

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA

INV E – 128 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y del llenante mineral de las mezclas asfálticas (*filler*), empleando un picnómetro. Cuando el suelo contiene partículas mayores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica de éstas se deberá determinar de acuerdo con el método de ensayo descrito en la norma INV E–223.
- 1.1.1** Las partículas sólidas de los suelos a los cuales se les va a determinar la gravedad específica de acuerdo con esta norma, no podrán ser susceptibles de alteración por el procedimiento de ensayo, ni estar contaminadas con sustancias que prohíban el uso de estos métodos, o que sean altamente orgánicas, tales como la materia fibrosa que flota en el agua.
- 1.2** La norma incluye dos métodos para determinar la gravedad específica. El método por utilizar deberá ser especificado por el cliente, excepto cuando se vayan a ensayar los tipos de suelo mencionados en el numeral 1.2.1.
- 1.2.1** *Método A* – Es el procedimiento descrito en el numeral 7.2 para el ensayo de muestras húmedas. Este es el método preferido y se deberá emplear obligatoriamente para el ensayo de los siguientes tipos de suelos: suelos finos altamente plásticos; suelos tropicales y suelos que contengan haloisita.
- 1.2.2** *Método B* – Es el procedimiento descrito en el numeral 7.3 para el ensayo de muestras secas.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–128–07.

2 DEFINICIÓN

- 2.1** *Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo, G_s* – Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a igual temperatura. La temperatura generalmente usada como referencia es 20° C.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La gravedad específica de los sólidos de un suelo se usa en casi toda ecuación que exprese relaciones de fases de aire, agua y sólidos en un volumen dado de material.
- 3.2** El término partículas sólidas, como se usa en ingeniería geotécnica, hace relación a las partículas minerales que aparecen naturalmente y que prácticamente no son solubles en agua. Por lo tanto, la gravedad específica de materiales que contengan sustancias extrañas (como cemento, cal, etc.), materiales solubles en agua (como cloruro de sodio) y suelos que contengan sustancias con gravedad específica menor de uno, requieren un tratamiento especial (nota 1) o una definición diferente de la gravedad específica.

Nota 1: Se deberá emplear la norma de ensayo ASTM D 5550 para ensayar suelos que contengan sustancias que se disuelvan o floten en el agua, o donde resulte impracticable el uso del agua

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Picnómetro* – El picnómetro debe ser un frasco con tapón o un frasco volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml. El volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces mayor que el volumen de la mezcla del suelo con agua usada durante la actividad de extracción de aire en la prueba.
- 4.1.1** El frasco con tapón fija mecánicamente el volumen. No se debe mojar el frasco por fuera, porque crearía cambios en el equilibrio térmico. Al usar un frasco con tapón, se debe asegurar que el tapón esté correctamente marcado y que corresponde al frasco.
- 4.2** *Aparato para extraer el aire atrapado* – Para extraer el aire atrapado, se puede usar alguno de los siguientes aparatos:

4.2.1 *Bomba de vacío* – Capaz de producir un vacío parcial de 100 mm de mercurio (Hg) de presión absoluta, o menor.

4.2.2 *Reverbero o Mechero Bunsen* – Capaz de mantener una temperatura suficiente para hervir agua.

Nota 2: Un vacío parcial de 100 mm de Hg de presión absoluta es, aproximadamente, equivalente a una lectura de 660 mm (26") Hg en el manómetro de vacío al nivel del mar.

4.3 *Horno* – Preferiblemente de tiro forzado, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

4.4 *Balanzas* – Con legibilidad de 0.01g. Cuando se usen picnómetros de 250 ml, la capacidad de la balanza deberá ser, cuando menos, de 500 g; mientras que si los picnómetros son de 500 ml, la capacidad de la balanza deberá igual o mayor a 1000 g.

4.5 *Pipeta*.

4.6 *Termómetro* – Capaz de medir temperaturas entre los límites en que se lleva a cabo la prueba, graduado con marcas a 0.1°C (0.18°F) y un error máximo admisible de 0.5°C (0.9°F). Su profundidad disponible para inmersión en las muestras y en las soluciones de calibración se debe encontrar entre 25 y 80 mm (1 a 3"). No se deben emplear termómetros de inmersión total. El termómetro deberá ser sometido a calibración, por lo menos una vez al año.

4.7 *Desecador* – Un gabinete desecador o un recipiente desecador de tamaño apropiado, que contenga gel de sílice o sulfato anhidro de calcio.

Nota 3: Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar el instante en que requiere su reposición.

4.8 *Recipiente aislante* – Un recipiente de icopor o similar, con su tapa y con capacidad para contener entre tres y seis picnómetros más un vaso de precipitados (o una botella) con agua y un termómetro. Esto se requiere para mantener un ambiente de temperatura controlada, donde los cambios sean uniformes y graduales.

4.9 *Embudo* – Un embudo de superficie lisa y anticorrosiva, con un cuello que se extienda más allá de la marca de calibración del frasco volumétrico o del sello de taponamiento en los frascos con tapón. El diámetro del cuello del embudo debe ser suficientemente grande para permitir el paso fácil de las partículas sólidas.

- 4.10** *Tubo para llenar el picnómetro, con orificios laterales de ventilación (opcional)*
- Un dispositivo que facilite la adición de agua desaireada al picnómetro sin alterar la mezcla de suelo y agua. El dispositivo se debe fabricar de la siguiente forma: Se tapona en un extremo un tubo plástico de 6 a 10 mm ($\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ ") de diámetro y se cortan dos pequeñas muescas justo arriba del tapón. Los orificios de ventilación deben quedar perpendiculares al eje del tubo y diametralmente opuestos. Se conecta una válvula al otro extremo del tubo y una tubería a la válvula desde el punto de abastecimiento del agua desaireada.
- 4.11** *Tamiz de 4.75 mm (No. 4).*
- 4.12** *Mezclador (opcional)* – Un mezclador con aspas adaptadas en la base del recipiente de mezclado.
- 4.13** *Botella plástica* – Con un atomizador.
- 4.14** *Mortero con maja de caucho* – Para desintegrar terrones de suelo.
- 4.15** *Agua* – Se debe usar agua destilada. Cuando en esta norma se mencione el agua, se sobrentenderá que es destilada.

5 MUESTRA PARA ENSAYO

- 5.1** Se debe tener especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4). La muestra de suelo se puede ensayar con su humedad natural o se puede secar al horno. La Tabla 128 - 1 presenta una guía en relación con la masa de suelo seco y el volumen del picnómetro por utilizar, dependiendo del tipo de suelo.

Tabla 128 - 1. Masa recomendada para la muestra de ensayo

TIPO DE SUELO	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 250 ml.	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 500 ml.
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

- 5.1.1** Dos factores son importantes en relación con la cantidad de suelo por ensayar. Primero, la masa de los sólidos dividida por su gravedad específica, produce cuatro dígitos significativos. Segundo, la mezcla del suelo con el agua es una lechada y no un fluido de alta viscosidad durante el proceso de desaireación.

6 CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

- 6.1** El picnómetro vacío se limpia, seca y pesa y se registra su masa, con aproximación a 0.01 g. Esta determinación se debe realizar cinco veces seguidas, utilizando la misma balanza. Se determina la masa promedio del picnómetro seco (M_p) y se registra, también, la desviación estándar, la cual deberá ser menor o igual a 0.02 g. Si es mayor, se deben realizar mediciones adicionales o utilizar una balanza más estable o más precisa.
- 6.2** Se llena el picnómetro con agua desaireada por encima o por debajo de la marca de calibración, dependiendo del tipo de picnómetro y de si en el laboratorio se prefiere añadir o remover agua en este proceso.
- 6.2.1** Es más recomendable quitar el exceso de agua y dejarla a nivel de la marca de calibración, que añadir la faltante. De esta manera, se reduce la posibilidad de alterar el equilibrio térmico al disminuir el número de veces que se debe abrir el recipiente aislante.
- 6.2.2** El agua debe ser desaireada para asegurar ausencia de burbujas en ella. El agua se puede desairear hirviéndola, aspirando con la bomba devacío, combinando aspiración y calor, o con un dispositivo específico para este fin. Esta agua sin aire no se debe usar mientras no haya alcanzado la temperatura ambiente. El agua se debe añadir al picnómetro siguiendo la guía que se da en el numeral 7.6.
- 6.3** Se pueden calibrar simultáneamente hasta seis picnómetros en cada recipiente aislante. Se pone el picnómetro en el recipiente aislante, junto con el termómetro, un vaso de precipitados o una botella con agua desaireada, los tapones (si se están usando picnómetros con tapón), y un gotero o una pipeta. Se deja que el picnómetro alcance el equilibrio térmico (por lo menos tres horas). La temperatura de equilibrio debe estar dentro de los 4°C de la temperatura ambiente y entre 15 y 30°C.
- 6.4** Se acerca el recipiente aislante a la balanza o viceversa, se abre el recipiente y se saca un picnómetro. Sólo se debe tocar el aro del picnómetro, para evitar

que el calor de la mano altere el equilibrio térmico. Se debe trabajar ya sea en el recipiente aislante o colocando el picnómetro sobre un bloque de material aislante mientras se ejecutan los ajustes en el nivel del agua.

- 6.4.1** Si se usa un frasco volumétrico como picnómetro, se ajusta el agua hasta la marca de calibración, con el fondo del menisco al nivel de la marca. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. Si se tiene que quitar agua, se usa un tubo pequeño de succión o una toalla de papel. Si hay gotas de agua en el cuello del picnómetro o en el exterior del frasco, ellas deben ser removidas. Se mide y registra la masa del picnómetro con agua, con aproximación de 0.01 g.
- 6.4.2** Si se emplea el frasco con tapón, se ajusta el nivel de agua para evitar que queden burbujas de aire atrapadas bajo el tapón durante la colocación de éste. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. En seguida, se coloca el tapón en el frasco. Si se debe remover agua, se emplean el gotero o la pipeta. Se seca el borde del frasco con una toalla de papel. Se debe asegurar que todo el exterior del frasco esté seco. Se mide y se anota la masa del frasco, agua y tapón, con aproximación de 0.01 g.
- 6.5** Se mide y se anota la temperatura del agua (T_c), con aproximación a 0.1°C, empleando el termómetro que ha sido equilibrado térmicamente en el recipiente aislante. Se inserta el termómetro en el agua a la profundidad adecuada de inmersión (véase numeral 4.6). Se regresa el picnómetro al recipiente aislante. Se repite esta operación con todos los picnómetros que haya en el recipiente aislante.
- 6.6** Se reajusta el nivel de agua en cada picnómetro por encima o por debajo de la marca de calibración o se desocupa y luego se llena hasta que el nivel del agua quede un poco por encima o por debajo de dicha marca. Se permite que los picnómetros se equilibren térmicamente (por lo menos 3 horas) en el recipiente aislante. Se ajusta el nivel del agua con la marca de calibración, removiendo agua del picnómetro o llenándolo hasta la marca con agua desaireada térmicamente equilibrada, tomada del recipiente aislante. Se pesa y se registran la masa y la temperatura del picnómetro lleno de agua ($M_{pw,c}$, T_c).
- 6.6.1** Se repite el procedimiento descrito en el numeral 6.6 hasta obtener cinco medidas independientes de la masa y de la temperatura con cada picnómetro lleno de agua. Las temperaturas no necesitan abarcar algún rango en particular.

- 6.7** Usando los datos de cada una de las cinco mediciones, se calcula el volumen calibrado de cada picnómetro (V_p), empleando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}} \quad [128.1]$$

Donde: $M_{pw,c}$: Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración, g;

M_p : Masa promedio del picnómetro seco, g;

$\rho_{w,c}$: Densidad de masa del agua a la temperatura de calibración, g/cm³ (Tabla 128 - 2).

- 6.8** Se calculan el promedio y la desviación estándar de las cinco determinaciones de volumen. La desviación estándar debe ser menor o igual a 0.05 cm³ (redondeada a dos cifras decimales). Si es mayor, significa que el procedimiento de calibración tuvo demasiada variabilidad y no producirá determinaciones exactas de la gravedad específica. Se deberán analizar los puntos críticos que permitan mejorar los resultados (ajuste del volumen a la marca de calibración, verificación de la temperatura de equilibrio, medidas de la temperatura, método de desaireación, cambio a frascos con tapa, etc.) y se repetirá el procedimiento hasta reducir la desviación estándar a un valor que no sea superior a 0.05 cm³.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** *Masa del picnómetro* – Empleando la misma balanza utilizada para calibrar el picnómetro, se verifica que la masa de éste no presente una variación de más de 0.06 g en relación con la masa promedio obtenida durante la calibración. Si ello no ocurre, se deberá recalibrar la masa seca del picnómetro.

- 7.2** *Método A – Procedimiento para especímenes húmedos.*

7.2.1 Se determina el contenido de agua de una porción representativa de la muestra, aplicando el procedimiento descrito en la norma INV E-122. A partir de éste, se calcula el rango de masas húmedas para el espécimen de gravedad específica, de acuerdo con lo indicado en el numeral 5.1. Se deberá tomar de la muestra un espécimen que se encuentre en este rango de masa. No se debe muestrear para obtener una masa exacta predeterminada.

- 7.2.2** Se colocan alrededor de 1000 ml de agua dentro del recipiente de mezclado de un mezclador o de un aparato equivalente. Se vierte el suelo y se mezcla. El volumen mínimo de lechada que se puede preparar utilizando este equipo exige, por lo general, el uso de un picnómetro de 500 ml.
- 7.2.3** Usando el embudo, se vierte la lechada dentro del picnómetro. Se enjuagan las partículas de suelo que hayan quedado adheridas al embudo, aplicando agua con la botella plástica con atomizador.
- 7.2.4** A continuación, se procede como se indica en el numeral 7.4.

Tabla 128 - 2. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura

Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99889	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99771	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

7.3 Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno.

- 7.3.1** Se seca el espécimen en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hasta masa constante. Todos los terrones que contenga el suelo se deberán desintegrar empleando un mortero con una maja de caucho. Si el suelo no se dispersa fácilmente después del secado o ha cambiado su

composición, se deberá usar el Método A. En el numeral 1.2.1 se indican los suelos que requieren obligatoriamente el método A.

7.3.2 Se inserta el embudo en el picnómetro. El cuello del embudo debe pasar la marca de calibración o el sello de taponamiento. Se introducen los sólidos de suelo en el embudo empleando una cuchara. Se lavan las partículas de suelo que queden adheridas al embudo, aplicando agua con la botella plástica con atomizador.

7.4 *Preparación de la lechada de suelo* – Se añade agua hasta que su nivel esté entre 1/3 y 1/2 de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Se agita el agua hasta formar una lechada. Se enjuaga cualquier suelo adherido a la parte superior del picnómetro de manera que se añada a la lechada.

7.4.1 Si en vez de una lechada se forma una pasta viscosa, se debe usar un picnómetro de mayor volumen (ver numeral 5.1.1).

Nota 4: En algunos suelos que contienen una cantidad significativa de materia orgánica, el kerosene es mejor agente humedecedor que el agua y se puede usar en lugar del agua destilada en muestras secadas al horno. Si se usa, el aire atrapado sólo podrá ser removido con una aspiradora. El kerosene es inflamable y, por lo tanto, se debe usar con extrema precaución.

7.5 *Extracción del aire atrapado en la lechada* – El aire se puede extraer usando calor (hirviendo la lechada), aspirándolo con la bomba de vacío o mediante una combinación de calor y aspiración.

7.5.1 Al usar solo el método del calor, la operación se debe continuar por lo menos durante 2 horas después de que la lechada comience a hervir. Se debe usar solamente el calor necesario para mantener la lechada hirviendo. Se agita la lechada cuanto sea necesario, para evitar que el suelo se seque o se pegue en el frasco por encima de la superficie de la lechada.

7.5.2 Si solamente se usa la bomba de vacío, el picnómetro se debe agitar continuamente bajo vacío, por lo menos por dos horas. Agitar continuamente significa que los sólidos limo arcillosos deben permanecer en suspensión y la que lechada se encuentre en constante movimiento. El vacío debe permanecer relativamente constante y ser suficiente para producir burbujeo al comienzo del proceso de aspiración de aire.

7.5.3 Si se usa una combinación de calor y vacío, los picnómetros se pueden colocar en un baño de agua tibia (a no más de 40°C) durante la

aplicación del vacío. El nivel de agua en el baño debe estar ligeramente por debajo del nivel de agua en el picnómetro. Si el vidrio del picnómetro se calienta demasiado, el suelo tenderá a secarse o a pegarse contra el vidrio. La duración de la combinación de vacío y calor debe ser por lo menos de una hora, después de que comience el hervor. Durante el proceso, la lechada se debe agitar cuanto sea necesario para mantener la ebullición y evitar que el suelo se seque sobre el picnómetro.

7.6 *Llenado y enrase del picnómetro* – Se llena el picnómetro con agua desaireada (Ver numeral 6.2.2) introduciendo el agua por un tubo delgado y flexible, manteniendo el extremo de salida justamente por debajo de la superficie de la lechada en el picnómetro, o usando el tubo descrito en el numeral 4.10 para llenar el picnómetro. Si se utiliza este tubo, se llena con agua y se cierra la válvula. El tubo se debe colocar de manera que los orificios de drenaje queden justamente al nivel de la superficie de la lechada. Se abre la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya por encima de la lechada. A medida que se va formando una capa de agua clara, se levanta el tubo y se ajusta la velocidad de flujo. Si el agua que se ha sido añadida se torna turbia, no se debe agregar agua por encima de la marca de calibración ni en el área del tapón. El agua restante se añade al día siguiente.

7.6.1 Si se va a usar un frasco volumétrico con tapón, se llena el frasco de manera que la base del tapón quede sumergida en el agua. Entonces, se apoya el tapón haciendo un ángulo con el cuello ensanchado, para prevenir que quede aire atrapado bajo él. Si se usa un frasco volumétrico o un frasco con tapón, el frasco se deberá llenar hasta más arriba o más abajo de la marca de calibración, según se prefiera.

7.7 Si se ha usado calor, se permite que el espécimen se enfríe a temperatura ambiente.

7.8 *Equilibrio térmico* – Se pone el picnómetro en el recipiente aislante, junto con el termómetro, un vaso de precipitado o botella con agua desaireada, los tapones (si se están usando picnómetros con tapón), y un gotero o una pipeta. Todos estos elementos se deben mantener dentro del recipiente cerrado de un día para otro, para que alcancen el equilibrio térmico.

7.9 *Determinación de la masa del picnómetro* – Si el recipiente aislante no se encuentra cerca de la balanza se acerca a ella o viceversa. Se abre el recipiente y se saca un picnómetro. Sólo se debe tocar el aro del picnómetro para evitar

que el calor de la mano altere el equilibrio térmico. Se coloca el picnómetro sobre un bloque aislante.

- 7.9.1** Si se usa un frasco volumétrico como picnómetro, se ajusta el agua hasta la marca de calibración, con el fondo del menisco al nivel de la marca, siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 6.4.1.
- 7.9.2** Si se emplea el frasco con tapón, se ajusta el nivel de agua para evitar que queden burbujas de aire atrapadas bajo el tapón durante la colocación de éste. Si se debe añadir agua, se usa el agua térmicamente equilibrada tomada del recipiente aislante. En seguida, se coloca el tapón en el frasco. Si se debe remover agua, se emplean el gotero o la pipeta. Se seca el borde del frasco con una toalla de papel. Se debe asegurar que todo el exterior del frasco esté seco.
- 7.10** Se mide y se anota la masa del picnómetro con suelo y agua, con aproximación de 0.01 g, empleando la misma balanza utilizada durante la calibración del picnómetro ($M_{pws,t}$).
- 7.11** *Determinación de la temperatura del picnómetro* – Se mide y se anota la temperatura de la lechada de suelo y agua con aproximación a 0.1° C, usando el termómetro y el método empleado en la calibración del picnómetro (Ver numeral 6.5). Esta es la temperatura T_t .
- 7.12** *Masa del suelo seco* – Se determina la masa de un recipiente con una aproximación de 0.01 g. Se transfiere la lechada de suelo a este recipiente. Es imperativo transferir la totalidad del suelo. Se puede añadir agua para lavar completamente el picnómetro. Se seca el espécimen hasta obtener una masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y se enfría posteriormente en un desecador. Si el recipiente se puede cerrar de manera que el suelo no pueda absorber agua durante el enfriamiento, no se requerirá el desecador. Se mide la masa seca de los sólidos de suelo más el recipiente con aproximación a 0.01 g, usando la misma balanza utilizada en las anteriores determinaciones de masa. Se calcula la masa seca del suelo, la cual será registrada como M_s .

Nota 5: Este método ha demostrado proveer resultados más consistentes y repetibles que determinando la masa seca antes de la prueba. Lo más probable, es que esto se deba a la pérdida de sólidos del suelo durante la fase de desaireación.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura del ensayo, como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + V_p \times \rho_{w,t} \quad [128.2]$$

Donde: $M_{pw,t}$: Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de ensayo (numeral 7.10), g;

M_p : Masa promedio de calibración del picnómetro seco (numeral 6.1), g;

V_p : Volumen promedio de calibración del picnómetro seco (numerales 6.7 y 6.8), cm^3 ;

$\rho_{w,t}$: Densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), g/cm^3 (Tabla 128 - 2).

- 8.2** Se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a la temperatura de ensayo, G_t , con la expresión:

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)} \quad [128.3]$$

Donde: ρ_s : Densidad de las partículas sólidas, g/cm^3 ;

$\rho_{w,t}$: Densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), g/cm^3 ;

M_s : Masa de los sólidos del suelo secado en el horno (numeral 7.12), g;

$M_{pws,t}$: Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura de ensayo (numeral 7.10), g.

- 8.3** Se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a 20°C , $G_{20^\circ \text{C}}$, con la expresión:

$$G_{20^\circ \text{C}} = K \times G_t \quad [128.4]$$

Donde: K: Coeficiente de corrección por temperatura (Tabla 128 - 2).

- 8.4** Para el caso de suelos que también contengan partículas mayores de 4.75 mm, cuya gravedad específica se debe determinar en acuerdo con la norma INV E-223, se deberá calcular una gravedad específica promedio de los sólidos. Como la norma INV E-223 exige que el ensayo se realice a $23 \pm 1.7^\circ \text{C}$ y no establece que se hagan una corrección a 20°C , se deberá emplear la misma fórmula del numeral 8.3 para realizar la corrección de la gravedad específica de las partículas de más de 4.75 mm y, luego, usar la siguiente fórmula para determinar la gravedad específica promedio de todo el suelo, corregida a 20°C :

$$G_{s_{20^\circ\text{C}}} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^\circ\text{C}}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^\circ\text{C}}}} \quad [128.5]$$

- Donde: R: Porcentaje de suelo retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- P: Porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- $G_{1@20^\circ\text{C}}$: Gravedad específica aparente de los sólidos retenidos en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), determinada según la norma INV E-223.
- $G_{2@20^\circ\text{C}}$: Gravedad específica de los sólidos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4), determinada según la presente norma (ecuación del numeral 8.3).

9 INFORME

- 9.1** El documento elaborado como resultado de la ejecución del ensayo realizado de acuerdo con esta norma, deberá contener, al menos, la siguiente información:
- 9.1.1** Identificación del suelo (localización y número de la perforación de la cual se extrajo la muestra, número de la muestra, profundidad de la toma).
- 9.1.2** Clasificación visual del suelo, de acuerdo con la norma INV E-102.

- 9.1.3 Porcentaje de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 9.1.4 Si alguna parte de la muestra fue excluida del ensayo, descripción de la misma.
- 9.1.5 Método de ensayo utilizado, A o B (Ver numeral 1.2).
- 9.1.6 Los resultados de todas las medidas de masa, aproximadas a 0.01 g.
- 9.1.7 Temperatura de ensayo, aproximada a 0.1° C.
- 9.1.8 Gravedad específica a 20° C del suelo ensayado ($G_{20^{\circ}\text{C}}$), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.3).
- 9.1.9 Si el suelo contenía partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica promedio a 20° C ($G_{S20^{\circ}\text{C}}$), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.4).

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con esta norma sobre una gama de suelos, empleando el Método A, se indican en las Tablas 128 - 3 y 128 - 4. Las características de los suelos ensayados se presentan en el numeral 10.1.1. Las estimaciones de precisión pueden variar con el tipo de suelo y el método de ensayo utilizado (A o B). Por lo tanto, se requiere buen juicio para extrapolar estos criterios a otro suelo o a otro método.

10.1.1 Los suelos utilizados en los ensayos cuyos resultados se resumen en las Tablas 128 - 3 y 128 - 4, fueron:

CH – arcilla pesada, color marrón y gris, llamada localmente arcilla de Vicksburg Buckshot, 99% de finos, LL = 60, IP = 39.

CL – arcilla magra, gris, llamada localmente arcilla de Annapolis, 89% de finos, LL = 33, IP = 13.

ML – limo, marrón claro, llamado localmente limo de Vicksburg, 99% de finos, LL = 27, IP = 4.

SP – arena mal gradada, marrón amarillento, llamada arena de Frederick, 20% de arena gruesa, 48% de arena media, 30% de arena fina y 25 de finos.

Tabla 128 - 3. Resumen de los resultados de ensayos de gravedad específica hechos por triplicado en el laboratorio

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Resultados de un solo operador (repetibilidad dentro del laboratorio)				
CH	14	2.717	0.009	0.03
CL	13	2.670	0.006	0.02
ML	14	2.725	0.006	0.02
SP	14	2.685	0.006	0.02
Resultados en varios laboratorios (reproducibilidad entre laboratorios)				
CH	14	2.717	0.028	0.08
CL	13	2.670	0.022	0.06
ML	14	2.725	0.022	0.06
SP	14	2.658	0.008	0.02

Tabla 128 - 4. Resumen de los resultados de ensayos individuales de gravedad específica de cada laboratorio

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Resultados en varios laboratorios (ensayo individual realizado por cada laboratorio)				
CH	18	2.715	0.027	0.08
CL	18	2.673	0.018	0.05
ML	18	2.726	0.022	0.06
SP	18	2.660	0.007	0.02

10.2 Sesgo – No hay un valor aceptable de referencia para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 854 – 10