

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD USANDO EL PERMEAMETRO DE PARED FLEXIBLE (ASTM D5084-90)

Yngrid Alarcón Bárcena
David Vásquez López
Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

Se describe brevemente la norma de ensayo ASTM D5084 para realizar ensayos de permeabilidad en laboratorio mediante un permeámetro de pared flexible. También se presenta el equipo disponible en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería y los resultados obtenidos para diferentes muestras de suelos impermeables ensayados a nivel nacional con la metodología indicada.

La principal ventaja del permeámetro de pared flexible, es que permite saturar los suelos finos y realizar el ensayo de conductividad hidráulica a un nivel controlado de esfuerzos efectivos. El equipo es capaz de aplicar contrapresión y por lo tanto disminuir el tiempo para alcanzar la saturación de los suelos finos, tanto inalterados como compactados. El equipo permite realizar hasta tres ensayos de permeabilidad en simultáneo.

Se presentan resultados de ensayos de permeabilidad en muestras de los diques de las lagunas de oxidación de Trujillo y del núcleo de la Presa Pomacocha del proyecto Marca II, que fueron realizados en el Laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI para los consultores de los proyectos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales inconvenientes que se tiene al realizar ensayos de permeabilidad en suelos finos (arcillosos) usando el permeámetro de pared rígida es que no se sabe con certeza si el espécimen está completamente saturado, otro inconveniente es el tiempo que tarda el fluido en atravesar el espécimen (en muestras compactadas a la densidad del ensayo Proctor Modificado se tarda aproximadamente dos semanas). Es

por las razones indicadas que el Laboratorio Geotécnico del CISMID se vio en la necesidad de adquirir el equipo de Permeabilidad de Pared Flexible

ALCANCES

Este método de ensayo cubre las mediciones de laboratorio de la conductividad hidráulica (también referida como coeficiente de permeabilidad) de materiales porosos saturados en agua con un permeámetro de pared flexible. Este método de ensayo puede utilizarse con muestras inalteradas o remoldeadas (compactadas), que tienen una conductividad hidráulica menor o igual que 1×10^{-5} m/s (1×10^{-3} cm/s). La conductividad hidráulica de materiales con conductividad mayor que 1×10^{-5} m/s puede ser determinada por el método de ensayo ASTM D2434, que utiliza el permeámetro de pared rígida.

DEFINICIONES

Conductividad Hidráulica (k).- Es la velocidad de descarga de agua bajo condiciones de flujo laminar a través de una sección transversal unitaria de un medio poroso y bajo condiciones de temperatura estándar (20°C).

$$v = k \cdot i \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

v = velocidad de flujo.

k = constante de flujo o coeficiente de permeabilidad.

i = gradiente hidráulico = $\Delta H / \Delta L$ (Fig.1)

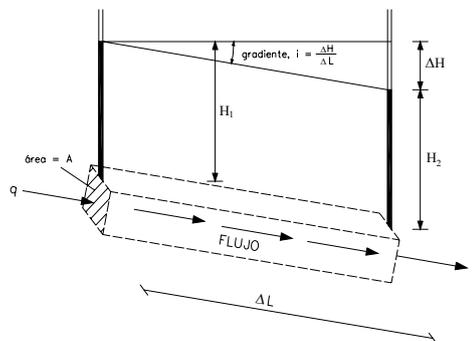


Figura (1): Flujo unidimensional en el suelo

ΔH = diferencia de cargas de presión en un trayecto de flujo de longitud ΔL

Por tanto, la cantidad de flujo está dada por:

$$q = A v = A k i \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

q = cantidad de flujo por unidad de tiempo.

A = área a través de la cual se verifica el flujo.

Coefficiente de Permeabilidad (k).- La capacidad de un suelo para permitir que lo atraviese el agua recibe el nombre de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad (k) puede definirse como la velocidad de flujo producida por un gradiente hidráulico unitario (ver ecuación 1). El valor de k se usa como una medida de la resistencia al flujo ofrecida por el suelo, y son varios los factores que intervienen, como los siguientes:

- a) La densidad del suelo.
- b) La distribución de tamaños de partículas del suelo.
- c) La viscosidad del agua en el suelo, que varía con la temperatura.
- d) El grado de saturación y presencia de burbujas de aire atrapadas en el suelo.

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE

Se describe a continuación el proceso de preparación del espécimen, el proceso de confinamiento, saturación y la medición del ensayo.

Preparación de la muestra.- La preparación de la muestra difiere según sea ésta: inalterada o remoldeada (compactada). Se resumen a continuación la preparación.

A) Muestras Inalteradas.- Las muestras inalteradas son aquellas que se obtienen al cortar el suelo de forma que sean representativas de las condiciones in-situ (se talla de una calicata o trinchera un cubo de 25 cm de lado), se separa y empaqueta con la menor alteración posible para que no varíe sus condiciones naturales (iniciales) de humedad y densidad, luego en el laboratorio se talla un cilindro de 7.0 cm de diámetro y 14.0 de altura, se determina la densidad y clasificación (SUCS) de dicha muestra. En este tipo de muestras es importante tener en cuenta la dirección en que se efectúa el flujo en el terreno.

Las muestras obtenidas de perforación mediante muestreo con tubos shelbys, pueden ser ensayadas sin tallarse, pero cuando la operación de muestreo ha causado perturbaciones en el suelo, entonces el material disturbado deberá ser remoldeado. Las condiciones naturales de densidad y contenido de humedad de la muestra deben determinarse en campo.

B) Muestras Remoldeadas.- Las muestras remoldeadas (compactadas) en el laboratorio deberán seguir los siguientes pasos:

- Se debe tener datos de densidad seca y contenido de humedad, determinados en campo ó mediante un ensayo de compactación (Proctor) en el laboratorio.
- Usar muestra secada al horno y con tamaño máximo de partícula menor a 3/8" (tamizar la muestra por la malla N° 3/8").
- Calcular el peso de la muestra (gr), teniendo como dato la M.D.S. (máxima densidad seca) del Ensayo de Compactación y el volumen del molde ($\phi = 7.0$ cm y $h = 14.0$ cm).
- Calcular la cantidad de agua (gr), teniendo como dato el O.C.H. (óptimo contenido de humedad) del Ensayo de Compactación.
- Luego mezclar la muestra con el agua de manera que se forme una masa uniforme.
- El remoldeado del espécimen se hará en cinco capas y cada capa se compactará hasta llegar a la altura determinada ($h/5$)
- Luego de tomar los datos de las dimensiones del material, la muestra estará lista para ser colocada en el permeámetro de pared flexible.

Presión de Confinamiento y Saturación de la Muestra.- Se usa agua desairada y se aplica presión de confinamiento y contrapresión al espécimen del mismo modo que el Ensayo de Compresión Triaxial. Luego que el espécimen está colocado en la celda, se aplica la presión de confinamiento (menor a 5 psi) para llenar la celda, a continuación, por la línea de drenaje inferior se aplica una pequeña contrapresión (2 psi) de agua, con el objeto de ir saturando el espécimen por percolación; mientras menor sea esta

contrapresión mayor será la cantidad de aire desplazado de los vacíos del suelo, la diferencia entre la presión de confinamiento y la contrapresión debe ser menor a 3 psi. La saturación podrá verificarse midiendo el parámetro B de Skempton para lo cual se cierra las líneas de drenaje inferior y superior, se aumenta paralelamente la contrapresión y la presión de confinamiento en 5 psi, como las líneas de drenaje están cerradas, el aumento de contrapresión no afectará al espécimen, solo producirá el aumento de la presión de celda, el cual como respuesta se producirá un incremento de la presión de poros al interior del espécimen (Δu).

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_c} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

Δu = aumento de la presión de poros

$\Delta \sigma_c$ = aumento de la presión de confinamiento

La muestra de ensayo se considera saturada si el valor del parámetro B es mayor o igual que 0.95. La determinación del valor preciso de B sólo puede hacerse si ninguna gradiente actúa sobre la muestra y toda presión de poro inducida por la consolidación se ha disipado.

Se debe saturar la muestra para eliminar las burbujas de aire y gases disueltos presentes en el espécimen, pues afectan grandemente los resultados de la permeabilidad.

Medición de la Conductividad Hidráulica (k).- Después de saturar la muestra y teniendo en cuenta que el gradiente hidráulico sea aplicado según el tipo de suelo (Tabla I), se podrá determinar la permeabilidad midiendo la cantidad de permeante que pasa por la muestra en relación con el tiempo.

Tabla I

Conductividad Hidráulica (cm/s)	Gradiente Hidráulica Máxima Recomendada
1×10^{-3} a 1×10^{-4}	2
1×10^{-4} a 1×10^{-5}	5
1×10^{-5} a 1×10^{-6}	10
1×10^{-6} a 1×10^{-7}	20

CONCLUSIONES

1. En este método de ensayo se aplica un flujo de agua laminar y unidimensional dentro de materiales porosos.
2. Este método de ensayo proporciona un medio para determinar la conductividad hidráulica a un nivel controlado de esfuerzos efectivos.
3. El equipo está diseñado para facilitar la rápida y completa remoción de las burbujas de aire libre en las líneas de flujo y del espécimen.
4. El equipo tiene la capacidad de aplicar contrapresión a la muestra para facilitar la saturación del espécimen.
5. Se usa agua desairada para minimizar el potencial de difusión de aire a través de la membrana dentro de la muestra.
6. La saturación será verificada hallando el parámetro B (mayor o igual 0.95).
7. Se deberá aplicar un gradiente hidráulico según el tipo de la muestra ensayada.
8. Las presiones de filtración asociadas a grandes gradientes hidráulicas, pueden consolidar muestras blandas y compresibles y reducir su conductividad hidráulica.
9. Los valores de permeabilidad obtenidos en el laboratorio mediante el uso del permeámetro de pared flexible son confiables, pues se tiene la certeza de que el espécimen ha sido saturado completamente.
10. El equipo logra acelerar el tiempo de ensayos para muestras de suelo finos impermeables.

REFERENCIAS

1. "Factores de Forma en Piezómetros" Alva Hurtado Jorge E. – Canchán Félix. VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil -Cajamarca -Perú, 1986.
2. "Un Aparato para Realizar Ensayos de Permeabilidad y de Fractura Hidráulica en el campo" Alva Hurtado J.E. IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil - Chiclayo – Perú, 1982.
3. "Mecánica de Suelos" Lambe T. W – Whitman R. V, Limusa, 1972.
4. "Impermeabilización de Lagunas Artificiales" Auvinet G – Esquivel R. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Limusa, 1986.
5. "Advanced Soil Mechanics" Das, B.M, Mc Graw Hill, 1985.

