

## **DETERMINACIÓN DE CONTENIDO GRAVIMETRICO DE AGUA. HORNO DE MICROONDAS**

### **1 - ALCANCE**

**1.1** - Esta Norma describe y regula el ensayo para determinar el contenido de agua (humedad) mediante el secado del suelo en un horno de microondas.

**1.2** - Este método no pretende reemplazar el método convencional descrito en la Norma UG 08 (ASTM D2216); es más bien un suplemento a éste, que permite obtener resultados más rápidos cuando se requieran o se deseen para acelerar otras fases del ensayo. El método de ensayo UG 08 (ASTM D2216) debe ser utilizado como el método de comparación para las verificaciones de exactitud y corrección.

**1.3** - Cuando haya dudas sobre la exactitud entre este método y el método UG 08 (D2216), se tomara el método UG 08 como el método de referencia.

**1.4** - Este método es aplicable para la mayoría de los tipos de suelos. Para algunos suelos como los que contienen cantidades importantes de halloysita, mica, montmorillonita, yeso u otros materiales hidratados, suelos orgánicos o suelos en los que el agua en los poros contienen sólidos disueltos (como sal en el caso de los depósitos marinos), este método puede dar valores del contenido de agua erróneos.

**Nota 1:** No obstante las especificaciones sobre precisión contenidas en esta norma, la precisión de este método depende de la competencia del personal que lo lleva a cabo y la disponibilidad de equipo y de instalaciones utilizadas. Las instituciones y laboratorios que cumplen los criterios de la Norma UG 08 (ASTM D3740) generalmente están en condiciones de realizar este ensayo en forma competente y efectiva. Los usuarios de este método de ensayo deben tener en cuenta que el cumplimiento de la Norma UG 08 (ASTM D3740), no asegura por sí mismo un ensayo confiable. El ensayo confiable depende de muchos factores. La Norma UG 08 (ASTM D3740) proporciona un medio de evaluar algunos de esos factores.

### **2 - TERMINOLOGÍA**

#### **2.1 - Definiciones**

**2.1.1** - Todas las definiciones están de acuerdo con la terminología de la norma ASTM D653.

#### **2.2 - Descripción de términos específicos para esta norma**

**2.2.1** - *Calentamiento en horno de microondas:* proceso mediante el cual el calor se induce dentro del material debido a la interacción entre moléculas dipolares del material y un campo eléctrico alternante de alta frecuencia. Las microondas son ondas electromagnéticas cuya longitud se encuentra en el intervalo entre 1mm y 1m.

**2.2.2** - *Contenido gravimétrico de agua (de un material):* La relación, de la masa de agua contenida en los poros de suelos o rocas respecto de la masa sólida de las partículas en ese material expresada como un porcentaje. Es común como sinónimo la expresión humedad gravimétrica.

### **3 - RESUMEN**

**3.1** - Una muestra de suelo húmedo se coloca en un recipiente adecuado y se determina su masa. Luego es colocado en un horno microondas y sometido a un intervalo de secado,

después del cual se retira del horno y se determina su nueva masa. Este procedimiento se repite hasta que la masa llega a ser prácticamente constante.

**3.2** - La diferencia entre la masa del espécimen húmedo y de la muestra seca se considera como la masa de agua contenida originalmente en la muestra. El contenido de agua se determina dividiendo la masa de agua por la masa seca del suelo y multiplicando el resultado por 100. El tiempo necesario para conseguir una masa constante para un suelo dado y para un tamaño de muestra debe ser anotado y usado como un tiempo mínimo de secado para ensayos posteriores en los que se utilice el mismo suelo y el mismo tamaño de muestra.

#### **4 - SIGNIFICADO Y USO**

**4.1** - El contenido de agua de un suelo se usa en la práctica en ingeniería geotécnica tanto en el laboratorio como en el campo. El uso del método de ensayo UG 08 (ASTM D2216) para la determinación del contenido de agua puede ser muy exigente en tiempo y hay ocasiones en que es deseable un método más expedito. El uso de un horno microondas es uno de tales métodos.

**4.2** - La principal objeción para el uso del horno microondas para la determinación del contenido de agua, ha sido la posibilidad de sobrecalentar el suelo y que por ello resulte un contenido de agua mayor del que sería determinado por el método UG 08 (ASTM D2216). Aunque no se elimina esta posibilidad, el procedimiento de secado incremental descrito en este método de ensayo minimiza sus efectos. Algunos hornos microondas tienen ajustes a menor potencia, que pueden ser utilizados también para reducir el sobrecalentamiento.

**4.3** - El comportamiento de un suelo cuando se somete a la energía del microondas depende de su composición mineralógica y como resultado no hay un procedimiento único aplicable para todos los tipos de suelo. En consecuencia el procedimiento recomendado en este métodos de ensayo servirá como una guía cuando se use el horno microondas.

**4.4** - Este método es mas indicado para el material que pase la malla #4. Pueden ser ensayadas partículas con un tamaño mayor; sin embargo debe tenerse cuidado porque hay una mayor probabilidad de desintegración de las partículas.

**4.5** - El uso de este método puede no ser apropiado cuando se necesiten resultados con una alta precisión o exactitud, o el ensayo en el que se utilicen los datos resultantes sea extremadamente sensible a las variaciones de humedad.

**4.6** - Debido a las altas temperaturas a las que está expuesta la muestra en el calentamiento en horno microondas pueden ser alteradas las características físicas del suelo. Puede ocurrir la desagregación de partículas individuales conjuntamente con procesos de vaporización o de transición química. En consecuencia se recomienda que las muestras utilizadas en este método de ensayo no sean utilizadas para otros ensayos subsecuentes al secado.

#### **5 - EQUIPOS**

**5.1** - *Horno microondas*: Se utilizará un horno microondas preferiblemente con una cámara ventilada. El tamaño y potencia del horno depende del uso que se le vaya a dar. Para este uso son adecuados hornos con controles de potencia variable y una potencia de entrada de alrededor de 700 vatios. Los controles de potencia variable reducen el potencial de sobrecalentamiento de la muestra. Han sido desarrollados los hornos de microondas equipados con balanzas incorporadas y controles de computadora para el secado de suelos. Su uso es compatible con este método de ensayo.

**5.2 - Balanzas:** con una capacidad de 2000 g, o mayor, que cumplan las especificaciones de la norma ASTM D4753 para una balanza con una sensibilidad de 0.1 g.

**5.3 - Taras:** recipientes fabricados de una material no metálico y no absorbente, resistente al choque térmico y que no estén sometidos a cambios de masa o de tamaño cuando se someten a calentamiento, enfriamientos o limpieza repetidamente. Los platos de evaporación de porcelana y los platos normales de vidrio de borosilicato se comportan satisfactoriamente. Otros recipientes como platos o tazas de papel han sido utilizadas también aceptablemente; sin embargo pueden requerir un presecado antes de su utilización en este procedimiento.

**5.4 - Equipo para el manejo de las cápsulas:** guantes o elementos similares adecuados para retirar los recipientes calientes del horno.

**5.5 - Desecador:** cámara de secado o un recipiente de tamaño adecuado que contenga gel de sílice, sulfato de calcio anhidro, o una sustancia equivalente. Es preferible utilizar un elemento desecante que cambie de color para indicar que necesita ser cambiado o reconstituido.

**5.6 - Sumidero de calor:** material que se coloca en el horno microondas para absorber energía después que se ha extraído la humedad de la muestra. El sumidero de calor reduce la posibilidad de sobrecalentamiento de la muestra y daño al horno. Han sido utilizados con todo éxito beakers llenos con agua y materiales que tengan un punto de ebullición mayor que el del agua como aceites no inflamables. También se han utilizado ladrillos húmedos.

**5.7 - Mezcladores:** espátulas, cuchillos plásticos, varillas de vidrio para cortar y agitar la muestra antes y durante el ensayo. Se ha encontrado que las barras cortas de vidrio son útiles para agitar y mezclar el suelo y pueden dejarse en el recipiente con la muestra durante el ensayo reduciendo la posibilidad de la pérdida de muestra debido a la adhesión a la herramienta de mezclado.

## **6 - PELIGROS**

**6.1 -** Maneje los recipientes calientes con guantes u otro elemento adecuado para el efecto. Algunos tipos de suelos pueden retener considerable cantidad de calor y ocasionan quemaduras graves si se manejan inadecuadamente.

**6.2 -** Se recomienda una adecuada protección para los ojos debido a la posibilidad de que ocurra una desintegración violenta de partículas durante el calentamiento, la mezcla o las determinaciones de la masa de suelo.

**6.3 -** Deben ser observadas todas las precauciones de seguridad dadas por el fabricante de los hornos de microondas. Se prestará particular atención a mantener el sello de la puerta y las cerraduras limpias y en una buena condición de trabajo.

**6.4 -** El uso de un horno de microondas para el secado de suelos puede considerarse abusivo por los fabricantes y constituir una causa de anulación de las garantías. El secado de suelos que contengan materiales metálicos puede causar efecto de arco en el horno. Los suelos con un alto contenido orgánico y los suelos que contienen aceite y carbón pueden encenderse y arder durante el secado en el horno microondas. Si el horno de microondas continúa en operación después de que el suelo ha alcanzado una masa constante puede también causar daños prematuramente al horno de microondas.

**6.5 -** Cuando fueron introducidos por primera vez se afirmó que los hornos de microondas afectaban los reguladores de ritmo cardíaco, (marcapasos) debido principalmente a las frecuencias de operación de uno y otros aparatos. A partir de ese entonces los reguladores de

ritmo cardíaco han sido rediseñados y los hornos microondas ya no son considerados como una amenaza a la salud. Sin embargo, es conveniente colocar avisos de que un horno microondas se encuentra en uso.

**6.6** - Los suelos con un alto contenido orgánico, los suelos que contienen aceite, u otros contaminantes pueden encenderse y arder durante al secado en el horno de microondas. Deben mantenerse disponibles los medios para sofocar las llamas con el objeto de prevenir heridas al operador o daño al horno. Los vapores y humos resultantes de suelos contaminados o basuras pueden ser tóxicos y en consecuencia el horno debe estar ventilado adecuadamente.

**6.7** - Debido a la posibilidad de explosiones de gases o a los esfuerzos térmicos que desintegren agregados porosos o frágiles debe colocarse una cubierta sobre el recipiente con la muestra para prevenir heridas al operador o daño al horno. Se ha encontrado que una cubierta de toalla de papel pesado es satisfactoria. Esta también previene el derrame de la muestra en el horno durante el ciclo de secado.

**6.8** - No utilice recipientes metálicos en un horno microondas debido a que puede dar lugar a un efecto de arco y daños al horno.

**6.9** - Observe las instrucciones de operación del fabricante cuando instale y use el horno.

**6.10** - No se recomienda en absoluto la utilización de la bandeja de vidrio para colocar la muestra directamente. El calentamiento concentrado de la muestra puede dar lugar a la desintegración de la bandeja de vidrio y causar heridas al operador.

## **7 - MUESTRAS**

**7.1** - Guarde las muestras almacenadas antes del ensayo en recipientes inoxidables herméticos a una temperatura entre 3 y 30°C en una área en la que no tenga contacto directo con la luz del sol.

**7.2** - La determinación del contenido de agua debe ser llevada a cabo tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan recipientes potencialmente oxidables (como los tubos delgados de acero, los tarros de pintura y similares) o bolsas de muestreo sin sellar.

## **8 - ESPECIMEN PARA EL ENSAYO**

**8.1** - Si el contenido de agua se determina como parte de otros ensayos debe seguirse el proceso de selección de la muestra y las técnicas especificadas en tales ensayos.

**8.2** - La forma en la que se selecciona el espécimen para el ensayo y la masa requerida dependen básicamente del objetivo del ensayo, el tipo de material analizado y el tipo de muestra (muestra de otro ensayo, muestra de bolsa, de tubo partido, u otras). En todos los casos sin embargo deberá seleccionarse una porción representativa de la muestra total. Si se encuentra un suelo estratificado, o más de un tipo de suelo, seleccione una porción media o porciones individuales, o ambos tipos, y anote que porción o porciones fueron analizadas en el informe de los resultados.

**8.2.1** - Si se trata de muestras a granel, seleccione la muestra para el ensayo del material después de que ha sido mezclado completamente. La masa del material húmedo debe ajustarse a los valores dados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tamaños recomendados para secado en horno de microondas

Abertura del tamiz que retiene menos del 10% de la muestra	Masa recomendada de la muestra húmeda (g)
2 mm (#10)	100-200
4.75 mm (#4)	300-500
19 mm	500-1000

Para muestras pequeñas, seleccione una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

**8.2.1.1** - Si se trata de suelos no cohesivos, mezcle completamente el material, y luego seleccione un espécimen de ensayo que tenga una masa de material húmedo de acuerdo con la tabla 1.

**8.2.1.2** - Para suelos cohesivos retire aproximadamente 3 mm del material de la periferia expuesta de la muestra y corte el resto de la muestra por la mitad (para verificar si el material es estratificado) antes de seleccionar el espécimen para el ensayo. Si el suelo es estratificado siga las instrucciones del numeral 9.2. La masa del material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la tabla 1, si se notan partículas gruesogranulares. Si se rompe o se corta la muestra cohesiva en partículas de aproximadamente 6 mm, se acelerará el secado y se prevendrá la formación de costras o el sobrecalentamiento de la superficie mientras se seca el interior.

**8.3** - El uso de un espécimen para el ensayo más pequeña que la masa mínima indicada previamente, requiere el uso de un buen criterio aunque puede ser apropiada para el objetivo del ensayo. Debe anotarse en el informe de resultados cualquier muestra con una masa menor que la indicada previamente.

**8.4** - En muchos casos cuando se trabaja con una muestra pequeña que contiene una o más partículas gruesogranulares relativamente grandes es conveniente no incluir esta partícula en la muestra del ensayo. Si esto ocurre debe anotarse en el informe de resultados. Cuando se comparan los resultados de una determinación del contenido de agua (humedad) por este método de ensayo con los resultados de otro método, como el método de la Norma UG 08 (ASTM D2216), debe obtenerse una segunda muestra durante la selección de la muestra para analizarla por este método. Deben tomarse todas las precauciones para obtener una muestra con el mismo contenido de agua (humedad). La muestra de comparación debe ser procesada tan rápidamente como sea posible para evitar las pérdidas de humedad.

## 9 - PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

**9.1** - Prepare y procese las muestras tan rápidamente como sea posible para minimizar las pérdidas de humedad no registradas que pueden dar lugar a determinaciones erróneas del contenido de agua.

**9.2** - Rompa o corte el suelo en agregados de tamaño pequeño para ayudar a obtener un secado más uniforme de la muestra.

**9.3** - Si las muestras no se van a analizar inmediatamente almacénelas en recipientes herméticos para prevenir la pérdida de humedad.

## 10 - PROCEDIMIENTO

**10.1** - Determine y registre la masa de un recipiente seco y limpio.

**10.2** - Coloque el espécimen de suelo en el recipiente y registre inmediatamente la masa del recipiente y el suelo.

**10.3** - Coloque el suelo y el recipiente en un horno microondas con el sumidero de calor y encienda el horno durante 3 minutos. Si la experiencia con un tipo particular de suelo y un tamaño de muestra indican que pueden utilizarse un tiempo más corto o más largo sin sobrecalentamiento, deben ajustarse los tiempos de secado inicial y subsiguientes.

**10.4** - El tiempo inicial de 3 minutos es apropiado para una masa de 100g como se indica en la tabla 1. No se recomienda el ensayo de muestras más pequeñas cuando se utiliza el horno microondas debido a que el secado puede ser demasiado rápido para un adecuado control. Cuando se necesitan muestras muy grandes para representar el suelo que contiene partículas grandes de grava puede ser necesario dividir la muestra en segmentos y secarlos separadamente para obtener la masa seca de la muestra total.

**10.5** - La mayoría de los hornos tienen un ajuste variable de potencia. Para la mayoría de los suelos analizados puede ser satisfactorio poner el selector de potencia en HIGH (alto); sin embargo para algunos suelos tal ajuste puede ser muy fuerte. Un ajuste adecuado se puede determinar solo mediante el uso y la experiencia con un horno particular para varios tipos de suelos y tamaños de muestra. La potencia de salida de un horno microondas puede disminuir con el tiempo y el uso; en consecuencia, los ajustes y tiempo de secado deben ser establecidos para cada horno.

**10.6** - Después de que ha pasado el tiempo fijado inicialmente, retire el recipiente y el suelo del horno. Pese la muestra inmediatamente o colóquela en un secador para enfriarla y permitir su manejo y prevenir daños en la balanza. Determine y registre la masa.

**10.7** - Mezcle cuidadosamente el suelo con una espátula pequeña, un cuchillo o una varilla de vidrio, teniendo especial cuidado en que no se pierda nada del suelo.

**10.8** - Lleve el suelo y el recipiente nuevamente al horno y caliéntelo en el horno durante un minuto.

**10.9** - Repita los pasos descritos en los numerales 11.4 - a 11.6 -, hasta que el cambio entre dos determinaciones de masa consecutivos tenga un efecto insignificante en el contenido de humedad calculado. Un cambio del 0.1% o menos de la masa húmeda inicial del suelo es aceptable para la mayoría de las muestras.

**10.10** - Use la determinación final de la masa para el cálculo del contenido de agua; obtenga este valor inmediatamente después del ciclo de calentamiento o, si la determinación de masas se va a demorar, después de enfriarlo en un secador.

**10.11** - Cuando se espera hacer un análisis rutinario de suelos similares, los tiempos de secado y el número de ciclos pueden ser estandarizados para cada horno. Cuando se utilizan tiempos y ciclos de secado estandarizados debe hacerse una verificación periódica para asegurar que los resultados de la determinación de la masa final es equivalente al procedimiento descrito en el numeral 11.7 -.

**10.12** - El calentamiento incremental, conjuntamente con la mezcla o agitación, minimiza el sobrecalentamiento y el secado localizado del suelo dando en consecuencia resultados más consistentes con los resultados obtenidos al usar el método de la Norma UG 08 (ASTM D2216). Los incrementos de tiempo recomendados son adecuados para la mayoría de las muestras que tienen partículas que pasan por el tamiz #4 y con una masa de aproximadamente 200g. Sin embargo estos incrementos de tiempo pueden no ser apropiadas para todos los suelos y hornos, y puede ser necesario los correspondientes ajustes.

**10.13** - Las muestras para la determinación del contenido de agua, deben ser descartadas después del ensayo y no se usarán en otros ensayos debido al rompimiento de partículas, cambios o pérdidas químicas, la fusión o las pérdidas de constituyentes orgánicos.

## **11 - CÁLCULOS**

**11.1** - Calcule el contenido del suelo como sigue:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100 = \frac{m_4}{m_5} \times 100$$

donde:

- w: contenido de agua (%)
- m1: masa de la tara y el espécimen húmedo.
- m2: masa de la tara y la muestra seca.
- m3: masa de la tara.
- m4: masa de agua.
- m5: masa de las partículas sólidas.

## **12 - INFORME**

**12.1** - El informe debe incluir:

- Identificación de la muestra (material) que se está analizando por número de sondeo, número de muestra, número de ensayo, etc.
- El contenido de agua de la muestra aproximado al 0.1 o el 1% dependiendo del objetivo el ensayo.
- Indique si la muestra para el ensayo tiene una masa menor que el mínimo indicado en la tabla 1.
- Indique si la muestra para el ensayo contiene más de un tipo de suelo (estratificado y similares).
- Indique si fue excluido algún material de la muestra el ensayo (por tamaño, cantidad, capas o secuencias de capas).
- Tiempo y ajuste del período inicial de secado y los períodos subsecuentes de secado incremental.
- La masa inicial de la muestra de ensayo antes del secado y la masa después de los períodos del secado incremental.
- Identificación de los ensayos de comparación si se llevaron a cabo y el método de ensayo utilizado.
- La identificación del horno microondas y los ajustes de secado y los ciclos utilizados cuando se utiliza un secado estandarizado.

**12.2** - La determinación de contenido de agua llevados a cabo de acuerdo con el método de la Norma D2216, u otros métodos, pueden ser registrados en el mismo informe. Este requerimiento no es obligatorio pero puede ser conveniente cuando se comparan los resultados de los dos métodos.

### **13 - PRECISIÓN Y SESGO**

**13.1 - Precisión:** Los estudios sobre secado en microondas presentan unas precisiones promedias en un laboratorio individual, expresadas como un porcentaje del contenido de humedad del 0.96% o menos dependiendo del tipo de suelo, humedad inicial y tamaño de la muestra.

**13.2 - Sesgo:** Este método de ensayo no tiene sesgo debido a que los valores determinados pueden ser definidos solo en términos del método mismo, y no hay materiales, de referencia adecuados que hayan sido aceptados para determinar el sesgo. Los estudios para determinar el sesgo entre este método y el método de ensayo UG 08 (ASTM D2216) utilizando un horno de secado de convección indican que la diferencia media entre el valor del contenido de agua expresado como un porcentaje de la masa cuando se ensaya en un horno microondas y el horno de convección es de 0.24% para suelos micáceos (que tienen 5 a 25% de partículas de mica por masa) y 0.61% para otros suelos. La desviación estándar del valor de la diferencia entre el contenido de agua expresado como un porcentaje de la masa, por los métodos del horno microondas y el horno de convección es de 0.2% para los suelos micáceos y 0.3 para otros suelos.

**13.3 -** El subcomité D-18-08 está buscando datos pertinentes de los usuarios de este método de ensayo sobre comparaciones de precisión y sesgo.

### **14 - DESCRIPTORES**

**14.1 -** Microondas, humedad del microondas, horno microondas, contenido de humedad, ensayo rápido de humedad, contenido de agua.

### **15 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

Hagerty, D.J., Ullrich, C.R., and Denton, M.M., "Microwave drying of soils", *Geotechnical Testing Journal*, Vol 13, No. 2, Junio 1990, pp 138-141.

Hagerty, D.J., Ullrich, C.R., and Callan, C.A., "Microwave drying of highly plastic and organic soils," *Geotechnical Testing Journal*, Vol 13, No.2, Junio 1990, pp. 142-145.

Charlie, W. A., Von Gunten, M. W., and Doehring, D. O., "Temperature controlled microwave drying of soils," *Geotechnical Testing Journal*, Vol 5, No. 3/4, Sep./Dec. 1982.

Gilbert, P.A., "Computer controlled microwave oven system for rapid water content determination," Technical Report GL-88-21, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, MS, Noviembre 1988.

U.S. Department of the Interior, "Procedure for determining moisture content of soils by the microwave method," Earth Manual, Part 2, USBR 5315-89, Bureau of Reclamation, Denver CO, 1986.

### **16 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

Norma ASTM D4643

Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Microwave Oven Method.