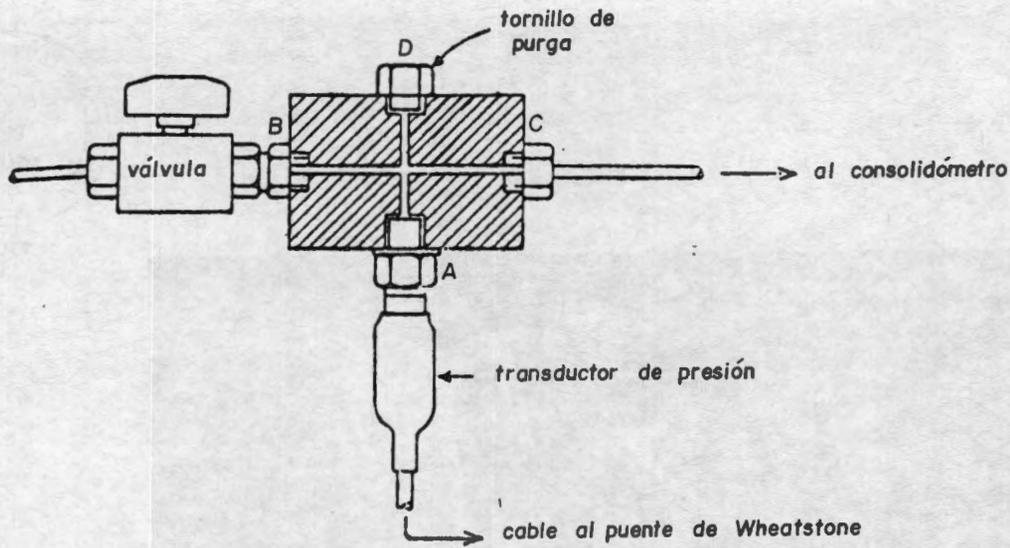


Fig. 10 Válvula de block para el transductor de presión. (Head, 1986)

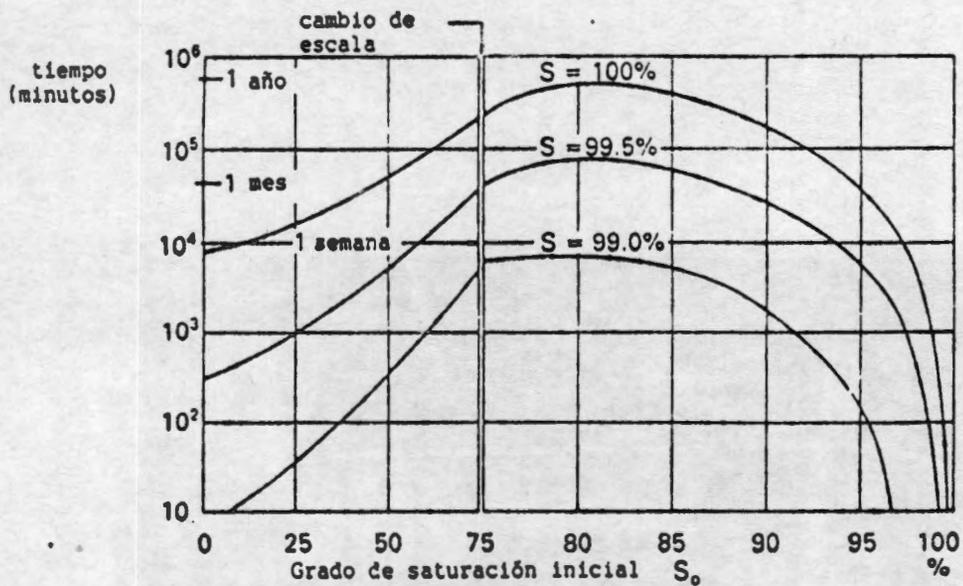


Fig. 11 Tiempo requerido para la saturación, bajo la contra- presión adecuada, relacionada con el grado de saturación inicial (Black y Lee, 1983)

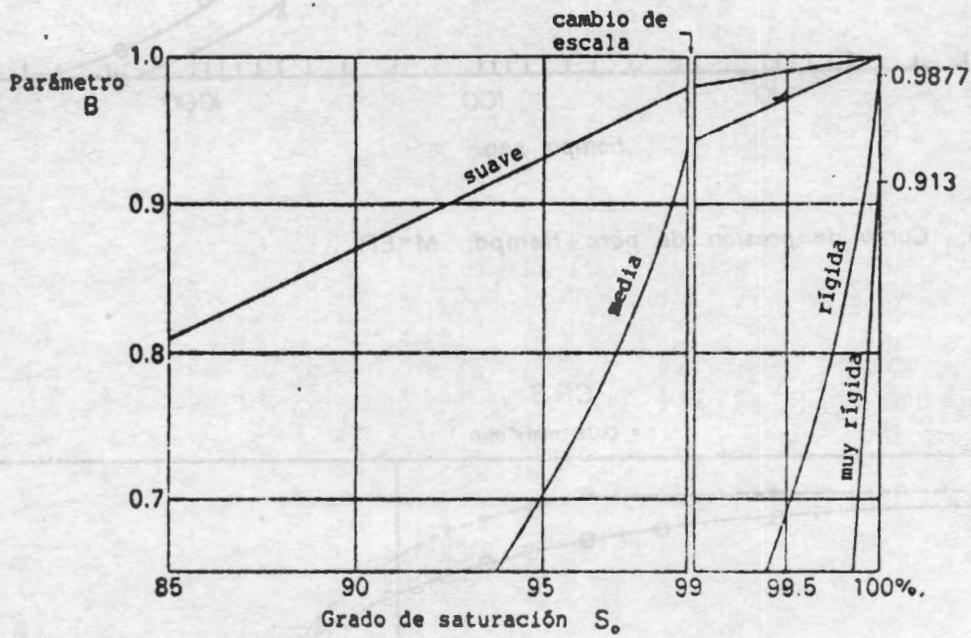


Fig. 12 Valores típicos del coeficiente de presión de poro B de Skempton, relacionados con el grado de saturación y la rigidez del suelo (Black y Lee, 1973).

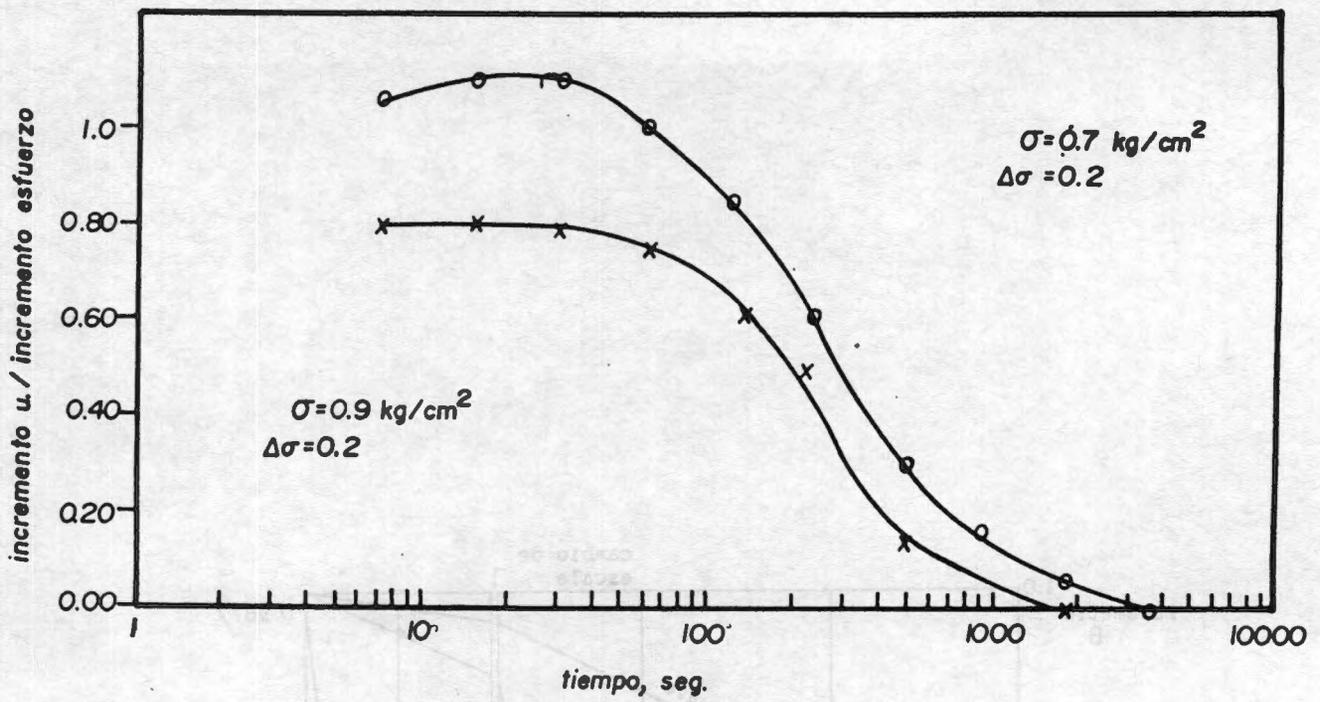


Fig. 13 Curva de presión de poro-tiempo. M-EP.

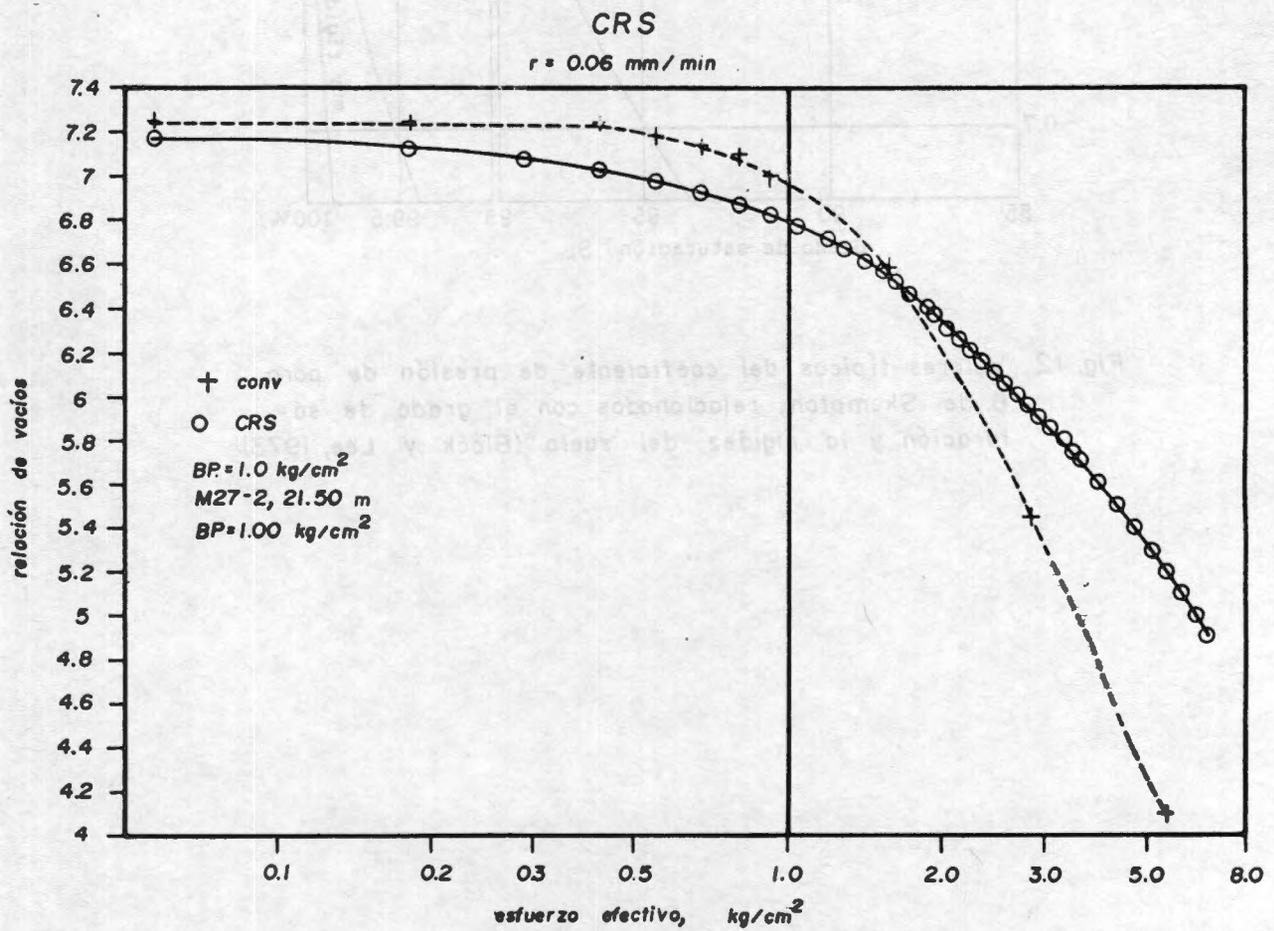


Fig. 14 Curva de compresibilidad STD y CRS. M27-2

Esta obra se terminó de imprimir en Febrero de 1991.
en los Talleres de Impresores Profesionales, A. en P.
Lorenzo Boturini # 530, Col. El Parque, México, D.F. Tel. 552-09-07
Bajo supervisión de la Lic. Elsa Martínez Bremont.
Tiraje de esta edición 1,000 ejemplares.

F/DEPFI/D-94/1991/EJ.5



707772

Este es un documento de archivo en formato de 1991
en los Estados Unidos de América y se encuentra en el
archivo de la Biblioteca de la Universidad de California
en San Diego, California, Estados Unidos de América.
Este documento es una copia de un documento original
de la Universidad de California, San Diego.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA