

MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE LOS SUELOS USANDO EL HORNO MICROONDAS

INV E – 135 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo describe procedimientos para determinar el contenido de agua (humedad) de suelos, secándolos en incrementos en un horno microondas.
- 1.2 Este método de ensayo se puede usar en reemplazo del descrito en la norma INV E–122, cuando se deseen obtener resultados con mayor rapidez, con el fin de acelerar la realización de otras fases del control y siempre que se consideren aceptables unos resultados algo menos precisos.
- 1.3 Cuando haya dudas sobre la precisión de los dos métodos, se debe preferir el método descrito en la norma INV E–122.
- 1.4 Este método de ensayo es aplicable a la mayor parte de los suelos. Para algunos, tales como aquellos con alto contenido de halosita, mica, montmorilonita, yeso u otros materiales hidratados, suelos altamente orgánicos, o suelos en los cuales en agua de los poros contiene sólidos disueltos (tales como sal en depósitos marinos), este método de ensayo puede dar resultados del contenido de agua carentes de confiabilidad.
- 1.5 Esta norma reemplaza la norma INV E–135–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 Las definiciones aplicables de manera específica a esta norma son las siguientes:
 - 2.1.1 *Calentamiento por microondas* – Proceso por medio del cual se induce calor en un material debido a la interacción entre las moléculas dipolares del material y un campo eléctrico alterno de alta frecuencia. Las microondas son ondas electromagnéticas cuya longitud de onda varía de 1 mm a 1 m.

- 2.1.2** *Contenido de agua* – Relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua libre o de poros existente en una masa de suelo y la masa de las partículas sólidas de éste.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se coloca un espécimen de suelo húmedo dentro de un recipiente apropiado y se determina su masa. Se coloca luego, en un horno microondas, donde se somete a un intervalo de secado, se retira del horno y se determina de nuevo su masa. El procedimiento se repite hasta que la masa sea aproximadamente constante.
- 3.2** La diferencia entre la masa del espécimen húmedo y la del espécimen seco es considerada como la de agua contenida originalmente en el espécimen. El contenido de agua se determina dividiendo la masa de agua por la masa del espécimen seco y multiplicando por 100. Para un determinado suelo y tamaño de muestra, el tiempo para alcanzar una masa constante se puede anotar y usar como un tiempo de secado para posteriores ensayos, empleando un espécimen del mismo suelo y del mismo tamaño.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** El contenido de agua de un suelo se usa para toda práctica de ingeniería geotécnica, ya sea en el laboratorio o en el terreno. El empleo del método descrito en la norma INV E-122 para determinar la humedad puede ser muy lento y hay ocasiones en las cuales es necesario el uso de un método más expedito. El empleo de un horno microondas es uno de estos métodos.
- 4.2** La principal objeción al empleo del horno microondas para determinar el contenido de agua, ha sido la posibilidad de sobrecalentar el suelo produciendo, por lo tanto, un contenido de agua más alto que el que se determinaría con el método INV E-122. A pesar de que la posibilidad de sobrecalentamiento no se elimina, el procedimiento de secado por incrementos descrito en esta norma minimizará sus efectos. Algunos hornos microondas poseen sistemas de ajuste para trabajar con una potencia inferior a la máxima, los cuales se pueden usar, también, para reducir el sobrecalentamiento.

- 4.3** El comportamiento de un suelo, cuando es sometido a la energía de un microondas, depende de su composición mineralógica y, por lo tanto, ningún procedimiento es aplicable para todo tipo de suelos. Por lo tanto, el procedimiento recomendado en esta norma se debe entender como una guía general cuando se use el horno microondas.
- 4.4** Este método es más apropiado para trabajar con material de tamaño menor a 4.75 mm. Se pueden ensayar partículas de mayor tamaño; sin embargo, se debe tener cuidado, por cuanto se aumenta la posibilidad de destrucción de las partículas.
- 4.5** El uso de éste método puede resultar inapropiado cuando se requieren resultados de alta precisión o cuando el ensayo que vaya a utilizar estos datos sea extremadamente sensible a las variaciones de humedad.
- 4.6** Debido a las altas temperaturas localizadas a las cuales se expone el espécimen en un horno microondas, se pueden alterar las características físicas del suelo. Puede ocurrir degradación de partículas individuales, junto con vaporización y transformaciones químicas. Por lo tanto, se recomienda que las muestras usadas en este método de ensayo no sean utilizadas para otros ensayos después de secadas.

5 EQUIPO

- 5.1** *Horno microondas* – Preferiblemente con una cámara de ventilación. El tamaño y la capacidad energética del horno dependen del uso al cual va a ser sometido. Hornos con control para variar la potencia y con rangos de potencia de entrada de alrededor de 700 W, han demostrado ser adecuados para este uso. Los controles de variación de potencia son importantes y reducen el potencial de sobrecalentamiento del espécimen de prueba.

Nota 1: Se han desarrollado hornos microondas equipados con escalas incorporadas y controles para el uso en el secado de suelos. Su uso es compatible con este método de ensayo.

- 5.2** *Balanza* – Balanza con una capacidad de 2000 g o mayor, con sensibilidad de lectura de 0.1 g.
- 5.3** *Recipientes para espécimen* – Recipientes adecuados, hechos de materiales no metálicos ni absorbentes, resistentes al choque térmico y no sujetos a cambios de masa o de forma al someterlos a calentamiento, enfriamiento y limpieza repetidos. Recipientes de porcelana para evaporación y recipientes de vidrio

de borosilicato resultan satisfactorios. Otros recipientes, como vasos o platos de papel, también han sido usados con éxito, pero pueden necesitar secado previo antes de ser usados.

- 5.4** *Utensilios para manipular los recipientes* – Un guante o sujetador, apropiado para sacar recipientes calientes del horno.
- 5.5** *Desecador* – Una cámara desecadora o recipiente hondo, de tamaño apropiado que contenga gel de sílice, fosfato de calcio anhidro o equivalente. Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar el momento en el cual necesita reposición.
- 5.6** *Disipador térmico* – Un material o líquido colocado en el microondas para absorber energía después de que la humedad ha sido sacada del espécimen de ensayo. El disipador térmico reduce la posibilidad de sobrecalentar el espécimen y dañar el horno. Se han usado con éxito vasos de precipitados llenos de agua y materiales que tienen un punto de ebullición mayor que el del agua, tales como aceites no inflamables. También, se han empleado ladrillos humedecidos.
- 5.7** *Implementos para agitación* – Espátulas, cuchillos y varillas de vidrio para cortar y revolver el espécimen antes y durante la prueba. Varillas cortas de vidrio han resultado útiles para agitar, y se pueden dejar en el recipiente durante la prueba, reduciendo la posibilidad de pérdida de suelo debido a su adhesión al dispositivo para agitar.

6 PELIGROS

- 6.1** Los recipientes calientes se deben manejar con sujetadores adecuados. Algunos tipos de suelos pueden retener un calor considerable y podrían dar lugar a serias quemaduras como resultado de un manejo inapropiado.
- 6.2** Se recomienda una apropiada protección para los ojos, debido a la posibilidad de fragmentación de partículas durante el calentamiento, la mezcla, o las determinaciones de masa.
- 6.3** Se deben observar todas las precauciones de seguridad indicadas por el fabricante del microondas. Los empaques de sellado y el dispositivo de cierre de la puerta del horno se deben mantener limpios y en buen estado.

Nota 2: El empleo de un horno microondas para secar suelos puede ser considerado abusivo por algunos fabricantes y constituir causa para la anulación de la garantía. El secado de suelos que contengan materiales metálicos puede causar daño al horno. Los suelos altamente orgánicos o con contenido de aceites y carbón se pueden encender y quemar durante el secado en el horno microondas. La operación continuada del horno después de que el suelo haya alcanzado una masa constante, también puede ser causa de daños o de falla prematura del horno microondas.

Nota 3: Cuando se comenzaron a utilizar los hornos microondas, se informó que ellos afectaban los marcapasos cardiacos, sobre todo debido a las frecuencias de operación de los dos dispositivos. Desde esa época, los marcapasos fueron rediseñados y los microondas ya no se miran como un riesgo para la salud. No obstante, es recomendable poner advertencias cuando un microondas se encuentre en funcionamiento.

- 6.4** Como algunos suelos se pueden encender durante el secado en el horno microondas, se debe disponer de medios idóneos para apagar las llamas y prevenir lesiones del operario y daños en el horno durante la ejecución del ensayo. Los humos emitidos por suelos o desechos contaminados pueden ser tóxicos y, por lo tanto, el horno debe poseer un adecuado sistema de ventilación.
- 6.5** Es conveniente tapar los recipientes con los especímenes, para evitar lesiones al operario y daños al horno a causa de fragmentación por explosiones de vapor o agregados quebradizos. Toallas de papel grueso han dado resultado satisfactorio. Esto también previene que la muestra se disperse dentro del horno durante el ciclo de secado.
- 6.6** No se deben usar recipientes metálicos dentro de un horno microondas, por cuanto se pueden producir chispas y daños en el aparato.
- 6.7** Se deben seguir al pie de la letra las instrucciones del fabricante al instalar y operar el horno.
- 6.8** Colocar directamente el espécimen de prueba sobre la bandeja de vidrio del horno microondas se desaprueba enfáticamente. El calentamiento concentrado del espécimen puede ocasionar la fragmentación de la bandeja de vidrio, pudiendo causar lesiones al operario.

7 MUESTRAS

- 7.1** Antes del ensayo, los materiales se deben mantener almacenados en recipientes no corrosibles, cerrados herméticamente, a una temperatura entre 3 y 30 ° C, en un área alejada de los rayos solares.

- 7.2** La determinación del contenido de agua se debe hacer tan pronto como sea posible luego del muestreo, especialmente si los recipientes utilizados para almacenar las muestras son bolsas sin sellar o materiales potencialmente corrosibles (tales como tubos de pared delgada, tarros de pintura o recipientes semejantes).

8 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 8.1** Para determinaciones del contenido de agua como parte de la ejecución de otro ensayo, se deben emplear el proceso de selección del espécimen, la cantidad de material por muestrear y las técnicas especificadas en la norma que rige ese otro ensayo. Si allí no se indica una masa mínima de muestra, aplicarán los valores dados en la Tabla 135 - 1.
- 8.2** La manera de seleccionar un espécimen y su masa requerida para el ensayo dependen, básicamente, del propósito del ensayo, del tipo de material que se va a ensayar y del tipo de muestra (espécimen de otra prueba, bolsa, tubo partido y otros semejantes). En otros casos, sin embargo, se debe seleccionar una porción representativa del total de la muestra. Si se encuentra una capa delgada de suelo o más de un tipo de suelo, se selecciona una porción promedio y/o porciones individuales, anotándose en el informe de resultados cuál fue la porción(es) ensayada(s).
- 8.2.1** Para muestras grandes, se selecciona el espécimen de prueba del material después de que éste haya sido mezclado completamente. La masa de material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la Tabla 135 - 1.

Tabla 135 - 1. Masa del espécimen de prueba

TAMIZ EN EL CUAL EL PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO NO ES MAYOR DEL 10% DE LA MUESTRA	MASA RECOMENDADA g
19 mm (3/4")	500 – 1000
4.75 mm (No. 4)	300 – 500
2.0 mm (No. 10)	100 – 200

8.2.2 Para muestras pequeñas, se selecciona una porción representativa, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

8.2.2.1 Para suelos no cohesivos, se mezcla totalmente el material y se selecciona en seguida un espécimen de prueba con una masa de material húmedo de acuerdo con la Tabla 135 - 1.

8.2.2.2 Para suelos cohesivos, se retiran aproximadamente 3 mm de material de la periferia expuesta de la muestra y se parte el resto del espécimen por la mitad (para ver si el material está estratificado), antes de seleccionar el espécimen para el ensayo. Si el suelo es estratificado, véase el numeral 8.2.

8.3 La masa del material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la Tabla 135 - 1 si se notan partículas de grano grueso. Partir o cortar las muestras cohesivas en fragmentos de aproximadamente 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") acelerará el secado y evitará la formación de costras o el sobrecalentamiento de la superficie mientras se seca el interior.

8.4 El uso de un espécimen de prueba de masa menor que la indicada en la tabla 1 requiere discreción, aunque puede ser adecuado para el propósito de la prueba. Cuando se utilice una masa más pequeña, se debe dejar constancia de ello en el informe.

Nota 4: En muchos casos, al trabajar con una muestra pequeña que contenga una partícula relativamente grande de grano grueso, es apropiado no incluir esta partícula en el espécimen de prueba. Cuando esto suceda, se hará la notación pertinente en el informe de resultados.

8.5 Cuando el resultado de la determinación de humedad usando este método vaya a ser comparado con el resultado de otro método, tal como el INV E-122, se debe obtener una segunda muestra durante la selección. Se debe tener la precaución necesaria para asegurar que la segunda muestra tenga la misma humedad que la primera. La muestra comparativa debe ser procesada tan pronto como sea posible, para evitar pérdida de humedad.

9 ACONDICIONAMIENTO DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

9.1 Los especímenes se deben preparar y procesar tan pronto como sea posible, para minimizar pérdidas de humedad no registradas, lo que se traduciría en

determinaciones erróneas de contenido de agua.

- 9.2** El suelo se debe partir o cortar en terrones pequeños para ayudar a la obtención de un secado más uniforme del espécimen.
- 9.3** Si los especímenes no se van ensayar inmediatamente, se deben guardar en recipientes sellados para prevenir pérdidas de humedad.

10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se determina la masa de un recipiente o plato limpio y seco y se anota (M_c).
- 10.2** Se coloca el espécimen de suelo en el recipiente e inmediatamente se determina y anota la masa del conjunto (M_1).
- 10.3** Se coloca el recipiente con el suelo en el horno microondas con el disipador térmico y se prende el horno por tres minutos. Si la experiencia con un tipo particular de suelo y un tamaño de espécimen indica que se puede usar un tiempo inicial de secado más corto o más largo sin sobrecalentamiento, se podrán ajustar el tiempo inicial de secado y los subsiguientes.

Nota 5: Los tres minutos fijados inicialmente son para un mínimo de masa de 100 g como se muestra en la Tabla 135 - 1. No se recomienda usar muestras más pequeñas en el horno microondas, puesto que el secado puede ser demasiado rápido para un control apropiado. Cuando se necesitan muestras muy grandes para representar suelos conteniendo partículas grandes de grava, la muestra se debe fraccionar y secar las fracciones por separado, hasta obtener la masa seca de la muestra total.

Nota 6: La mayoría de los hornos permiten la variación de la potencia. Para la mayoría de los suelos que se van a ensayar, el ajuste en "alto" debe ser satisfactorio; sin embargo, para algunos suelos este ajuste puede resultar demasiado severo. El ajuste apropiado sólo se puede determinar con el uso y la experiencia con un horno en particular, para varios tipos de suelos y tamaños de muestra. El rendimiento energético del horno microondas puede decrecer con la edad y el uso; por lo tanto, para cada horno se deben establecer ajustes periódicos en la potencia y en el tiempo de secado.

- 10.4** Después de que el tiempo inicial de secado haya terminado, se retira el recipiente con el suelo del horno, se pesa el espécimen inmediatamente o se coloca en un desecador para enfriarlo y permitir su manipulación y prevenir daños en la balanza. Se determina y registra la masa.
-
- 10.5** Usando una espátula pequeña, un cuchillo, o una varilla corta de vidrio, se mezcla cuidadosamente el suelo, tomando especial precaución para no perder ninguna partícula de él.
- 10.6** Se regresa el recipiente con el suelo al horno y se calienta de nuevo por 1 minuto.

- 10.7** Se repiten los pasos 10.4 a 10.6 hasta que el cambio entre dos determinaciones consecutivas de masa tenga un efecto insignificante en el contenido de humedad calculado. Un cambio de 0.1 % o menos de la masa húmeda inicial de suelo, se considera aceptable para la mayoría los especímenes.
- 10.8** La determinación final de masa (M_2) se usa para calcular el contenido de agua. Este valor se obtiene inmediatamente después del ciclo de calentamiento o, si la determinación de masa va a ser retrasada, después del enfriamiento en el desecador.
- 10.9** Cuando se contempla hacer pruebas rutinarias sobre suelos similares, los tiempos de secado y el número de ciclos se pueden normalizar para cada horno. Cuando se utilicen tiempos y ciclos normalizados, ellos se deben verificar periódicamente, para asegurar que los resultados de la masa seca sean equivalentes a los obtenidos siguiendo el procedimiento recomendado en el numeral 10.7.

Nota 7: El calentamiento por incrementos, junto con la agitación, minimizará el sobrecalentamiento y el secado localizado del suelo, obteniéndose resultados más consistentes con los que se obtienen cuando se utiliza la norma INV E-122. Los incrementos de tiempo recomendados han resultado apropiados para casi todos los especímenes con partículas que pasan el tamiz No. 4 y con una masa aproximada de 200 g; sin embargo, pueden no ser apropiados para todos los suelos y hornos y, por lo tanto, siempre será necesario un ajuste.

Nota 8: Los especímenes utilizados en el ensayo deben ser descartados y no se podrán emplear en ningún otro ensayo debido a probables roturas de partículas, cambios químicos, fusión o pérdidas de constituyentes orgánicos.

11 CÁLCULOS

- 11.1** El contenido de agua en el suelo se calcula con la fórmula:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_c} \times 100 \quad [133.1]$$

Donde: w : Contenido de agua, %;

M_1 : Masa del recipiente más suelo húmedo, g;

M_2 : Masa del recipiente más suelo seco, g;

M_c : Masa del recipiente, g;

M_w : Masa del agua, g;

M_s : Masa de los sólidos, g.

12 INFORME

12.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- 12.1.1** Identificación de la muestra (material) ensayada, con el número de la perforación, número de la muestra, número del ensayo, etc.
- 12.1.2** Contenido de agua del espécimen, aproximado a 0.1 % para el Método A o 1% para el Método B, descritos en el numeral 7.2 y en la Tabla 122 - 1 de la norma INV E-122.
- 12.1.3** Indicar si el espécimen de prueba tiene una masa menor que la mínima indicada en la Tabla 135 - 1.
- 12.1.4** Indicar si el espécimen contiene más de un tipo de suelo.
- 12.1.5** Relacionar cualquier material excluido del espécimen de prueba.
- 12.1.6** Indicación del tiempo y del ajuste del periodo inicial de secado y de los subsecuentes períodos de secado en incrementos.
- 12.1.7** Masa del espécimen antes de comenzar el secado y la obtenida tras cada secado parcial.
- 12.1.8** Comparación de resultados, si el contenido de agua se determinó también por otro método.
- 12.1.9** Identificación del microondas utilizado.
- 12.1.10** Mención de los tiempos y ciclos usados, si se empleó un procedimiento normalizado para el secado

13 PRECISIÓN Y SESGO

- 13.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, dada la naturaleza de los materiales ensayados mediante este método. A la fecha no ha resultado ni técnica ni económicamente posible, encontrar 10 o más laboratorios para elaborar un programa de ensayo en equipo.
- 13.2** *Sesgo* – No hay un valor de referencia aceptado para este método de ensayo; por consiguiente, no se puede determinar el sesgo.

14 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4643 – 08