

Febrero 1999

TÍTULO

Determinación de la permeabilidad de una muestra de suelo
Método de carga constante

Determination of soils permeability by the constant-head method.

Determination de la perméabilité des sols. Méthode de charge constante.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotécnia* cuya Secretaría desempeña Ministerio de Fomento.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 6192:1999

©AENOR 1999
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

15 Páginas

Grupo 8

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto la determinación del coeficiente de permeabilidad de una muestra de suelo granular expresado en unidades de velocidad, usando un permeámetro de carga constante, en el cual el flujo vertical de agua a través de una probeta (obtenida a partir de la muestra de suelo) es laminar.

Este procedimiento es apropiado para suelos que tienen un coeficiente de permeabilidad comprendido entre 10^{-2} m/s y 10^{-5} m/s, y que no contengan más de un 10% de material que pase por el tamiz de abertura 80 μ m según la Norma UNE 7050-2.

2 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 103 100 – *Preparación de muestras para los ensayos de suelos.*

UNE 103 101 – *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

UNE 103 300 – *Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.*

UNE 103 302 – *Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo.*

UNE 7050-2 – *Tamices y tamizado de ensayo. Telas metálicas, chapas perforadas y láminas electroformadas. Medidas nominales de las aberturas.*

3 APARATO Y MATERIAL NECESARIO

Se precisan los siguientes:

3.1 Permeámetro

El permeámetro se compone de:

3.1.1 Una célula de permeabilidad de forma cilíndrica, metálica o preferentemente de material plástico transparente, con dos tapas estancas de metal resistente a la corrosión. El diámetro interior del cuerpo de la célula debe ser al menos 12 veces el tamaño máximo de partícula del suelo a ensayar. Las células más usuales son de 75 mm y 100 mm de diámetro, aunque se pueden usar células de mayor tamaño. (Véase la figura 1).

La célula debe incluir:

- Base y cabeza, que ajusten adecuadamente al cuerpo de la célula mediante tornillos para evitar la pérdida de agua.
- Un pistón que atravesase el centro de la cabeza de la célula, y que se pueda bloquear en cualquier posición vertical mediante un tornillo de ajuste. En su extremo inferior debe llevar una placa perforada unida al pistón. El diámetro y número de perforaciones de la placa perforada serán las apropiadas para no se restrinja el flujo de agua y que pudiera afectar al resultado del ensayo.
- Una placa perforada similar a la anterior, situada en la base de la célula.
- Dos orificios, uno en la cabeza y otro en la base, con sus llaves de apertura y cierre correspondientes.
- Un cuerpo cilíndrico metálico resistente a la corrosión, o de material plástico transparente, con tres aberturas equipadas con los cuellos de conexión a los tubos piezométricos y uniformemente distribuidas a lo largo de su generatriz. La distancia de los cuellos de conexión superior e inferior a las respectivas placas perforadas no debe ser, en ningún caso, menor de 0,5 D, siendo D el diámetro interior de la célula de permeabilidad. Véase la figura 1.

- Dos discos de material poroso o de malla de alambre de un diámetro ligeramente inferior al diámetro interior del cuerpo de la célula. Su permeabilidad debe ser mayor que la del suelo a ensayar, pero sus aberturas serán lo bastante pequeñas para evitar el paso de partículas.

3.1.2 Un depósito de agua desaireada, de altura regulable y capaz de mantener un suministro de agua con nivel constante respecto a la célula de permeabilidad. Debe llevar un orificio en la tapa superior y tres conexiones en la inferior. Una para desagüe que sirve para mantener y fijar el nivel, otra para la entrada de agua desaireada y una tercera de alimentación a la célula.

3.1.3 Suministro de agua desaireada y limpia al depósito de nivel constante.

3.1.4 Un tablero con tres tubos piezométricos y sus correspondientes escalas graduadas. Los tubos deben ser de vidrio o plástico transparente y tener el mismo diámetro interior. Deben estar montados de manera que su parte más baja se encuentre al nivel de la base del permeámetro y su parte más alta al nivel del depósito de agua de nivel constante, en su posición más alta posible.

El tablero debe incluir los elementos necesarios para la sujeción del depósito de agua desaireada así como un dispositivo para la regulación continua de su altura.

3.1.5 Tuberías flexibles de plástico con sus correspondientes llaves, para conectar el extremo inferior de los tubos piezométricos a las salidas correspondientes situadas en el lateral del cuerpo de la célula de permeabilidad.

3.1.6 Un recipiente de descarga con nivel constante.

3.1.7 Material de filtro de una granulometría apropiada, que se coloca entre las placas perforadas y los discos porosos o de malla de alambre.

NOTA – La granulometría del material de filtro depende de la muestra a ensayar. El material de filtro tendrá una curva granulométrica entre cuatro veces el D_{15} y cuatro veces el D_{85} de la granulometría de la muestra. Además, debe estar bien graduado¹⁾.

3.1.8 Probetas graduadas de 100 ml, 500 ml y 1 000 ml de capacidad.

3.2 Material vario

- Un embudo para introducir la muestra en la célula.
- Un cogedor para verter la muestra de suelo en el embudo.
- Una cuchara de suficiente longitud para homogeneizar la muestra en la célula
- Un termómetro de precisión 0,5 °C.
- Un cronómetro de precisión 1 s.
- Una balanza de precisión 1 g.
- Un pie de rey o calibre de precisión 0,1 mm.
- Una varilla con un ensanchamiento en su extremo, de dimensiones compatibles con la de la célula empleada y de longitud suficiente para alcanzar su fondo, con objeto de poder compactar ligeramente la muestra.
- Una varilla con un tapón en su extremo, que ajuste en la boca de salida del embudo de llenado. Véase la figura 4.

1) Previamente se debe realizar con el suelo a ensayar, el análisis granulométrico por tamizado según la Norma UNE 103101.

4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de suelo recibida en el laboratorio se toma una parte representativa en cantidad suficiente y se seca al aire (para la célula de 75 mm de diámetro unos 3,5 kg y para la de 100 mm de diámetro unos 8 kg, véase Norma UNE 103100). El diámetro máximo de las partículas debe ser $D/12$, siendo D el diámetro interno de la célula de permeabilidad.

Una vez seca, se toman dos porciones para determinar la humedad y la densidad relativa de las partículas, mediante las Normas UNE 103300 y UNE 103302, respectivamente. Del material restante se determina su masa, m_a , expresada en g con una exactitud de 1 g.

Se mide el diámetro interior de la célula de permeabilidad a varias alturas y se calcula el diámetro medio D , expresado en mm, con una exactitud de 0,5 mm.

Se miden las distancias L_1 y L_2 , entre las salidas de los tubos piezométricos a lo largo de la generatriz común, con una exactitud de 0,5 mm. (Véase la figura 1)¹⁾.

Se monta la célula de permeabilidad con la base, la placa perforada y el cuerpo cilíndrico.

Se vierte el material de filtro sobre la placa perforada, se nivela la superficie de dicho material y se coloca un disco poroso o de malla de alambre.²⁾

Para la compactación y colocación de la muestra en la célula se debe seguir uno de los tres procedimientos indicados a continuación³⁾:

- a) Por compactación ligera a una humedad determinada

NOTA – Las características de este tipo de células no permiten la compactación a cualquier densidad.

Se añade a la muestra el volumen de agua necesario para conseguir la humedad deseada, calculándole mediante la expresión:

$$\text{Volumen de agua a añadir} = \frac{(w_1 - w)}{100 + w} m_a \text{ (ml)}$$

donde

w_1 es el contenido de humedad buscado, en %;

w es el contenido de humedad de la muestra secada al aire, en %;

m_a es la masa de muestra secada al aire, en g.

Se mezclan íntimamente. Si se prevén pérdidas por evaporación se pueden añadir, además, unos 10 ml de agua por kg de suelo para compensar las posibles pérdidas.

1) Estas medidas basta con realizarlas una sola vez, ya que no varían significativamente con el uso.

2) A título orientativo, en el caso de células de 75 mm de diámetro, la altura del material de filtro debe ser de unos 40 mm.

3) Si se desea realizar varios ensayos de permeabilidad con densidades diferentes para conseguir una relación entre la permeabilidad y el índice de huecos, se debe preparar a la vez la cantidad de muestra necesaria para la ejecución de todos los ensayos.

Se compacta la muestra en la célula mediante seis capas, aproximadamente del mismo espesor. Se coloca la primera capa sobre el disco poroso y se aplican unos golpes mediante la varilla con ensanchamiento, mencionada en el apartado 3.2, distribuidos uniformemente sobre la superficie y se procede a situar la siguiente capa. La cara superior de la última capa debe quedar a una altura que permita la colocación de la placa superior y del material de filtro.

Se determina la masa del material sobrante, m_2 , con una exactitud de 1 g, con la humedad deseada, w_1 , secando a continuación dicho material sobrante, en estufa hasta masa constante y se determina su masa, m_3 , con una exactitud de 1 g.

Se coloca el disco poroso o de malla de alambre sobre la muestra preparada y se vierte el material de filtro graduado sobre el disco poroso, alcanzando un espesor aproximado de 40 mm.

Se fija la base superior de la célula de permeabilidad al cuerpo del permeámetro y se baja cuidadosamente el pistón apoyando la placa perforada sobre el material de filtro y se fija el pistón con el tornillo de ajuste.¹⁾

b) Vertido en seco de la muestra

Una vez preparada la base, el plato, el material de filtro y el disco poroso, se vierte la muestra de suelo seco al aire en la célula de permeabilidad con ayuda de un embudo con un tubo flexible como se indica en la figura 3. Se mantiene una pequeña distancia entre el extremo del tubo flexible y la superficie de la muestra al mismo tiempo que se aplica un movimiento de giro en espiral.

Una vez terminado el llenado de la célula, se nivela la superficie de la muestra y se procede al montaje de la célula de permeabilidad como se indicó en el apartado a).

Se seca en estufa el material sobrante hasta masa constante y se determina su masa, m_3 , con una exactitud de 1 g.

c) Vertido de la muestra saturada

Se monta la base, el plato, el material de filtro y el disco poroso. Se coloca el conjunto sobre una bandeja y se conecta el suministro de agua desaireada a la base de la célula de permeabilidad (véase la figura 4).

Se abre la llave y se deja que el agua desaireada entre en la célula hasta una altura de unos 20 mm sobre el disco poroso.

Se vierte un poco de agua desaireada en el embudo con el tapón cerrado, y algo de muestra. El embudo se debe sostener de manera que el extremo del tubo flexible se mantenga unos 15 mm sobre la superficie del material ya colocado. Se abre el tapón y se deja caer la muestra saturada en el cuerpo de la célula.

Se añade más muestra y agua al embudo y se vacía sobre la célula hasta alcanzar la altura deseada, obteniéndose una muestra saturada de suelo con densidad uniforme. Si se desea mayor densidad, se debe apisonar o vibrar el material durante el llenado.

El material sobrante se seca en estufa hasta masa constante y se determina la masa, m_3 , con una exactitud de 1 g.

Finalmente se termina el montaje de la célula de permeabilidad como se indicó en el apartado a).

1) A título orientativo, en el caso de células de 75 mm de diámetro, la altura del material de filtro debe ser de unos 40 mm.

5 PREPARACIÓN Y MONTAJE DEL EQUIPO

Se conectan mediante la tubería flexible correspondiente los siguientes elementos:

- El depósito de nivel constante, que contiene agua desaireada con la entrada de la célula de permeabilidad.
- El recipiente de descarga con la llave de salida de la célula de permeabilidad.
- La célula de permeabilidad con los tubos piezométricos.

Se sitúa el depósito de nivel constante de agua desaireada a un nivel ligeramente superior al de la superficie de la arena (un gradiente hidráulico de 0,2 puede ser apropiado).

En la figura 2 se muestra el montaje del equipo.

6 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO CON FLUJO DESCENDENTE

Se abre ligeramente la llave D de suministro de agua desaireada al depósito de nivel constante (véase la figura 2), de manera que se ajuste el paso del agua al gasto del ensayo.

Se abren sucesivamente las llaves E, F y W, y se deja fluir el agua hasta que se elimine el aire ocluido a través del orificio de purga. Se cierra la llave W.

Se abren las llaves Y, a, b, c y se deja fluir el agua a través de la muestra hasta que se estabilicen los niveles en los tubos piezométricos. Si durante el proceso de saturación se produjera un descenso en el nivel de la muestra, se debe reajustar el pistón sobre ella.

Se mide la altura media, L , de la muestra en el permeámetro y se expresa en mm con una exactitud de 0,5 mm.

Se debe comprobar que el nivel de agua se mantiene constante, ajustando para ello el paso de agua mediante la llave D (véase la figura 2).

Se regula la altura del depósito de nivel constante a fin de establecer el gradiente hidráulico adecuado al tipo de suelo utilizado, se comprueba que se han estabilizado los niveles de agua en los tubos piezométricos y que el recipiente de descarga está lleno hasta el nivel constante, entonces comienzan las medidas del ensayo.

Se coloca una probeta graduada de capacidad suficiente, en la salida del recipiente de descarga y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro dando comienzo al ensayo, en donde se deben efectuar las siguientes medidas:

- a) La cantidad de agua, Q , en ml, recogida en la probeta durante un intervalo de tiempo dado, o el tiempo transcurrido hasta completar un volumen de agua determinado.
- b) Los niveles de agua en los tubos piezométricos, h_a , h_b y h_c en mm. Si los niveles no son equidistantes, esto indica la existencia de una heterogeneidad en la muestra, por lo que se debe desmontarla.
- c) La temperatura del agua en el recipiente de descarga, en °C.

Se repite varias veces el ensayo desde el punto 1 al 3, hasta que se obtengan lecturas semejantes.

Si se desean una serie de ensayos con gradientes hidráulicos diferentes, se debe repetir los pasos anteriores actuando sobre la válvula de entrada de agua o aumentando o disminuyendo la altura del depósito de nivel constante.

Igualmente, si se desea una relación entre el coeficiente de permeabilidad y el índice de huecos, se pueden hacer varios ensayos compactando la muestra con densidades distintas.

Todo lo dicho hasta aquí es el procedimiento del ensayo con flujo descendente. Si se desea hacer el ensayo con flujo ascendente, se deben cambiar las conexiones de entrada y salida de la célula de permeabilidad y repetir el proceso descrito con anterioridad.

7 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Véase los modelos de impreso de las figuras 7 y 8.

- Se calculan los caudales, q_i , en ml/s, durante cada período de observación, mediante la ecuación siguiente¹⁾:

$$q_i = \frac{Q_i}{t_i}$$

donde

Q_i son los volúmenes de agua, expresados en ml, recogidos en la probeta de salida en cada observación en un tiempo t_i , expresado en s.

Se determina el caudal medio, q , para una serie de ensayos con igual gradiente hidráulico, como la media aritmética de los valores calculados.

- Se calcula el gradiente hidráulico, i , entre los dos tubos piezométricos extremos a y c (figura 2), mediante la ecuación siguiente:

$$i = \frac{h}{Z}$$

donde

h es la diferencia de nivel de los dos tubos piezométricos extremos, expresada en mm;

$Z = L_1 + L_2$, es la distancia, expresada en mm, entre las dos salidas extremas sobre el cuerpo de la célula de permeabilidad (véase la figura 1).

- Se calcula el coeficiente de permeabilidad, k , en m/s, para una serie de ensayos mediante la ecuación siguiente:

$$k = \frac{q R_t}{i A}$$

donde

$q = Q/t$ es el caudal medio en ml/s;

R_t es el factor de corrección de la viscosidad del agua por la temperatura, obtenida de la figura 5;

i es el gradiente hidráulico;

A es el área media de la muestra, en mm², calculada con el diámetro medio D .

1) El flujo laminar se verifica cuando hay una relación lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico.

- Se calcula la masa de suelo seco utilizado, m , en gramos, para llenar la célula de permeabilidad, en función del procedimiento empleado:

- a) Por compactación a una humedad determinada:

$$m = m_d - m_3$$

donde

m_3 es la masa seca de material sobrante, en g;

m_d es la masa inicial de suelo seco utilizado, en g, calculada mediante:

$$m_d = \frac{m_a \cdot 100}{100 + w}$$

donde

m_a es la masa inicial de suelo con la humedad higroscópica, en g;

w es la humedad higroscópica, en %.

NOTA – Se puede comprobar la humedad real, w_2 , mediante la ecuación siguiente:

$$w_2(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \cdot 100$$

donde

m_2 es la masa de material sobrante con la humedad real, en g.

Esta humedad, w_2 , puede diferir de la humedad buscada, w_1 , ya que se puede producir alguna variación de humedad durante el amasado.

- b) Vertido en seco de la muestra

$$m = m_d - m_3$$

donde

m_d es la masa inicial del suelo seco utilizado, expresada en g, y calculada en el apartado a);

m_3 es la masa seca de material sobrante, expresada en g.

- c) Vertido de la muestra saturada

$$m = m_d - m_3$$

donde

m_d es la masa inicial del suelo seco utilizado, expresada en g, y calculada en el apartado a).

m_3 es la masa seca de material sobrante, expresada en g.

- Se calcula la densidad seca, ρ_d (en Mg/m^3), de la muestra en la célula de permeabilidad mediante la ecuación siguiente:

$$\rho_d = \frac{4\,000\,m}{\pi D^2 L}$$

- Se calcula el índice de huecos de la muestra en el ensayo, e , mediante la ecuación siguiente:

$$e = \frac{\rho_s \gamma_w}{\rho_d} - 1$$

donde

ρ_s es la densidad relativa de las partículas;

γ_w es la densidad del agua a 4 °C, expresada en Mg/m^3 .

8 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

La presente norma se relaciona esencialmente con la Norma BS 1377.

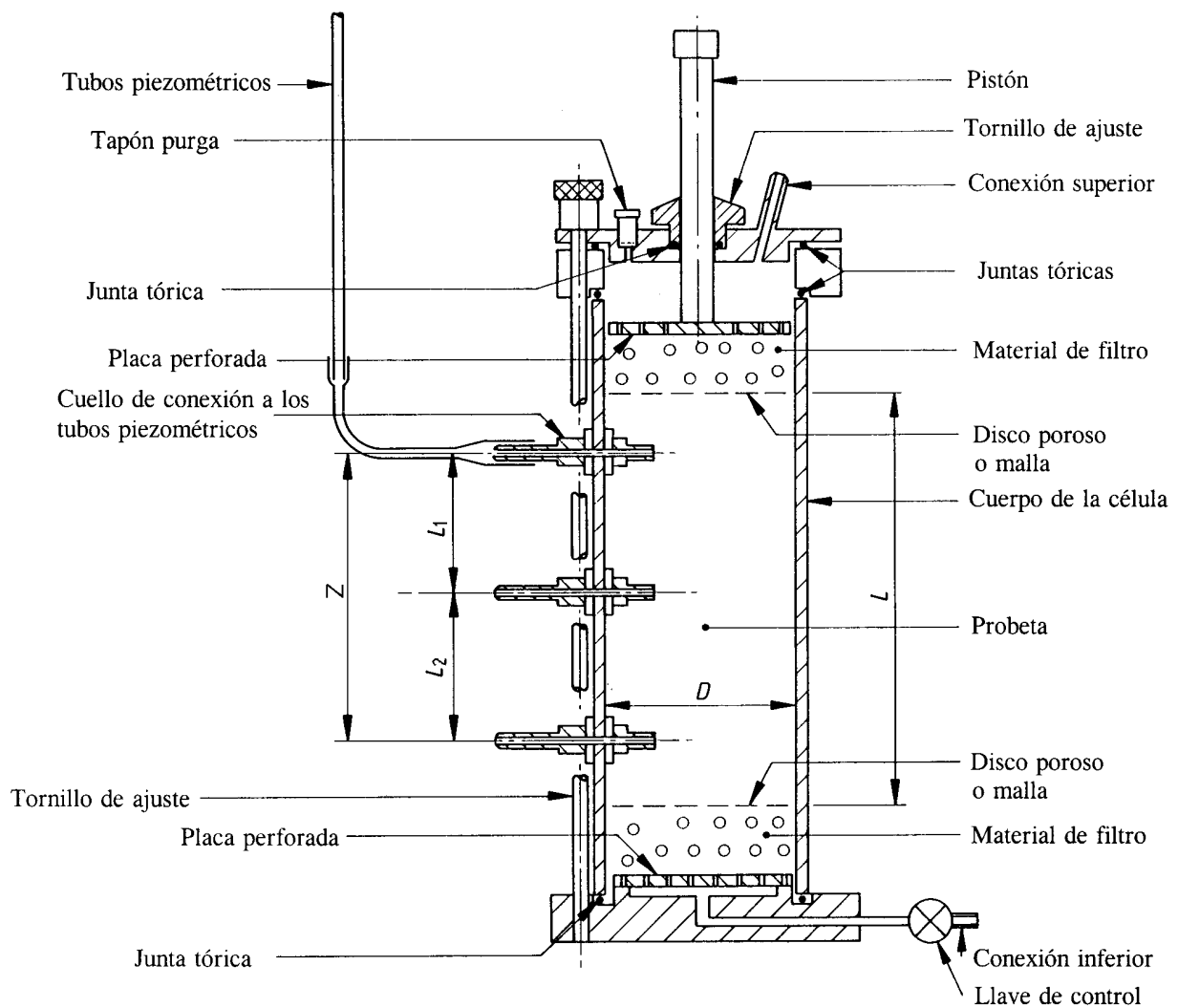


Fig. 1 – Sección de una célula típica de permeabilidad

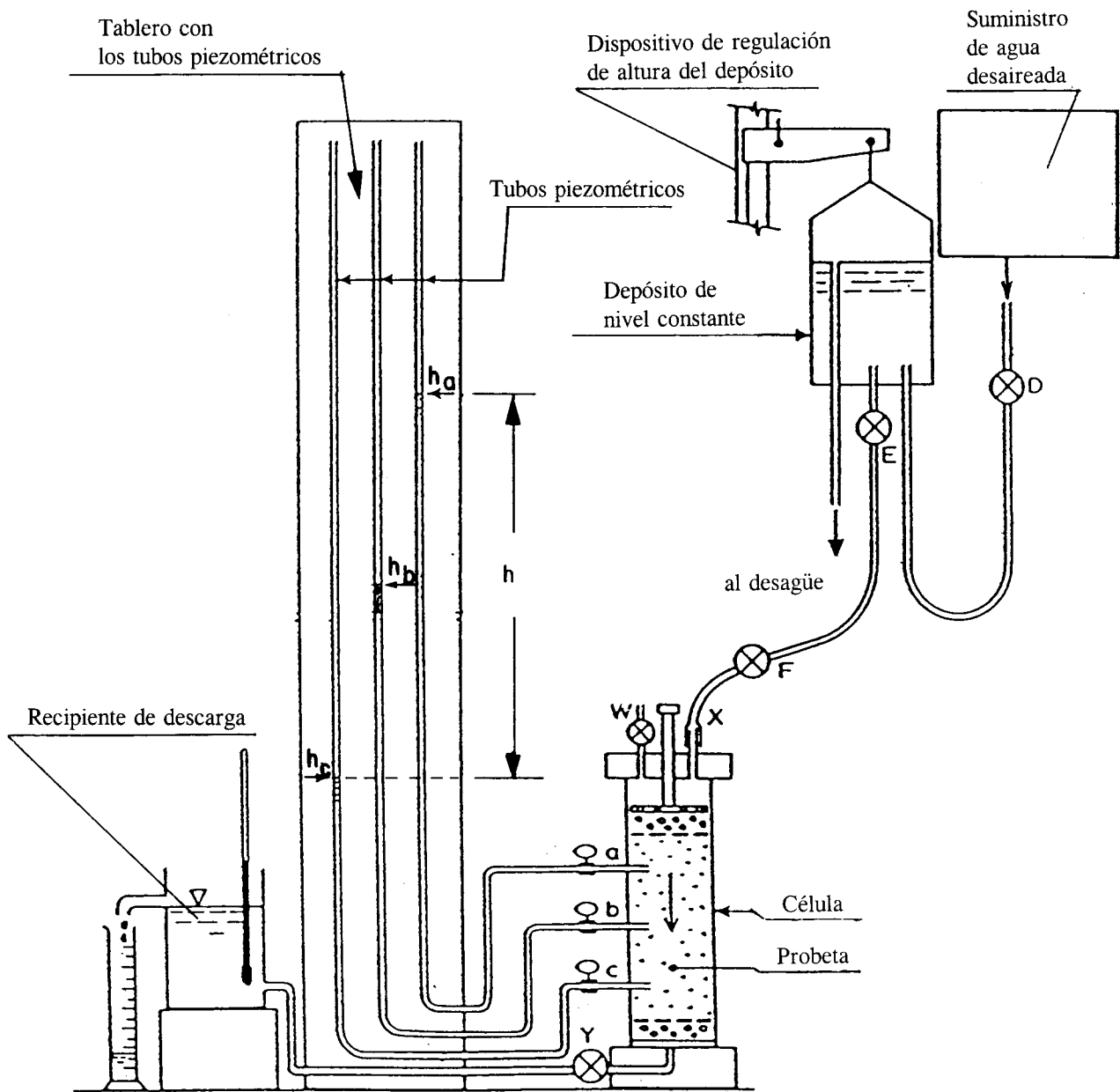


Fig. 2 – Montaje general del ensayo de permeabilidad de carga constante con flujo de agua descendente

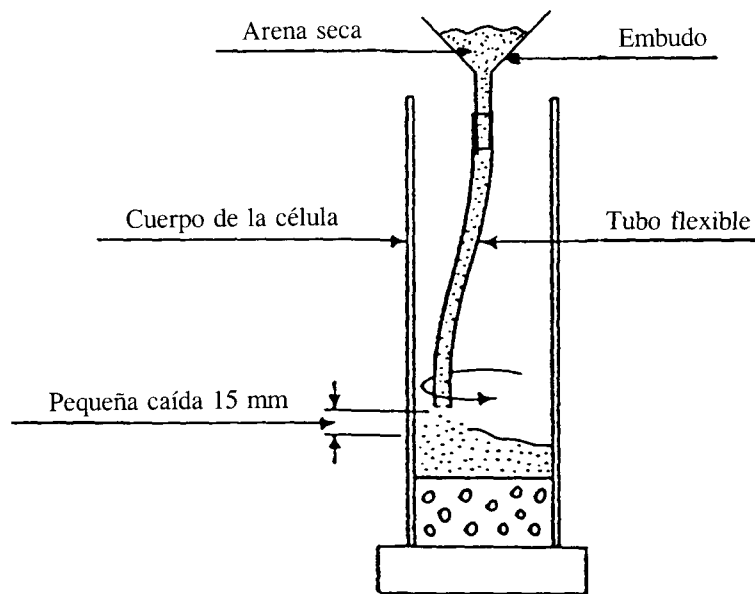


Fig. 3 – Vertido en seco de la muestra

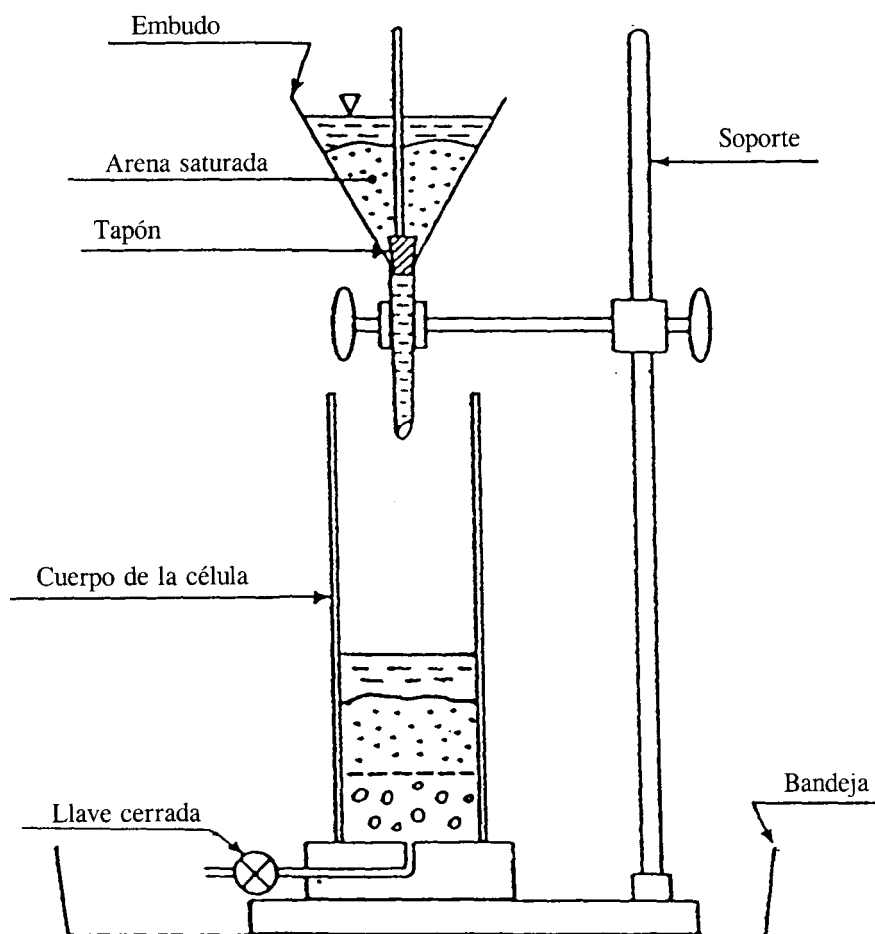


Fig. 4 – Vertido con arena saturada

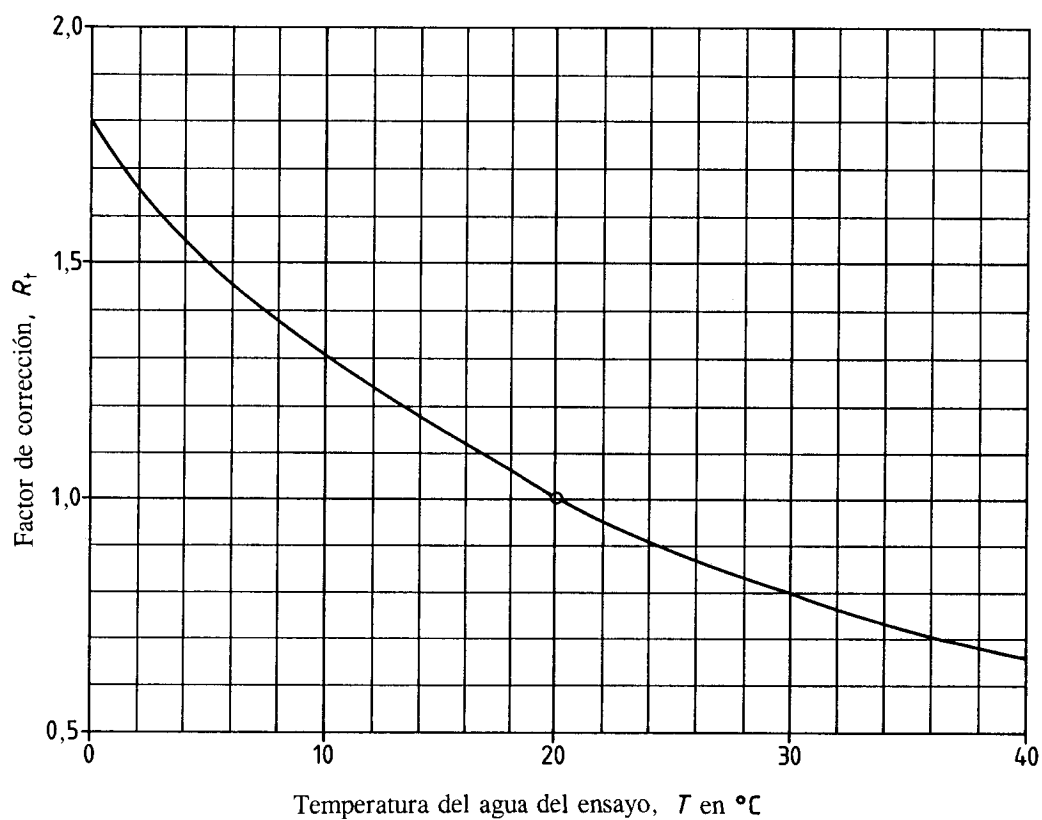


Fig. 5 – Factor de corrección por temperatura

Ensayo N°:

Muestra N°:

Localización:

Método de preparación:

Flujo ascendente ☐
 descendente ☐

Diámetro medio de la muestra en mm, $D =$ Área media de la muestra en mm^2 , $A = \pi D/4 =$ Altura media de la muestra en mm, $L =$ Masa de suelo seco utilizado en g, $m =$ Densidad seca en Mg/m^3 , $\rho_d =$ Densidad relativa de las partículas, $\rho_s =$ Densidad del agua pura a $4\text{ }^\circ\text{C} = 1\text{ Mg/m}^3$ Temperatura del agua en $^\circ\text{C}$, $T =$ Índice de huecos, $e =$ Distancia entre las dos salidas extremas en mm, $Z = L_1 + L_2 =$ Coeficiente de permeabilidad en m/s, $k =$

Niveles de los tubos piezométricos:

 $h_a =$ mm $h_b =$ mm $h_c =$ mm

Diferencia de nivel entre los tubos piezométricos a y c

 $h = h_a - h_c =$ mmGradiente hidráulico, $i =$ **Fig. 6 – Modelo de impreso para la expresión de datos generales**

Tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo	Intervalo de tiempo t(s)	Volumen de agua Q(ml)	Caudal q= Q/t (ml/s)	Caudal medio	Alturas piezométricas (mm)			Observaciones
					h _a	h _b	h _c	

Fig. 7 – Modelo de impreso para expresión de las lecturas del ensayo

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID