

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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

Contenido

1.	RESUMEN.....	2
2.	MARCO TEÓRICO	2
3.	MATERIALES REQUERIDOS	3
4.	OBJETIVO	5
5.	PROCEDIMIENTO	5
6.	PROCEDIMIENTO	8
7.	RESULTADOS	11
8.	REFERENCIAS	13
9.	RECOMENDACIONES	13

Lista de figuras

Figura 1.	Bomba de vacío.	3
Figura 2.	Horno.....	3
Figura 3.	Balanza.	4
Figura 4.	Tamiz No. 4.	5

Lista de tablas

Tabla 1.	Masa recomendada para la muestra de ensayo.....	6
----------	---	---

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

1. RESUMEN

En esta guía de laboratorio se establece un procedimiento para determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y de la llenante mineral de las mezclas asfálticas (filler), empleando un picnómetro, según la norma INVIAS E-128-13. La norma incluye dos métodos para determinar la gravedad específica. La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales, condición que se debe indicar claramente al elaborar el respectivo informe. También se encuentran descritos los instrumentos que se utilizarán y el proceso que se debe realizar para ejecutar la práctica. Se recomienda verificar el estado de los elementos antes de utilizarlos, tener cuidado con los instrumentos y por último dejar los elementos limpios y en orden después de utilizarlos.

2. MARCO TEÓRICO

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.

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.

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.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

3. MATERIALES REQUERIDOS

Picnómetro – El picnómetro debe ser un frasco con tapón o un frasco volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml.

Aparato para extraer el aire atrapado – Para extraer el aire atrapado.



Figura 1. Bomba de vacío. Fuente; propia

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



Figura 2. Horno. Fuente: propia

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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.



Figura 3. Balanza. Fuente: Propia

Pipeta.

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).

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

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.

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.

Tubo para llenar el picnómetro, con orificios laterales de ventilación (opcional)

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	 SIGUD Sistema Integrado de Gestión
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

Tamiz de 4.75 mm (No. 4).



Figura 4. Tamiz No. 4. Fuente: Propia

Mezclador (opcional): Un mezclador con aspas adaptadas en la base del recipiente de mezclado.

Botella plástica: Con un atomizador.

Mortero con maja de caucho: Para desintegrar terrones de suelo.

Agua: Se debe usar agua destilada. Cuando en esta norma se mencione el agua, se sobrentenderá que es destilada.

4. OBJETIVO

Este ensayo pretende 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.

5. PROCEDIMIENTO

Muestra para ensayo

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).

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	 SIGUD Sistema Integrado de Gestión
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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

Tabla 1. Masa recomendada para la muestra de ensayo Fuente: INVIAS E-128-13

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	10

Calibración del picnómetro

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.

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.

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.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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 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.

Se regresa el picnómetro al recipiente aislante. Se repite esta operación con todos los picnómetros que haya en el recipiente aislante.

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).

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

$$V_p = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}}$$

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

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.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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.

6. PROCEDIMIENTO

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.

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.

Método A: 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.

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. 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.

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.

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

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

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.

Método B: Es el procedimiento, para el ensayo de muestras secas.

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.

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.

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.

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

Llenado y enrase del picnómetro – Se llena el picnómetro con agua desaireada 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

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

agua por encima de la marca de calibración ni en el área del tapón. El agua restante se añade al día siguiente.

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

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.

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.

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 (Mpws,t).

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 Tt.

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 Ms .

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

7. RESULTADOS

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

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t})$$

Donde:

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

M_p : Masa promedio de calibración del picnómetro seco, g;

V_p : Volumen promedio de calibración del picnómetro seco, cm^3 ;

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

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

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{wt}} = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$$

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, g;

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

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

$$G_{20^\circ\text{C}} = K \times G_t$$

Donde:

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

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

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

fórmula para determinar la gravedad específica promedio de todo el suelo, corregida a 20° C:

$$G_{s20^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{\frac{R}{100 * G_{1@20^{\circ}\text{C}}} + \frac{P}{100 * G_{2@20^{\circ}\text{C}}}}$$

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).

El documento elaborado como resultado de la ejecución del ensayo realizado de acuerdo con esta norma, deberá contener, al menos, la siguiente información:

Identificación del suelo (localización y número de la perforación de la cual se extrajo la muestra, número de la muestra, profundidad de la toma).

Clasificación visual del suelo, de acuerdo con la norma INV E–102.

Porcentaje de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Si alguna parte de la muestra fue excluida del ensayo, descripción de la misma.

Método de ensayo utilizado, A o B

Los resultados de todas las medidas de masa, aproximadas a 0.01 g.

Temperatura de ensayo, aproximada a 0.1° C.

Gravedad específica a 20° C del suelo ensayado ($G_{20^{\circ}\text{C}}$), aproximada a

0.01 y, si se desea, a 0.001.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

Si el suelo contenía partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica promedio a 20° C ($G_{s_{20^{\circ}\text{C}}}$), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 .

8. REFERENCIAS

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua: I.N.V. E -128-13.

9. RECOMENDACIONES

Verificar el estado de los elementos antes de utilizarlos, tener cuidado al momento de manipular los equipos y materiales, dejar los elementos utilizados en la práctica limpios y en completo orden.