

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE SUELOS EMPLEANDO UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO

INV E – 150 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se emplea para determinar la humedad de suelos empleando un probador en el cual el agua disponible en una muestra de suelo de masa especificada reacciona químicamente con un volumen determinado de carburo de calcio, produciendo un gas cuya presión es medida por el manómetro del probador.
- 1.2** Este método de ensayo es aplicable a casi todo suelo arenoso y fino. El carburo de calcio usado como reactivo, reacciona con el agua a medida que se mezcla con el suelo cuando se sacude y agita con ayuda de esferas de acero que se encuentran dentro del probador. Para producir resultados precisos, el reactivo debe reaccionar con toda el agua que no se ha hidratado químicamente con minerales o compuestos del suelo. Algunos suelos arcillosos altamente plásticos o suelos que no son suficientemente desmenuzables, pueden producir resultados que no son representativos, debido a que parte del agua puede estar atrapada dentro de los terrones de suelo y no entrar en contacto con el reactivo. Puede haber algunos suelos con contenidos de ciertos componentes o químicos que reaccionan impredeciblemente con el reactivo, dando lugar a resultados erróneos. Cualquiera de estos problemas se hará evidente en el momento de la calibración o al hacer las contrapruebas con la norma de ensayo INV E-122. Algunos suelos que contienen componentes o minerales que se deshidratan con el calor (como el yeso), los cuales deben tener un control especial de temperatura cuando se prueban con la norma de ensayo INV-122, pueden no ser afectados (deshidratados) cuando se ensayan de acuerdo con el carburo de calcio.
- 1.3** Este método de ensayo está limitado al empleo del equipo de prueba de humedad de carburo de calcio para especímenes de suelo de 20 g o más, cuyas partículas no sean mayores de 4.75 mm.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-150-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Un volumen determinado de carburo de calcio, en exceso del necesario para reaccionar con el agua, se coloca dentro del probador junto con dos esferas de acero y una muestra representativa del suelo sin partículas mayores de 4.75 mm, cuya masa sea la especificada por el fabricante del aparato. Una vez cerrado, el probador se sacude vigorosamente en un movimiento rotatorio que hace que el carburo entre en contacto con el agua del suelo, produciéndose gas acetileno en cantidad proporcional al agua disponible. El contenido aparente de agua se puede leer, entonces, en un manómetro adaptado al probador, el cual está calibrado para que la lectura que entrega sea, directamente, el contenido de agua de la masa especificada de suelo.
- 2.2** Se debe desarrollar una curva de calibración para cada probador y cada tipo de suelo, dibujando curvas que relacionen las lecturas del manómetro con los contenidos de agua determinados con la norma de ensayo INV E-122, empleando muestras representativas del suelo. La curva de calibración se usa para determinar un contenido de agua corregido, en ensayos subsecuentes sobre el mismo tipo de suelo.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El contenido de agua de un suelo, medido en el terreno o en el laboratorio, se usa prácticamente en todos los ámbitos de la ingeniería geotécnica. Con alguna frecuencia, se requiere conocer su valor con premura en sitios donde no hay hornos disponibles. En situaciones como esa, el método descrito en esta norma resulta apropiado.
- 3.2** El método requiere que las partículas de las muestras de ensayo sean menores de 4.75 mm.
- 3.3** Los resultados de este ensayo se han utilizado para el control de compactación de terraplenes y otras estructuras de suelo.
- 3.4** Este método de ensayo no es tan preciso como otros, por ejemplo, el descrito en la norma INV E-122. Las imprecisiones se pueden deber al tamaño reducido de la muestra de ensayo, a la existencia de grumos de suelo que no se desmenuzan completamente en el probador y, por, lo tanto, no expongan al reactivo toda el agua disponible, o a otras inexactitudes imputables al equipo o al proceso. En consecuencia, se deberá acudir a otros métodos más

apropiados cuando se requieran datos muy precisos o cuando el uso de los resultados del ensayo sea sensible a variaciones pequeñas de la humedad.

4 EQUIPO

- 4.1** *Un probador de presión de carburo de calcio* – Con un manómetro adaptado en su tapa.
- 4.2** *Balanzas* – Un juego de balanzas manuales taradas o una balanza electrónica portátil.
- 4.3** *Dos esferas de acero* – Suministradas por el fabricante del probador.
- 4.4** *Cuchara* – Para medir el reactivo de carburo de calcio.
- 4.5** *Tamiz* – De 4.75 mm (No. 4).
- 4.6** *Elementos misceláneos* – Brocha y trapo para limpieza, gafas para la protección del operario, etc.
- 4.7** *Equipo requerido en la norma INV E-122* – Para realizar los ensayos de comparación y preparar las curvas de calibración.

Nota 1: La Figura 150 - 1 muestra dos kits para el ensayo, uno con balanza manual y otro con balanza electrónica.

5 MATERIALES

- 5.1** *Reactivo de carburo de calcio* – El carburo de calcio deberá estar finamente pulverizado y deberá ser de un grado tal, que pueda producir gas acetileno en una cantidad de, por lo menos $0.14 \text{ m}^3/\text{kg}$ (2.25 pie³/lb). La calidad de este reactivo se deteriora tras haber sido expuesto al aire o a alguna fuente de humedad, por lo que se recomienda comprarlo en pequeñas cantidades y mantenerlo almacenado en recipientes herméticos.



Figura 150 - 1. Probadores de carburo de calcio

6 PRECAUCIONES

- 6.1** Al combinarse con agua, el carburo de calcio produce gas acetileno que es altamente inflamable o explosivo. Por lo tanto, el ensayo no se debe llevar a cabo en espacios confinados o en vecindades de llama abierta, cigarrillos encendidos, rescoldos u otra fuente de calor que pueda causar combustión. Cuando se libere el gas del aparato al término de cada ensayo, se debe tener cuidado de no hacerlo contra el cuerpo, para evitar la aspiración de vapores nocivos.
- 6.2** Como precaución adicional, el operario debe usar máscara contra el polvo, ropa con mangas largas, guantes y gafas, para prevenir irritaciones del sistema respiratorio, de la piel y de los ojos.
- 6.3** Intentos de ensayar suelos excesivamente húmedos o un uso inadecuado del probador, por ejemplo, vertiendo agua dentro de la cámara, pueden originar presiones que exceden el nivel de seguridad del equipo, lo que puede occasionar daños de éste y condiciones inseguras para el operario.
- 6.4** Se debe tener cuidado de no colocar cantidades importantes de carburo donde pueda existir contacto con el agua, debido a que el gas que se genera es explosivo.
- 6.5** El carburo de calcio ha sido clasificado como material peligroso, por lo que el usuario deberá atender todas las normas relacionadas con su uso, almacenamiento y transporte.

7 CALIBRACIÓN DEL PROBADOR

- 7.1** El equipo suministrado por el fabricante, incluyendo la cámara de prueba con su manómetro y la balanza, están calibrados como una unidad y deben trabajar emparejados para la ejecución del ensayo.
- 7.2** Se deben desarrollar curvas de calibración para cada equipo, usando los tipos generales de suelos que se van a ensayar y los rangos esperados en sus contenidos de agua. A medida que se van introduciendo nuevos materiales, se hará necesaria una calibración posterior para extender los datos de la curva para cada instrumento específico. Si se llevan a cabo pruebas durante un largo período de tiempo sobre el mismo suelo, se debe hacer periódicamente una nueva curva de calibración, sin exceder de 12 meses. Antes de usar una nueva cantidad de reactivo para el ensayo, se deben hacer dos puntos de control para comparar con la curva existente. Si la variación es de más del 1.0 % de humedad, se debe realizar una nueva curva de calibración.
- 7.3** Las curvas de calibración se elaboran seleccionando varias muestras representativas de la variedad de materiales de suelo que se van a ensayar y que tengan humedades dentro de un rango relativamente amplio. Cada muestra se divide cuidadosamente en dos especímenes, mediante cuarteo o un partidor de muestras. Teniendo cuidado de no perder humedad, se prueba un espécimen de acuerdo con el procedimiento de este método de ensayo sin usar una curva de calibración, y el otro espécimen se ensaya de acuerdo con el método descrito en la norma INV E-122.
- 7.4** Los resultados del contenido de agua por secado en el horno de todas las muestras seleccionadas, determinados por la norma INV E-122, se dibujan contra las lecturas del calibrador del probador de carburo de calcio para las correspondientes muestras de prueba. Se dibuja la curva de mejor ajuste a los puntos, formando una curva de calibración para cada tipo de suelo. Una dispersión amplia en los datos indica que este método de ensayo o el de la norma INV E-122 no son aplicables al suelo. La Figura 150 - 2 muestra una curva típica de calibración.
- 7.5** Se puede hacer una comparación de este método con el de la norma INV E-122 para un suelo dado, usando la curva de calibración. Los puntos por fuera de la curva indican desviaciones. Se pueden determinar las desviaciones normales y máximas, si se desea.

8 MUESTREO

- 8.1** Para pruebas de contenido de agua llevadas conjuntamente con otro método de ensayo (tal como el descrito en la norma INV E-122), gobernarán los requerimientos para la selección de la muestra y de los especímenes de ensayo indicados en la otra norma.
- 8.2** Por limitaciones en el equipo, es necesario el uso de especímenes más pequeños de lo recomendable para representar adecuadamente el total del suelo. Por lo tanto, se debe tener extremo cuidado en seleccionar especímenes que sean verdaderamente representativos.
- 8.3** Los especímenes deben contener solamente partículas menores de 4.75 mm.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se remueve la tapa del probador y se coloca dentro de la cámara la cantidad de carburo de calcio recomendada por el fabricante del aparato, junto con las dos esferas de acero del kit de ensayo. La mayoría de los equipos construidos para ensayar muestras de 20 g, requieren aproximadamente 22 g del reactivo (usando la cuchara que viene con el kit, ésta deberá llenarse dos veces).
- 9.2** Usando la balanza manual o electrónica que viene con el equipo, se pesa una muestra de suelo de la masa exacta especificada por el fabricante del instrumento, que no contenga partículas de más de 4.75 mm. La masa se debe determinar con aproximación a 0.1 g. La masa de la muestra de ensayo se deberá reducir a la mitad, cuando se considere que su humedad puede exceder los límites de medida del manómetro o cuando, realmente, se alcance o exceda dicho límite en un ensayo (Ver numeral 9.6).
- 9.3** Se coloca la muestra de suelo en la tapa del probador y, entonces, con el aparato en una posición aproximadamente horizontal, se inserta la tapa en la cámara de presión y se sella la unidad, apretando la abrazadera y teniendo cuidado de que el carburo no se ponga en contacto con el suelo hasta cuando se haya logrado un sellado completo.

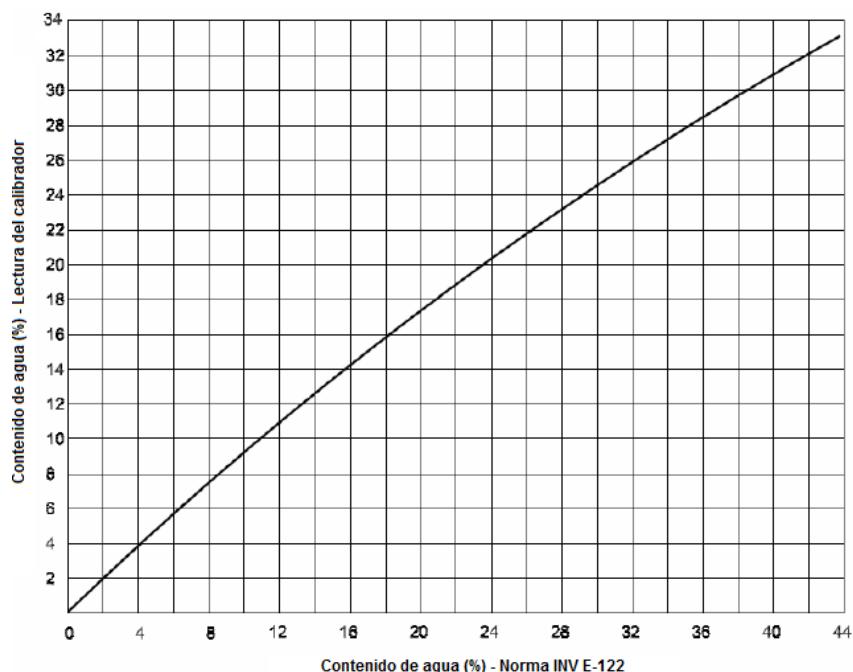


Figura 150 - 2. Curva típica de calibración

- 9.4 Se levanta el probador hasta una posición vertical, de tal manera que el suelo que estaba en la tapa caiga dentro del recipiente de presión. Se golpea con la mano un costado el probador, para asegurar que toda la muestra se desprendió de la tapa.
- 9.5 Se agita vigorosamente el aparato con un movimiento rotacional, para que las esferas de acero rueden por toda la circunferencia interna impactando y pulverizando el suelo y el reactivo. Este movimiento también previene que las esferas golpeen el orificio que conduce al manómetro. La agitación se deberá continuar por lo menos durante 60 segundos con arenas, y hasta por 180 segundos o más con arcilla. Se debe verificar de manera periódica el progreso de la aguja del manómetro. Se debe permitir que la aguja se estabilice a medida que el calor producido por la reacción química se va disipando.
- 9.6 Cuando la aguja se deje de mover, se lee el dial manteniendo el instrumento en una posición horizontal a la altura del ojo. Si la aguja supera el límite de medida del manómetro, se deberán repetir los pasos 9.1 a 9.6, usando una nueva muestra de suelo, cuya masa sea la mitad de la anterior. Cuando se usa media muestra, la lectura final del dial del manómetro se debe multiplicar por dos para obtener el dato con el cual se entra a la curva de calibración

- 9.7** Se registra la lectura del dial y se usa la curva de calibración apropiada para determinar el contenido de agua corregido, como porcentaje de la masa seca, anotándose el valor correspondiente.
- 9.8** Con la tapa del instrumento apuntando en dirección opuesta al operador (Ver Sección 6), se elimina lentamente la presión del gas. Se vacía la cámara del probador y se examina el material en cuanto a terrones. Si la muestra no está completamente pulverizada, el ensayo se deberá repetir empleando una nueva muestra.
- 9.9** Empleando la brocha y el trapo de limpieza, se limpian perfectamente la cámara y la tapa de todo carburo y suelo que tenga adheridos, antes de realizar otro ensayo. La ejecución repetida de ensayos puede causar recalentamientos en el aparato, los cuales afectan los resultados. El probador se deberá encontrar aproximadamente a la misma temperatura que tenía durante el proceso de calibración (se verifica tocándolo por fuera). Esto puede requerir de un leve calentamiento del aparato cuando se vaya a emplear en un instante en que la temperatura ambiente sea muy baja.
- 9.10** Los especímenes de suelo sometidos a este ensayo no se pueden emplear en pruebas posteriores, debido a que se encuentran contaminados con el reactivo.

10 INFORME

- 10.1** Se reporta la siguiente información:

10.1.1 Número asignado a la prueba e identificación de la muestra por localización (segmento del proyecto, estación, elevación, zona o rasgo distintivo) y por clasificación o descripción del material.

10.1.2 Identificación del aparato por número.

10.1.3 Masa del espécimen y lectura final del medidor de presión del aparato.

10.1.4 Contenido de agua de la muestra (de la curva de calibración), aproximado a 1.0 %.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 Precisión – La precisión de éste método se basa en un estudio realizado en el Florida DOT en 2007. Se reunieron ocho técnicos, quienes analizaron un arena fina con 5 % de finos no plásticos, con tres humedades diferentes (la meta era lograr humedades de 8%, 12.5% y 16.5%). Cada “resultado de ensayo” reportado, representó una determinación individual y todos los técnicos reportaron de 3 a 5 réplicas para cada contenido de agua.

11.1.1 Límite de repetibilidad (r) – Se considera que dos resultados de ensayos realizados en un laboratorio no son equivalentes, si difieren en más del valor “ r ” de ese material, siendo “ r ” el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por el mismo operario, usando el mismo equipo, el mismo día, en el mismo laboratorio. Los límites de repetibilidad se presentan en la Tabla 150 - 1.

11.1.2 Límite de reproducibilidad (R) – Se juzga que dos resultados no son equivalentes, si difieren en más del valor “ R ” del material ensayado. “ R ” es el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por operarios diferentes, en laboratorios diferentes, empleando equipo diferente. Los límites de reproducibilidad se presentan en la Tabla 150 - 1.

11.2 Sesgo – Durante el estudio, el contenido de agua se calculó también con el método que describe la norma INV E-122. El sesgo relativo para cada contenido de agua se muestra en la Tabla 150 - 1.

Tabla 150 - 1. Estudio de precisión sobre la determinación de la humedad del suelo con el probador de carburo de calcio

CONTENIDO DE AGUA DESEADO (%)	PROMEDIO DE LOS PROMEDIOS DE LOS LABORATORIOS	REPETIBILIDAD DESVIACIÓN ESTÁNDAR	REPRODUCIBILIDAD DESVIACIÓN ESTÁNDAR (r)	LÍMITE DE REPETIBILIDAD (R)	LÍMITE DE REPRODUCIBILIDAD	SESGO (%)
8.0	8.7	0.22	0.24	0.61	0.68	106.9
12.5	13.2	0.23	0.39	0.63	1.10	103.4
16.5	17.5	0.60	0.34	1.67	2.62	105.8

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4944 – 11