

## DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO USANDO PAPEL DE FILTRO

INV E – 159 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo se refiere al uso de papeles de filtro de laboratorio como sensores pasivos para evaluar el potencial (succión) matricial y total del suelo, una medida de la energía libre del agua de los poros o del esfuerzo de tensión ejercido sobre el agua de los poros por la matriz de suelo. El término potencial o succión describe el estado de energía del agua del suelo (presión negativa que ejerce el agua de los poros de un suelo parcialmente saturado).
- 1.2** Este método de ensayo controla las variables para la medición del contenido de agua del papel de filtro que está en contacto con el suelo o en equilibrio con la presión parcial de vapor de agua en el aire de un recipiente hermético, en el que se guarda la muestra de suelo. El papel de filtro se guarda con la muestra de suelo en el recipiente hermético hasta que se establezca el equilibrio de la humedad; es decir, hasta que la presión parcial del vapor de agua en el aire esté en equilibrio con la presión de vapor del agua de los poros en la muestra de suelo.
- 1.3** Este método de prueba provee información sobre la calibración de algunos tipos de papel de filtro usados en la evaluación de la succión matricial y la succión total.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E–159–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Atmósfera* - Una unidad de presión igual a 760 mm de mercurio o 101 kPa a 0° C.
- 2.2** *Succión matricial,  $h_m$  (kPa)* – Es la presión negativa (expresada como un valor positivo), relativa a la presión atmosférica del ambiente sobre el agua del suelo, a la cual se debe someter una solución de composición idéntica a la del agua del suelo, para que alcance el equilibrio con ésta a través de una membrana porosa permeable (Figura 159 - 1). La succión matricial depende de la humedad relativa debida a la diferencia de la presión en el aire y en el agua

a través de la superficie del agua. La humedad relativa o presión de vapor de agua disminuye a medida que el radio de curvatura de la superficie del agua decrece.

- 2.3** *Molalidad, moles/1000 g* –Número de moles de soluto por 1000 gramos de solvente.
- 2.4** *Mol* – Masa molecular de una sustancia, en gramos.
- 2.5** *Succión osmótica, (succión de soluto),  $h_s$  (kPa)* – Es la presión negativa (expresada como un valor positivo), a la cual se debe someter un reservorio de agua pura, para que esté en equilibrio, a través de una membrana semipermeable, con un reservorio que contiene una solución de idéntica composición a la del agua del suelo (Figura 159 - 1).
- 2.6** *pF* – Es una unidad de presión negativa, expresada como el logaritmo en base diez de la altura, en centímetros, que una columna de agua subirá por acción capilar.
- 2.7** *Humedad relativa del suelo,  $R_h$*  – Relación entre la presión de vapor del agua de los poros del suelo y la presión de vapor del agua pura libre.
- 2.8** *Potencial total (kPa)* – La suma de los potenciales gravitacional, de presión, de ósmosis y de gas externo. El potencial se puede identificar con la succión total, cuando se desprecian los potenciales gravitacional y de gas externo.
- 2.9** *Succión total del suelo,  $h$  (kPa)* – Presión manométrica negativa, relativa a la presión externa de gas sobre el agua del suelo, que deberá ser aplicada a un reservorio de agua pura (a la misma cota y temperatura) de tal forma que se mantenga en equilibrio, a través de una membrana semipermeable (que permite el flujo del agua, y no de solutos), entre el agua del reservorio y el agua del suelo. La succión total también se expresa como la suma de dos componentes: la succión matricial ( $h_m$ ) y la succión osmótica ( $h_s$ ) (Figura 159 - 1). En este contexto, la magnitud de la succión total corresponde al trabajo total de las fuerzas de capilaridad, absorción y ósmosis.
- 2.10** *Presión de vapor del agua libre pura (kPa)* – Presión de vapor de saturación del agua libre pura a una determinada temperatura de bulbo seco.
- 2.11** *Presión de vapor del agua de los vacíos del suelo (kPa)* – Presión parcial de vapor de agua que está en equilibrio con el agua de los vacíos del suelo, a una determinada temperatura de bulbo seco.

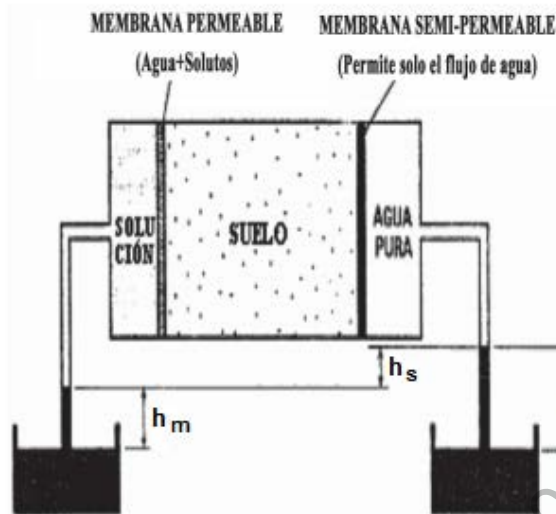


Figura 159 - 1. Representación de los conceptos de succiones matricial ( $h_m$ ), osmótica ( $h_s$ ) y total ( $h$ )

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se ponen papeles de filtro en un recipiente hermético con un espécimen de suelo durante siete días, para permitir que la presión del vapor del agua de los poros en el espécimen, la presión del vapor del agua de los poros en el papel filtro y la presión parcial del vapor del agua en el aire interior del recipiente, alcancen el equilibrio. En seguida, se halla la masa de los papeles de filtro y se determina la succión a partir de una relación de calibración entre el contenido de agua del papel de filtro y la succión aplicable a ese tipo de papel y el procedimiento de este método de ensayo.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La succión del suelo es una medida de la energía libre del agua de los poros de un suelo. En términos prácticos, la succión es una medida de la afinidad del suelo para retener agua y puede proporcionar información sobre parámetros del suelo que son influenciados por el agua contenida en él; por ejemplo, cambios de volumen, deformación, características de resistencia, etc.
- 4.2** La succión del suelo está relacionada con su contenido de agua a través de las curvas características de retención de agua. El contenido de agua del suelo se puede determinar con el método de la norma INV E-122.

- 4.3** Las medidas de succión del suelo se pueden usar con otros parámetros ambientales y del suelo, para evaluar los procesos hidrológicos y para evaluar el potencial de expansión o contracción, la resistencia al corte, los módulos, el estado de esfuerzos in-situ y la permeabilidad de los suelos parcialmente saturados.
- 4.4** El método del papel de filtro para evaluar la succión del suelo es simple y económico, dentro de un rango de 10 a 100 000 kPa (0.1 a 1000 bares).

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

---

- 5.1** *Papel de filtro* – Papel de filtro Tipo II, libre de cenizas; por ejemplo, Whatman No. 42, Fisherbrand 9–790A y Schleicher & Schuell No. 589 White Ribbon. Los papeles de filtro se presentan comercialmente en forma circular; un diámetro conveniente es 5.5 cm (2.2").

*Nota 1: Los papeles de filtro pueden ser tratados sumergiéndolos individualmente en una solución de formaldehído al 2% antes de usarlos, para prevenir el crecimiento de organismos o la descomposición biológica. Esta última puede ser significativa cuando los papeles de filtro son expuestos a un ambiente húmedo y caluroso por más de 14 días.*

- 5.2** *Recipiente para el espécimen* – De 120 a 240 ml (4 a 8 onzas) de capacidad, de metal no corrosible o de vidrio, con tapa, para guardar el espécimen con papeles de filtro. El interior del recipiente se puede cubrir con cera para retardar la corrosión.
- 5.3** *Recipientes para el papel de filtro* – Se utilizarán cuando se remueva el papel de filtro de la muestra, luego de haber alcanzado el equilibrio de succión:

**5.3.1** *Alternativa de recipiente metálico* – Dos recipientes de aluminio o de acero inoxidable de 70 ml (2 onzas) de capacidad, con sus tapas, para secar el papel de filtro. Los recipientes deberán ser numerados mediante estampado metálico. No se acepta, por ningún motivo, escribir la numeración con cualquier tipo de marcador o etiquetado, para evitar su influencia sobre cualquier medida de la masa. Se deben usar guantes quirúrgicos desechables o similares, cada vez que se vayan a manejar los recipientes asignados a las medidas de los papeles de filtro, para evitar que la grasa de las manos pueda afectar cualquier medición de masa.

- 5.3.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Bolsa plástica de tamaño suficiente para acomodar los discos de papel de filtro (aproximadamente 60 mm de dimensión), con posibilidad de ser sellada de modo hermético.
- 5.4** *Caja aislante* – De, aproximadamente, 0.03 m<sup>3</sup> (1 pie<sup>3</sup>) de capacidad, aislada con poliestireno espumado u otro material capaz de mantener la temperatura dentro de  $\pm 1^\circ \text{C}$ , cuando la temperatura externa varía  $\pm 3^\circ \text{C}$ .
- 5.5** *Balanza* – Con una capacidad mínima de 20 g, con una posibilidad de lectura de 0.0001 g.
- 5.6** *Horno* – Controlado termostáticamente, preferiblemente de tiro forzado, capaz de mantener uniformemente una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- 5.7** *Bloque de metal* – De más de 500 g, con una superficie plana, para acelerar el enfriamiento de los recipientes metálicos que contienen el papel de filtro.
- 5.8** *Termómetro* – Para determinar la temperatura del suelo, con una exactitud de  $\pm 1^\circ \text{C}$ .
- 5.9** *Desecador* – De tamaño adecuado, con gel de sílice o sulfato de calcio anhidro.
- 5.10** *Equipo complementario* – Pinzas, cuchillos, cinta aislante plástica o cualquier otra que sea impermeable, cortador de papel, empaques de presión, malla de alambre, discos de latón. Las pinzas deberán ser de, por lo menos, 110 mm (4.5") de longitud.

*Nota 2: El sulfato de calcio anhidro se conoce con el nombre de anhidrita.*

*Nota 3: Se recomienda usar un desecante que cambia de color para indicar que necesita reemplazo.*

## 6 CALIBRACIÓN

---

- 6.1** Se deberá obtener una curva de la calibración aplicable a un filtro específico, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 7, excepto que la muestra de suelo es remplazada con soluciones salinas como el cloruro de potasio de grado reactivo o el cloruro de sodio de molalidad conocida, en agua destilada.
- 6.1.1** Se suspende el papel de filtro sobre, por lo menos, 50 cm<sup>3</sup> de una solución salina en el recipiente para la muestra (Ver numeral 5.2),

colocándolo sobre una plataforma improvisada, hecha de material inerte, como una tubería de plástico o una malla de acero inoxidable.

- 6.1.2** Se calcula la succión de la humedad relativa del aire que está sobre la solución por parte de papel de filtro, con la siguiente expresión:

$$h = \frac{R T}{v} \times \ln R_h \quad [159.1]$$

- Donde: h: Succión, kPa;
- R: Constante universal de los gases ideales, 8.31432 Julios/(mol·K);
- T: Temperatura absoluta, °K;
- v: Volumen de 1000 moles de agua, 0.018 m<sup>3</sup>;
- R<sub>h</sub>: Humedad relativa, fracción.

- 6.1.3** Se pueden usar tablas críticas estándar para evaluar la humedad relativa del agua en el equilibrio con la solución salina, como se ilustra en la Tabla 159 - 1.

Tabla 159 - 1. Concentraciones de solución salina para evaluar la succión del suelo

kPa	log kPa	pF	atm	R <sub>h</sub>	20 °C	
					g NaCl	g KCl
					1000 ml DE AGUA	1000 ml DE AGUA
-98	1.99	3.0	-0.97	0.99927	1.3	1.7
-310	2.49	3.5	-3.02	0.99774	3.8	5.3
-980	2.99	4.0	-9.68	0.99278	13.1	17.0
-3099	3.49	4.5	-30.19	0.9764	39.0	52.7
-9800	3.99	5.0	-96.77	0.93008	122.5	165.0

- 6.2** En la Figura 159 - 2 se muestran curvas típicas de calibración para dos papeles del filtro (Whatman No. 42, Schleicher & Schuell No. 589). Estas curvas constan de dos partes: el segmento superior representa la humedad retenida como película adsorbida a las superficies de las partículas, mientras el segmento inferior representa la humedad retenida por capilaridad o las fuerzas de

tensión superficial entre partículas. El punto de inflexión para el papel de filtro Whatman No. 42 es  $w_f = 45.3\%$ , y para el papel de filtro Schleicher & Schuell No. 589 es  $w_f = 54\%$ .

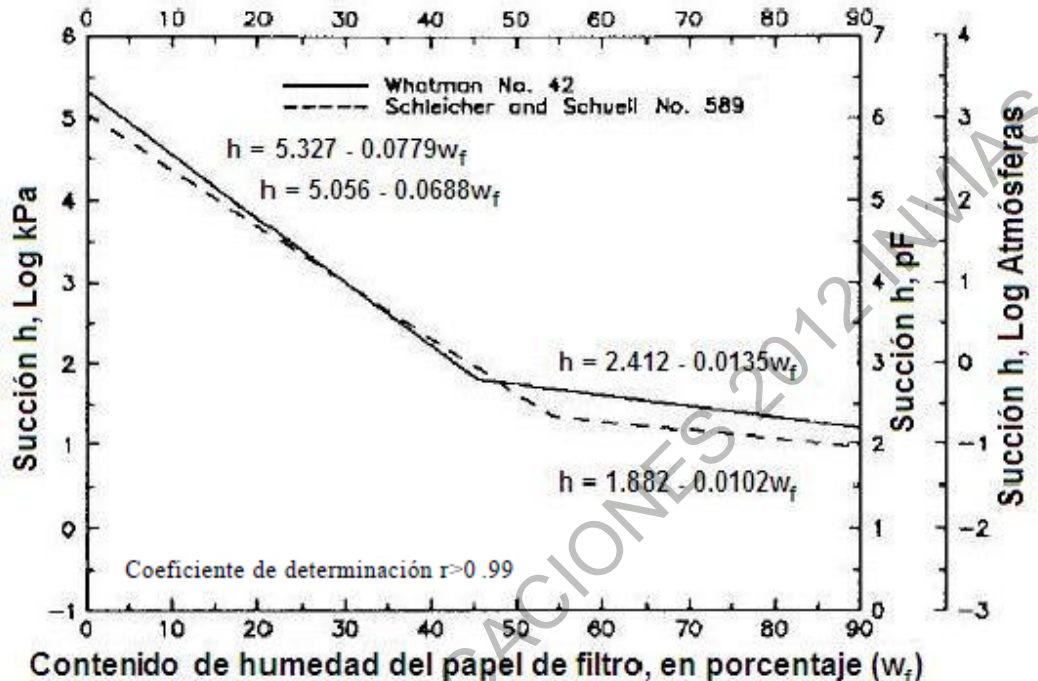


Figura 159 - 2. Curvas de calibración succión-humedad para humedecimiento de papel filtro

- 6.3** Las curvas de calibración mostradas en la Figura 159 - 2 son aplicables a la succión total. La variabilidad en los resultados es de menos del 2% sobre 100 kPa. En suelos con succión de más de 20 kPa, la alteración de la muestra tiene mínima influencia sobre el resultado final. A contenidos de humedad con succiones menores de 20 kPa, la alteración de la muestra aumenta la variabilidad de los resultados. Las escalas de la derecha de la Figura 159 - 2 proporcionan la succión en unidades de pF y en atmósferas de presión; por ejemplo, "h = 2 log Atmósferas" significa una succión de 100 atmósferas, mientras pF = 5 significa 100 000 cm de agua.

## 7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se secan en el horno los papeles de filtro seleccionados para las pruebas, al menos por 16 horas o durante toda la noche. Luego se colocan en el desecador para almacenamiento hasta el momento de su uso.

**7.2 Medición de la succión** – El procedimiento de ensayo es, básicamente, el mismo, tanto para medir la succión total como la succión matricial. La diferencia radica en el sitio donde se colocará el papel de filtro. Si el papel de filtro no está en contacto con el espécimen de suelo, se medirá la succión total: la transferencia de humedad se limitará a la transferencia de vapor a través del aire interior del recipiente del espécimen. Si el papel de filtro está en contacto físico con el espécimen de suelo, se medirá la succión matricial: el contacto físico entre el suelo y el papel filtro permite la transferencia de fluidos, incluyendo las sales disueltas en el agua de los poros.

*Nota 4: Cuando el suelo no está suficientemente húmedo, no se garantiza un contacto físico adecuado entre el papel de filtro y el suelo, lo que puede causar una medida inexacta de la succión matricial. La succión matricial se puede obtener substrayendo la succión osmótica de la succión total. La succión osmótica se puede determinar midiendo la conductividad eléctrica, según la norma ASTM D 4542. Se puede usar una curva de calibración para relacionar la conductividad eléctrica con la succión osmótica.*

**7.3 Colocación del papel de filtro** – Se coloca una muestra intacta de suelo o los fragmentos de una muestra de suelo, de 200 a 400 g de masa, en el recipiente para el espécimen. La muestra de suelo deberá casi llenar el recipiente, para reducir el tiempo de equilibrio y minimizar los cambios de succión en el espécimen.

**7.3.1 Medición de la succión total** – Se retiran del desecador dos papeles de filtro e inmediatamente se colocan sobre la muestra, pero con el cuidado especial de separarlos de ésta mediante una malla de alambre, un empaque de presión, u otro elemento inerte, con una superficie mínima de contacto entre los papeles de filtro y el suelo (Ver Figura 159 - 3a). Se deberá doblar ligeramente hacia arriba un borde de los papeles de filtro, para facilitar su extracción posterior con las pinzas.

**7.3.2 Medición de la succión matricial** – Se retiran del desecador tres papeles de filtro e inmediatamente se colocan uno sobre otro en contacto físico con la muestra de suelo, tal como se indica en la Figura 159 - 3b. Los dos papeles de filtro exteriores previenen la contaminación del papel de filtro del centro, que es el que se usa para el análisis de la succión matricial. El papel de filtro central deberá ser cortado con unas tijeras, para que su diámetro sea entre 3 y 4 mm menor que los exteriores, con el fin de evitar el contacto directo del suelo con dicho papel.

**7.4 Succión de equilibrio** – Se coloca la tapa del recipiente del espécimen y se sella con, al menos, una vuelta de cinta eléctrica adhesiva. En seguida, se coloca el recipiente sellado en la caja aislante y se lleva ésta a un ambiente donde la



variación de la temperatura sea menor de 3° C. Una temperatura típica nominal es 20° C. Se deberá permitir la succión del papel de filtro y del espécimen dentro del recipiente durante un lapso mínimo de siete días, para que se alcance el equilibrio.

*Nota 5: Si los papeles del filtro son puestos con las muestras de suelo mientras se está en el campo, los papeles del filtro se deben secar en el horno durante una noche y guardarlos luego en un recipiente hermético sobre un desecante, para minimizar la humedad en el papel de filtro. La humedad en el papel de filtro antes de la prueba expande las fibras y altera los espacios vacíos, lo que puede alterar la curva de calibración del papel de filtro. Mientras permanezca en el campo, la caja aislante se debe guardar a la sombra en los días calientes de verano y en un área cálida durante los días fríos de invierno. Después del retorno del campo, la caja aislante se debe colocar en un cuarto con temperatura controlada, aproximadamente a 20° C.*

*Nota 6: El equilibrio de la succión entre el suelo, el papel de filtro y el aire en el recipiente cerrado, es el resultado deseado del período de equilibrio. Se debe reconocer que el proceso de equilibrio depende de la succión inicial del suelo, de la humedad relativa inicial del aire, de la masa de la muestra y del espacio en el recipiente. El período de siete días es suficiente para las condiciones normales de los suelos; sin embargo, bajo otras condiciones, el equilibrio se podrá alcanzar con mayor prontitud. La medida de la succión deberá evitar la condensación de agua, de manera que es necesario un control termostático. El control de la temperatura de la muestra durante el proceso de equilibrio asegura la minimización de los efectos de condensación. El almacenamiento de los recipientes para los especímenes (con éstos y los papeles de filtro dentro) en una caja termostática con aislamiento de poliestireno (por ejemplo, un frigorífico portátil) minimiza las fluctuaciones térmicas. Con un esquema como el descrito, es posible limitar las fluctuaciones de temperatura a  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ .*

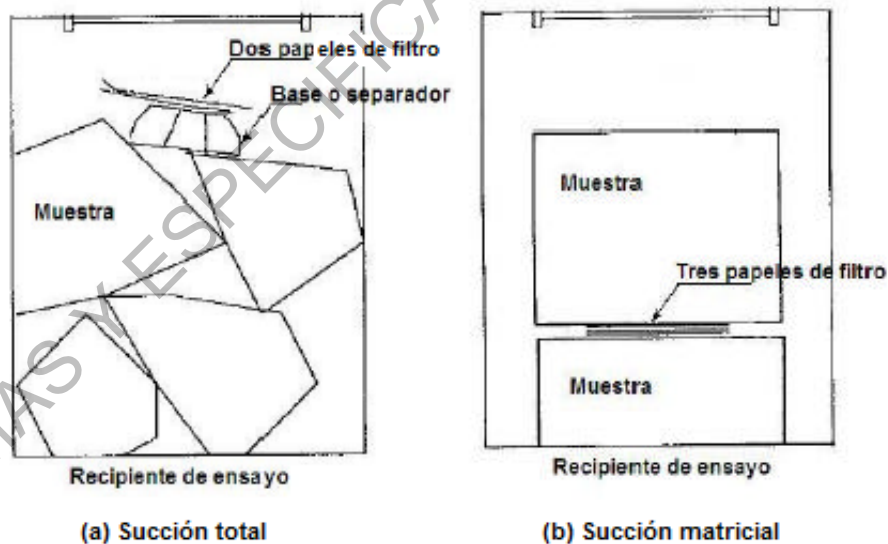


Figura 159 - 3. Montaje del ensayo para determinar la succión

- 7.5** *Predeterminación de la masa del recipiente para el papel de filtro* – Al terminar el período de equilibrio, se colocan los dos papeles de filtro (si se va a medir la succión total) o el filtro central (si se va a medir la succión matricial) en un recipiente para papeles de filtro de masa predeterminada. La masa se determina con precisión de 0.0001 g, antes de que el recipiente para el

espécimen sea removido de la caja aislante y se le llamará la tara fría ( $T_c$ ). Se sugiere que la tara fría se determine en el instante previo a la determinación de su masa con el papel de filtro adentro.

**7.6** *Transferencia de los papeles de filtro* – Utilizando las pinzas, se transfiere cada papel de filtro del recipiente para el espécimen al recipiente metálico (Ver numeral 5.3.1) o a la bolsa plástica (Ver numeral 5.3.2) de masa fría predeterminada ( $T_c$ ). El proceso entero se debe completar en un lapso de 3 a 5 segundos. La clave para que las medidas del contenido de agua de los papeles de filtro sean exitosas, consiste en minimizar la pérdida de agua durante la transferencia del papel de filtro del recipiente para el espécimen y durante la determinación de la masa antes del secado. Por observaciones, se ha detectado una variación de masa de agua del 5 % o más, debido a la evaporación, durante un período de exposición de 5 a 10 segundos, del papel de filtro en un ambiente con humedad relativa de 30 a 50 %.

**7.6.1** *Alternativa de recipiente de metal (numeral 5.3.1)* – Se coloca la tapa suelta sobre el recipiente de metal (no entreabierto). Se debe tener el cuidado de sellar el recipiente de metal después de cada traslado; es decir, se debe tomar el papel del filtro del recipiente de la muestra y se coloca en el recipiente de metal y se sella éste. Se repite el procedimiento para el segundo papel de filtro usando el segundo recipiente metálico de masa predeterminada, si se va a medir la succión total. Los recipientes se deben sellar tan rápido como sea posible, para asegurar que el aire ambiental no altere la condición de humedad de la muestra de suelo o de los papeles de filtro.

**7.6.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Se debe transferir rápidamente el papel de filtro a una bolsa plástica de masa inicial predeterminada ( $T_c$ ) y se sella la bolsa. Se repite este procedimiento para cada uno de los papeles de filtro.

**7.7** Inmediatamente después, se determina la masa de cada uno de los recipientes (metálicos o bolsas plásticas) con los papeles de filtro ( $M_1$ ), con una precisión de 0.0001 g.

**7.8** *Secado del papel filtro:*

**7.8.1** *Alternativa de recipiente de metal* – Se colocan el recipiente (o los recipientes en caso de que sean dos) con el papel de filtro en un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), con la tapa ligeramente entreabierta para permitir el escape de humedad. El recipiente debe permanecer en el

horno por un mínimo de 2 horas. Después de este tiempo, se tapa el recipiente y se deja en el horno por 15 minutos más, para permitir que la temperatura se estabilice. Se retira del horno el recipiente de metal conteniendo el papel de filtro y se determina la masa total seca del conjunto, la cual se llamará  $M_2$ , con una precisión de 0.0001 g. En seguida, se desecha el papel de filtro y se vuelve a determinar la masa del recipiente para el papel de filtro, la cual se llamará la masa caliente ( $T_h$ ), obtenida con una precisión de 0.0001 g. Se repite el mismo procedimiento con los demás recipientes.

*Nota 7: Si los recipientes que contiene el papel de filtro son metálicos, se deberán colocar sobre un bloque de metal por unos 30 segundos para refrescarlos. El bloque de metal actúa como un radiador y reducirá la variación de temperatura durante la determinación de la masa.*

**7.8.2** *Alternativa de bolsa plástica* – Se coloca el papel de filtro a secar en el horno como mínimo 2 horas y luego se pone en un recipiente desecador sobre gel de sílice, o en un desecador estándar, durante un lapso mínimo de 2 a 3 minutos, para que enfríe. Se coloca el papel de filtro dentro de la bolsa plástica y se determina la masa total del conjunto,  $M_2$ . Se saca el papel de filtro de la bolsa plástica y se determina la masa final de la bolsa plástica,  $T_h$ .

**7.8.3** Después de determinadas las masas  $M_2$  y  $T_h$  se deben desechar los papeles de filtro. Bajo ninguna circunstancia, se podrán volver a usar para realizar otro ensayo.

## 8 CÁLCULOS

**8.1** Para cada papel de filtro se debe determinar:

$$M_f = M_2 - T_h \quad [159.2]$$

$$M_w = M_1 - M_2 + T_h + T_c \quad [159.3]$$

Donde:  $M_f$ : Masa del papel de filtro seco, g;

$M_2$ : Masa total seca, g;

$T_h$ : Masa del recipiente (metálico o bolsa) caliente, g;

$M_w$ : Masa de agua en el papel de filtro, g

$T_c$ : Masa del recipiente (metálico o bolsa) frío, g.

*Nota 8.- La masa caliente ( $T_h$ ) puede ser consistentemente menor que la masa fría ( $T_c$ ) cuando se usan recipientes metálicos para los papeles de filtro, debido a la pérdida de humedad adsorbida por la superficie del recipiente cuando se calienta. Las corrientes provenientes de la elevación del aire caliente del recipiente también contribuyen a una masa menor del recipiente caliente. La diferencia media entre las masas caliente y fría del recipiente para 69 medidas fue de  $4.6 \pm 0.9$  % de la masa de papel de filtro y se deberá considerar, si se desea que las medidas de la masa de papel de filtro tengan un error menor de 5 %. No hay datos disponibles en relación con las bolsas plásticas.*

**8.2** Se determina la humedad del papel de filtro ( $w_f$ ) así:

$$w_f = \frac{M_w}{M_f} \times 100 \quad [159.4]$$

Donde:  $w_f$ : Contenido de agua del papel de filtro, %.

**8.3** Se convierte la humedad del papel de filtro ( $w_f$ ) a un valor de succión, con ayuda de una curva específica de calibración o mediante la fórmula:

$$h = (m \times w_f) + b \quad [159.5]$$

Donde:  $m$ : Pendiente de la curva de calibración del papel de filtro,  $\log_{10}$  kPa / % del contenido de agua;

$b$ : Ordenada al origen de la curva de calibración del papel de filtro,  $\log_{10}$  kPa.

**8.3.1** La curva de calibración definida por la ecuación del numeral 8.3 es única para cada tipo de papel de filtro y consiste en una línea con dos pendientes, como se muestra en la Figura 159 - 2. La succión determinada de la curva de calibración se puede tomar como el promedio de las succiones evaluadas a partir de los contenidos de agua si se usaron dos papeles de filtro para determinar la succión. Los resultados se deberán descartar, si la diferencia de succión entre los dos papeles de filtro excede de 0.5 log kPa.

## 9 INFORME

**9.1** La Tabla 159 - 2 es un ejemplo de formato para recoger los datos de la evaluación de succión de suelos, utilizando el método del papel de filtro.

Tabla 159 - 2. Evaluación de la succión de un suelo empleando papel de filtro

Perforación No.: \_\_\_\_\_

Fecha muestreo: \_\_\_\_\_

Muestra No.: \_\_\_\_\_

Papel filtro superior/Papel filtro inferior (círculo)		Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior
Masa fría, g	$T_c$						
Masa del papel filtro húmedo + Masa fría, g	$M_1$						
Masa del papel filtro seco + Masa caliente, g	$M_2$						
Masa caliente, g	$T_h$						
Masa del papel filtro seco, g ( $M_2 - T_h$ )	$M_f$						
Masa del agua en el papel filtro, g ( $M_1 - M_2 - T_c - T_h$ )	$M_w$						
Contenido de agua del papel filtro, g ( $M_w + M_f$ )	$W_f$						
Succión, pF	$h$						

**9.2** Se deben informar el contenido de agua del suelo correspondiente a la succión total del suelo, la temperatura de ensayo, el tiempo de equilibrio, el método de calibración del papel filtro, y la densidad bulk del suelo.

**9.3** Se debe reportar la salinidad del agua de los poros, si ella se ha determinado para permitir la evaluación de la succión osmótica y el cálculo de la succión matricial,  $h_m = h - h_s$ .

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

**10.1** *Precisión* – Se están evaluando los datos para establecer la precisión de este método de ensayo.

**10.2** *Sesgo* – No hay valores de referencia para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5298 – 10