

DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO

INV E – 122 – 13

1 OBJETO

1.1 Esta norma se refiere a la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad), por masa, de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

1.2 El término "material sólido", como se emplea de manera típica en la ingeniería geotécnica, significa partículas minerales de suelo y roca que se forman naturalmente y que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua en materiales que contengan materias extrañas (tales como cemento, etc.) puede requerir una definición calificada. Por otra parte, algunos materiales orgánicos se pueden descomponer al ser secados en el horno a la temperatura normal usada para este ensayo (110° C). Materiales que contengan yeso (sulfato de calcio dihidratado) u otros compuestos con cantidades significativas de agua hidratada, pueden presentar problemas especiales, ya que ellos se deshidratan lentamente a la temperatura normalizada de secado (110° C) y a muy baja humedad relativa, formando un compuesto (como el sulfato de calcio hemihidratado) que normalmente no está presente en materiales naturales, excepto en algunos suelos desérticos. Para poder reducir el grado de deshidratación del yeso en los materiales que lo contengan, o reducir la descomposición en suelos con alto contenido orgánico, puede resultar aconsejable secar estos materiales a 60° C (140° F) o en un desecador a temperatura ambiente. En este orden de ideas, cuando se use una temperatura de secado diferente a la definida para este método de ensayo, el contenido de agua resultante puede diferir del obtenido al emplear la temperatura normalizada de secado de 110° C.

Nota 1: El método de ensayo ASTM D2974 proveen un procedimiento alternativo para determinar el contenido de agua en materiales altamente orgánicos (turba).

1.3 Al ensayar mediante este método materiales que contengan agua con cantidades considerables de sólidos solubles (como sal, en el caso de sedimentos marinos), su masa de sólidos incluirá los sólidos solubles disueltos. Estos materiales precisan un tratamiento especial para retirar o considerar la

presencia de sólidos precipitados en la masa seca de la muestra, o requieren una definición calificada del contenido de agua.

- 1.4** La determinación del contenido de agua mediante el método descrito en esta norma de ensayo requiere varias horas. La norma INV E-135 presenta un proceso de menor duración, consistente en el secado de la muestra en un horno microondas.
- 1.5** Esta norma exige el secado del material en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Si el material que está siendo secado se encuentra contaminado con determinados químicos, se pueden presentar peligros para la salud y la seguridad. Por lo tanto, la norma no se deberá usar para determinar el contenido de agua en suelos contaminados, a no ser que se hayan tomado medidas adecuadas de precaución en relación con la salud y la seguridad.
- 1.6** La norma incluye dos métodos para determinar el contenido de agua, los cuales difieren en el número de cifras significativas con las cuales se deben presentar los resultados y en la masa de material requerido. El método por usar debe ser indicado por el cliente. Si éste no lo hace, se usará el Método A.
 - 1.6.1** *Método A* – El contenido de agua, por masa, se debe registrar con aproximación a 1 %. Para casos en que se presente discusión en relación con los resultados, el Método A se deberá tomar como referencia.
 - 1.6.2** *Método B* – El contenido de agua, por masa, se debe registrar con aproximación a 0.1 %.
- 1.7** Normalmente, es el número de cifras significativas el que determina cuál método se debe utilizar (A o B). Esto es particularmente importante si el contenido de agua se va a emplear para calcular otras relaciones, como puede ser el caso de determinar la masa seca a partir de la masa húmeda o viceversa; o de masa unitaria seca a partir de la húmeda o viceversa. Por ejemplo, si se requieren cuatro dígitos significativos en alguno de los cálculos que se acaban de citar, entonces el contenido de agua se debe reportar al 0.1 % más cercano. Esto se debe a que 1 (uno) más el contenido de agua (no en porcentaje) tendrá cuatro dígitos significativos, independientemente de cuál es el valor de dicho contenido; es decir que $1 + (0.1/100) = 1.001$ es un número con cuatro dígitos significativos. Mientras que si se aceptaran tres cifras significativas, el contenido de agua debería reportarse al 1 % más cercano.
- 1.8** Esta norma reemplaza la norma INV E-122-07.

2 DEFINICIONES

2.1 Las siguientes definiciones son aplicables al contenido de esta norma:

2.1.1 *Contenido de agua por masa* – Se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del material, y la masa de las partículas sólidas de éste. Para la determinación de la masa del agua se debe usar una temperatura de referencia de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

2.1.2 *Masa seca constante* – Es el estado que alcanza un material material cuando un calentamiento posterior produce una pérdida adicional de masa menor de 1 % o 0.1 %, según se apliquen el Método A o el Método B, respectivamente. El tiempo requerido para alcanzar masa constante depende de numerosos factores, cuya influencia se puede establecer a partir del buen juicio del operario y de la experiencia que tenga con el equipo utilizado y el material que se ensaya.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

3.1 Se lleva una muestra del material húmedo a un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se seca hasta alcanzar una masa constante. Se considera que la masa perdida a causa del secado es agua y que la masa remanente corresponde a la muestra seca. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca.

4 IMPORTANCIA Y USO

4.1 El contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas de muchos materiales y se emplea para establecer correlaciones con el comportamiento de los suelos.

4.2 El contenido de agua se usa en la mayoría de las ecuaciones que relacionan las fases aire, agua y sólidos en un volumen dado de material.

4.3 En el caso de los suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con su límite líquido (norma INV E-125) y su límite plástico (norma INV E - 126), se usan para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez.

5 EQUIPO

- 5.1** *Horno* – Controlado termostáticamente, preferiblemente de tiro forzado, y que pueda mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) en toda la cámara de secado.
- 5.2** *Balanzas* – Con una legibilidad de 0.01 g para muestras que tengan una masa de 200 g o menos; y una legibilidad de 0.1 g para muestras que tengan una masa mayor de 200 g. En cualquier caso, la balanza utilizada deberá ser controlada por el número necesario de dígitos significativos (Ver numeral 1.7).
- 5.3** *Recipientes para las muestras* – Recipientes adecuados, hechos de un material resistente a la corrosión y a cambios en su masa al ser sometidos a calentamientos y enfriamientos repetidos, a la exposición a materiales de pH variado y a operaciones de limpieza. A menos que se use un desecador, se deberán usar recipientes con tapas de cierre hermético para el ensayo de muestras con masa hasta de 200 g; mientras que para muestras de masa mayor se podrán usar recipientes sin tapa (nota 2). Los recipientes y sus tapas deberán tener identificaciones numéricas que los individualicen completamente; además, los números en las tapas deberán coincidir con los de sus recipientes, con el fin de evitar confusiones.
- Nota 2: El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.*
- 5.4** *Desecador (Opcional)* – De tamaño adecuado y que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidro. Se prefiere el uso de un desecante que cambie de color cuando requiera reemplazo.
- 5.5** *Aparato para el manejo de las muestras* – Apropiado para mover y manejar los recipientes calientes luego del secado de las muestras.
- 5.6** *Elementos misceláneos* – Guantes resistentes al calor, cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuartear, seguetas, etc.

6 MUESTRAS

- 6.1** Antes del ensayo, las muestras se deben almacenar en recipientes herméticos no corrosibles, a una temperatura entre 3 y 30°C (37 a 86°F) y en un área en la cual no tengan contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas que

se encuentren en vasijas u otros recipientes deberán ser almacenadas de manera de prevenir o minimizar la condensación de humedad en las paredes internas de los recipientes.

- 6.2** La determinación del contenido de agua se deberá hacer tan pronto como sea posible después del muestreo, en especial si los recipientes usados son potencialmente corrosibles (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) o bolsas plásticas.

7 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 7.1** Para las determinaciones de los contenidos del agua que se realicen con el fin de suministrar el dato obtenido como insumo para la ejecución de otro ensayo, se deberá usar la cantidad de masa de muestra indicada en la norma que rige el otro ensayo. Si en dicha norma no se estipula ninguna cantidad, se deberán aplicar los valores que se mencionan más adelante.
- 7.2** La masa mínima del espécimen del material húmedo seleccionado como representativo del total de la muestra, se debe escoger en función (1) del tamaño máximo de partícula que haya sido determinado por examen visual, y (2) del método adoptado para el registro de los datos (Método A o Método B). La masa mínima de la muestra y la capacidad de lectura que debe tener la balanza utilizada para pesar las muestras, deberán estar de acuerdo con lo indicado en la Tabla 122 - 1.

Tabla 122 - 1. Requisitos sobre la masa mínima de los especímenes de ensayo y la lectura de las balanzas¹

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 1\%$		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 0.1\%$	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

¹ Si los datos obtenidos al pesar las muestras se van a emplear en el cálculo de otras relaciones, tales como pesos unitarios totales o secos, las masas de especímenes hasta de 200 g se deberán determinar usando una balanza con precisión de 0.01 g

- 7.3** El uso de un espécimen de ensayo de tamaño inferior al mínimo indicado en el numeral 7.2 requiere especial cuidado, debiendo considerarse si resulta adecuado para el propósito de la prueba. En la hoja de datos del ensayo, o en los formatos con los resultados, se deberá dejar constancia de cualquier espécimen usado que no satisfaga los requisitos de la Tabla 122 - 1.
- 7.4** Cuando se trabaje con un espécimen pequeño (menos de 200 g) que contenga una partícula de grava relativamente grande, se debe descartar esta partícula dentro del espécimen de prueba. Sin embargo, en la hoja de datos del ensayo o en los formatos con los resultados, se deberá dejar constancia de cualquier material descartado.
- 7.5** Para aquellas muestras compuestas en su totalidad por roca intacta o agregados del tamaño de grava, la masa mínima del espécimen debe ser de 500 g. Se permite dividir porciones representativas de la muestra en partículas más pequeñas, cuyo tamaño dependerá de la masa del espécimen, del volumen del recipiente y de la balanza que se va a usar para determinar la masa constante (Ver numeral 9.4). Se pueden ensayar especímenes de masas tan pequeñas como 200 g, si resulta aceptable informar contenidos de agua con sólo dos dígitos significativos.

8 SELECCIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO

- 8.1** Cuando el espécimen para el ensayo sea una porción de una cantidad mayor de material, se deberá seleccionar de manera que sea representativo de la condición de humedad de la totalidad del material. La manera como se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y de la aplicación del resultado de la prueba, del tipo de material que se ensaya, de la condición del agua y de la clase de muestra (proveniente de otro ensayo, bolsa, bloque, etc.)
- 8.2** En el caso de muestras alteradas, tales como muestras desbastadas, muestras de bolsa, etc., el espécimen de muestra se debe obtener por medio de uno de los métodos que se describen a continuación (listados en orden de preferencia):
- 8.2.1** Si el material puede ser manejado sin pérdida significativa de humedad y sin que se produzca segregación, deberá ser mezclado completamente, seleccionando luego una porción representativa con una pala de tamaño tal, que solo se requieran unas pocas paladas para obtener el tamaño apropiado del espécimen según se define en el

numeral 7.2. Se mezclan todas las paladas para conformar el espécimen de ensayo.

8.2.2 Si el material es tal que no puede ser mezclado totalmente, o mezclado y muestreado con una pala, se forma una pila, mezclándolo tanto como sea posible. Se recogen, por lo menos, cinco porciones del material de lugares escogidos aleatoriamente usando un tubo muestreador, pala, una cuchara o palustre, o cualquier herramienta similar apropiada para recoger las partículas más grandes que se encuentren en el material. En seguida, se combinan todas las porciones para obtener el espécimen para el ensayo.

8.2.3 Si el material o las condiciones son tales que no permiten la formación de una pila, se deben recoger tantas porciones como resulte práctico, usando lugares escogidos al azar que representen bien la condición de humedad del material. Todas las porciones se deben combinar para obtener el espécimen de ensayo.

8.3 En el caso de muestras intactas, tales como las de bloque, de tubo de pared delgada, de tubo partido y otras similares, el espécimen para el ensayo se debe obtener usando uno de los métodos siguientes, dependiendo del propósito y uso potencial de la muestra:

8.3.1 Empleando un cuchillo, segueta, o cualquier otro elemento cortante, se desbasta el exterior de la muestra en una longitud suficiente para comprobar si el material está estratificado, y para retirar el material que parezca más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Si existen dudas sobre la existencia de estratos, la muestra se debe cortar por la mitad. Si el material resulta estratificado, véase el numeral 8.3.3.

8.3.2 Si el material no está estratificado, el espécimen se debe obtener cumpliendo los requisitos de masa indicados en el numeral 7.2, de la siguiente manera: (1) tomando toda o la mitad del intervalo por ensayar; (2) cortando una tajada representativa del intervalo por ensayar; o (3) desbastando la superficie expuesta de una mitad o del intervalo por ensayar.

Nota 3: La migración de humedad en algunos suelos sin cohesión puede obligar a ensayar toda la muestra.

8.3.3 Si el material es estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se selecciona un espécimen promedio y/o especímenes

individuales. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en cuanto a su ubicación o a lo que ellos representan, y se deben incluir comentarios apropiados en los formatos de los ensayos o en las hojas de resultados.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1 Se determina y registra la masa de un recipiente limpio y seco (y su tapa, si ella se usa).
- 9.2 Se escoge una muestra de ensayo representativa, de acuerdo con la Sección 8.
- 9.3 Se coloca la muestra húmeda dentro del recipiente; se coloca la tapa firmemente en posición (cuando ella se utilice) y se determina el peso del recipiente con la muestra de material, usando una balanza apropiada, según lo indicado en el numeral 7.2. Se anota este valor.

Nota 4: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas se deben colocar en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja), separando el material en pequeños grupos.

- 9.4 Se retira la tapa (si fue usada) y se coloca el recipiente con el material húmedo en el horno para secar el material hasta que alcance masa constante. El horno secador se mantiene a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), salvo que se especifique otra cosa (ver numeral 1.2). El tiempo requerido para alcanzar la masa constante varía dependiendo del tipo de material, del tamaño del espécimen, del tipo y capacidad del horno y otros factores. Generalmente, la influencia de estos factores se puede establecer usando el buen juicio y la experiencia adquirida con los materiales que están siendo ensayados y con el equipo utilizado
 - 9.4.1 En la mayoría de los casos, el secado de una muestra de un día para otro (12 a 16 horas), es suficiente, en especial si se usan hornos de tiro forzado. Cuando se presenten dudas sobre la suficiencia del secado a masa constante, se deberá repasar la definición del numeral 2.1.2 y verificar si se producen pérdidas adicionales de masa bajo tiempos adicionales de secado en el horno. Se puede usar un período mínimo de dos horas, incrementado el tiempo de secado a medida que la masa del espécimen es mayor. Una manera rápida de verificar si una muestra relativamente grande (de más de 100 g) está seca, consiste en colocar una pequeña tira de papel sobre la muestra cuando está en el

horno o justo al sacarla de él. Si el papel tiende a enrollarse, ello significa que el material no está totalmente seco y, por lo tanto, requiere un tiempo adicional de secado. Los especímenes de arena se pueden secar a menudo hasta masa constante en un lapso de cuatro horas, cuando se emplea un horno de tiro forzado.

9.4.2 Debido a que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes que aún conserven alguna humedad, aquellos deben ser retirados del horno antes de colocar los especímenes húmedos, salvo que se tenga previsto que los especímenes secos permanezcan en el horno durante toda la noche.

9.5 Después de que el material se haya secado a masa constante, se retira el recipiente del horno y se le coloca la tapa, si ella se usó inicialmente (ver numerales 9.1 y 9.3). Se permite que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no se vea afectada por corrientes de convección y/o transmisión de calor. Se determina la masa del recipiente con la muestra secada en el horno, usando la misma balanza usada en la operación descrita en el numeral 9.3. Se registra este valor. Se deberán usar tapas de ajuste a presión siempre que se ensayen especímenes que absorban humedad del aire antes de determinarles la masa seca.

9.5.1 El enfriamiento de la muestra seca en un desecador constituye una buena alternativa al uso de las tapas de presión, ya que se reduce enormemente la absorción de la humedad atmosférica durante el enfriamiento.

10 CÁLCULOS

10.1 Se calcula el contenido de agua del material con la fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_c} \times 100 \quad [121.1]$$

Donde: w: Contenido de agua, %;

W_1 : Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

W_2 : Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

- W_c : Masa del recipiente, g;
- W_w : Masa del agua, g;
- W_s : Masa de las partículas sólidas, g.

11 INFORME

11.1 El informe (hoja de resultados) debe incluir lo siguiente:

- 11.1.1** Identificación de la muestra (material), indicando número de perforación, número de muestra, número de ensayo, número de recipiente, etc.
- 11.1.2** El contenido de agua del espécimen, aproximado al 1 % para el Método A o al 0.1 % para el Método B, como resulte apropiado de acuerdo con la masa mínima del espécimen. Si esta norma de ensayo se está empleando para obtener un insumo requerido por otra norma, el contenido del agua del espécimen se debe reportar de conformidad con el valor requerido por el método de prueba para el cual se requiere el valor del contenido del agua. En la norma ASTM D 6026 se presenta una guía en relación con los dígitos significativos, especialmente si el valor obtenido por medio de este método de ensayo va a ser usado para calcular otras relaciones, tales como el pesounitario o la densidad. Por ejemplo, si se desea expresar el peso unitario seco redondeado a 0.1 lbf/pie³ (0.02 kN/m³), podrá ser necesario el empleo de una balanza de mayor precisión de lectura o usar un espécimen con mayor masa para obtener las cifras significativas de la masa de agua, de manera de determinar el contenido del agua con el número requerido de dígitos significativos. Además, los dígitos significativos recomendados en la norma ASTM D 6026 pueden requerir un incremento cuando se vayan a calcular relaciones de fase que requieran cuatro dígitos significativos.
- 11.1.3** Se debe indicar si el espécimen de muestra tuvo una masa menor que la mínima especificada en el numeral 7.2.
- 11.1.4** Se debe indicar si el espécimen de muestra contenía más de un tipo de suelo (estratificado, etc.).

11.1.5 Se debe indicar si se empleó una temperatura de secado diferente de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

11.1.6 Se debe indicar si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido de espécimen de prueba.

11.2 Al informar el contenido del agua en tablas, figuras, etc., se deberá señalar todo dato que no haya sido obtenido de acuerdo con los requisitos de esta norma como, por ejemplo, el incumplimiento de los requisitos de masa, de clase de balanza o de temperatura de secado, o si se excluyó alguna porción del espécimen de prueba.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de los materiales ensayados según esta norma. No es factible, o resulta demasiado costoso, comprometer diez o más laboratorios que participen actualmente en un programa de ensayo a petición. Cualquier variación que presenten los datos se puede imputar a variaciones en las muestras, en el desempeño del operario o en el laboratorio donde se realiza el ensayo.

12.2 *Sesgo* – No hay ningún valor aceptado como referencia para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2216–10