

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA
ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS, AGREGADOS GRUESOS Y
MEZCLAS DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROCEDIMIENTO
COMBINADO DE SATURACIÓN AL VACÍO E INMERSIÓN
RÁPIDA**

INV E – 242 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la densidad relativa y la absorción de agregados finos (método A) y de agregados gruesos y mezclas de agregados (método B).

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se seca una muestra suficiente de agregado hasta masa constante. Para cada prueba, se toman dos muestras representativas del agregado seco. Una de ellas se coloca en una cámara de vacío dentro de una bolsa plástica y se abre bajo agua para una saturación rápida del agregado. Con las masas seca y sumergida de la muestra se determina su densidad relativa aparente.
- 2.2** La segunda muestra del mismo agregado se ensaya en un picnómetro metálico de volumen conocido. Conociendo la masa del picnómetro lleno de agua, la del agregado seco y la del picnómetro con la muestra y con agua, se determina la densidad en estado no saturado.
- 2.3** Los resultados de los ensayos sobre las dos muestras permiten calcular la absorción y la densidad relativa (SH).
- 2.4** El ensayo se puede completar en menos de 30 minutos y se puede emplear para determinar rápidamente las propiedades de un agregado pétreo en los laboratorios de obra.
- 2.5** El ensayo es aplicable a agregados fino y grueso, así como a mezclas de agregados, empleando bolsas plásticas apropiadas y picnómetros de tamaños adecuados.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La densidad relativa (gravedad específica) de los agregados es la propiedad utilizada generalmente para el cálculo del volumen que ellos ocupan en mezclas asfálticas y de hormigón, así como en otras donde la dosificación o el análisis se realicen sobre la base del volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) se emplea, también, en el cálculo de vacíos en el agregado, en aplicación de la norma INV E–217. La densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) se usa si el agregado está en tal condición, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) seca (SH) se emplea para los cálculos cuando el agregado se encuentra seco o se asume que lo está.
- 3.2** La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) son propias del material sólido que constituye las partículas, sin incluir los poros dentro de las mismas que son accesibles al agua.
- 3.3** Los valores de la absorción se emplean en el cálculo del cambio de masa que sufre un agregado a causa del agua absorbida por los poros de sus partículas constitutivas, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer su potencial de absorción.

Nota 1: Los ensayos a los cuales hacen referencia las normas INV E–222 e INV E–223 también sirven para determinar estas propiedades de los agregados pétreos. El método al cual se refiere la presente norma da lugar a valores que pueden coincidir o no con los determinados a través de los otros ensayos.

Nota 2: La calidad de los resultados obtenidos al aplicar esta norma depende de la competencia del personal que realiza las pruebas y de la capacidad, la calibración y el mantenimiento del equipo y materiales utilizados.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con bastante capacidad y con sensibilidad suficiente para permitir el cálculo de la gravedad específica de muestras con, al menos, cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para pesar muestras sumergidas en agua. El alambre de suspensión enganchado a la escala debe romper la superficie del agua en un solo punto y deberá tener un diámetro máximo de 3 mm (0.125"). La balanza debe tener una tolerancia básica de $\pm 0.1\%$ y permitir lecturas con aproximación a 0.1 g.

Nota 3: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen cuando menos con cuatro cifras.

- 4.2 Horno** – Capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
- 4.3 Tanque para agua** – Con dimensiones mínimas (longitud × ancho × altura) de $610 \times 460 \times 460$ mm ($24 \times 18 \times 18"$) o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm ($18"$) y una altura mínima de 460 mm ($18"$), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ\text{F}$).
- Nota 4: Es preferible mantener constante la temperatura del agua empleando un calentador controlado. También, para reducir la posibilidad de que la bolsa toque las paredes del tanque de agua, es aconsejable elevarlo hasta un nivel que permita al operador colocar la muestra en el mecanismo de pesaje sin agacharse y que facilite la colocación de la muestra y de la bolsa dentro del tanque de agua.*
- 4.4 Sujetador de la muestra** – Sin bordes agudos, para el desplazamiento de agua de la muestra.
- Nota 5: Se ha encontrado que los sujetadores cubiertos de plástico son apropiados para evitar que las bolsas plásticas se perforen accidentalmente dentro del baño de agua.*
- 4.5 Cámara de vacío** – Con una bomba capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar una conformidad apropiada del plástico con la muestra que se ensaya. Los tiempos de escape del aire y de la operación de vacío deben ser puestos a punto en la fábrica de manera que la cámara sea llevada la presión atmosférica en un lapso de 80 a 125 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.
- 4.6 Manómetro indicador de vacío** – Independiente del dispositivo de sellado al vacío, que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).
- 4.7 Bolsas plásticas** – Para usar con la cámara de vacío. Deben ser de dos tamaños. Las bolsas pequeñas deben tener una abertura de 235 mm (9.25") como mínimo y de 260 mm (10.25") como máximo, mientras que la abertura de las bolsas grandes se debe encontrar entre 375 mm (14.75") y 394 mm (15.5"). Las bolsas deben ser de un material plástico que sea resistente a las perforaciones e impermeable al agua. Las bolsas deben tener un espesor mínimo de 0.127 mm (0.005"). Con cada despacho, el fabricante deberá

informar la gravedad específica aparente de las bolsas, la cual deberá ser tenida en cuenta en los cálculos que la requieran.

- 4.8 Picnómetro pequeño de metal (Figura 242 - 1)** – Con diámetro interno de 137 ± 0.2 mm (7.776 ± 0.008 ") y altura de 114 ± 0.80 mm (4.5 ± 0.03 "), para el ensayo de agregados finos. El picnómetro debe ser maquinado, para garantizar que todas sus superficies sean lisas. El interior de su tapa debe estar maquinado con un ángulo de 5° , de manera de crear una superficie cónica invertida. El picnómetro deberá estar equipado con una banda graduada para la medida de la temperatura, que permita al operador controlar visualmente la temperatura durante el ensayo.

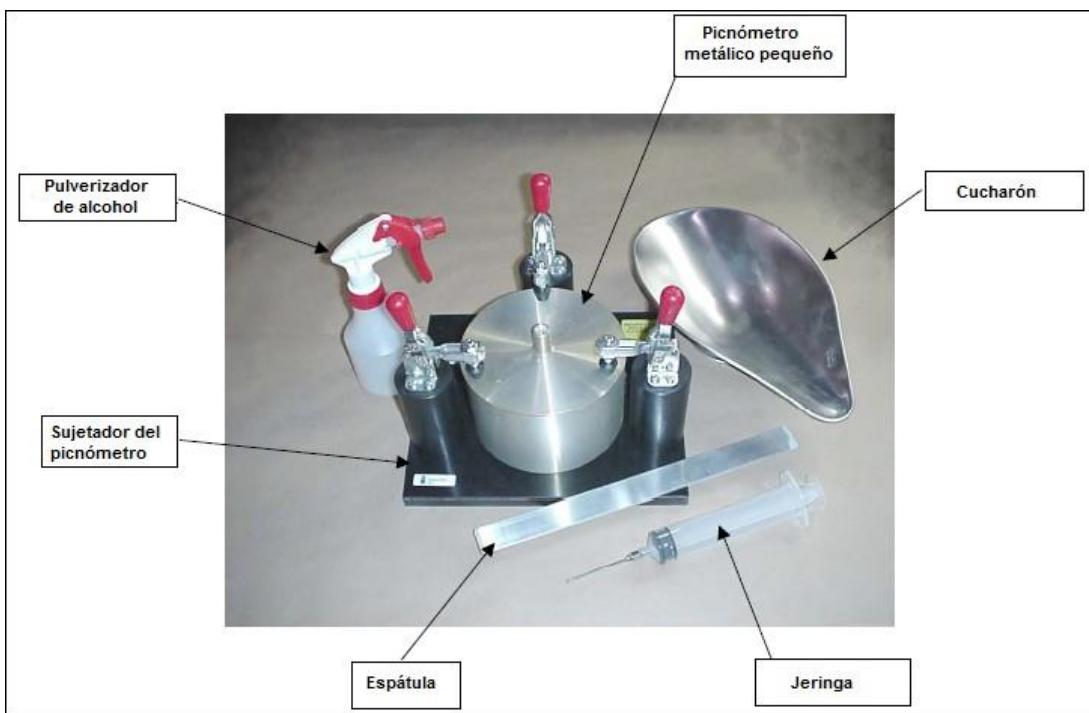


Figura 242 - 1. Elementos para el ensayo de agregados finos

- 4.9 Picnómetro grande de metal (Figura 242 - 2)** – Con diámetro interno de 198 ± 0.2 mm (5.375 ± 0.008 ") y altura de 89 ± 0.40 mm (3.5 ± 0.016 "), para el ensayo de agregados gruesos y mezclas de agregados. El picnómetro debe ser maquinado, para garantizar que todas sus superficies sean lisas. El interior de su tapa debe estar maquinado con un ángulo de 5° , de manera de crear una superficie cónica invertida. El picnómetro deberá estar equipado con una banda graduada para la medida de la temperatura, que permita al operador controlar visualmente la temperatura durante el ensayo.

- 4.10 Dispositivo de sujeción del picnómetro para agregado fino (Figura 242 - 1)** – Para sostener y asegurar la tapa del picnómetro pequeño, con el fin evitar que se levante durante el ensayo.
- 4.11 Accesorios** – Cuchillo para cortar bolsas, o tijeras; botella con pulverizador lleno de alcohol isopropílico; recipiente de suficiente tamaño para alojar el picnómetro totalmente sumergido en agua; recipientes con agua para alimentar el picnómetro durante el ensayo; recipiente con una cubierta de malla para recolectar los excesos de agua; jeringa cuyo diámetro no exceda de 3 mm (0.125"), brocha de pintura pequeña, toalla y espátula de metal de 25 ±5 mm ($1 \pm 0.2"$) de ancho.
- 4.12 Láminas de caucho** – Para proteger las bolsas plásticas contra roturas causadas por los bordes agudos de las partículas del agregado grueso y del agregado mezclado. Su gravedad específica aparente deberá ser suministrada por el fabricante.
- 4.13 Termómetro** – Con marcaciones cada 1°C (1.8°F).

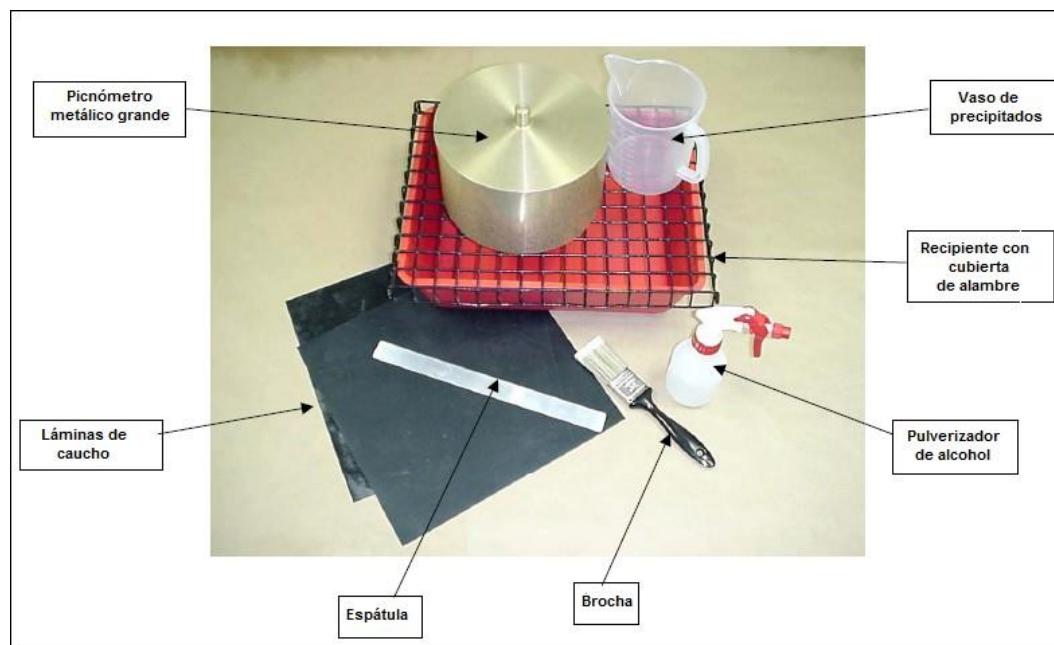


Figura 242 - 2. Elementos para el ensayo de agregados gruesos

5 VERIFICACIÓN

5.1 Verificación del sistema de vacío:

- 5.1.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato anualmente, luego de reparaciones importantes y después de cada envío o traslado.
- 5.1.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 5.1.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste, mientras la unidad de vacío está operando. El manómetro debe indicar una presión de 6.0 mm Hg (6 Torr) o menos. La unidad no se debe usar si la lectura del manómetro es mayor de 6 mm Hg (6 Torr).
- 5.1.4 El manómetro de vacío usado para la verificación se debe calibrar anualmente.

Nota 6: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

5.2 Calibración del picnómetro pequeño:

- 5.2.1 El picnómetro se debe acondicionar antes del ensayo a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo dentro de un recipiente con agua a esa temperatura. Se debe usar un indicador de nivel para nivelar el dispositivo de sujeción del picnómetro.
- 5.2.2 Se remueve el picnómetro del agua, se seca con una toalla, se coloca en el dispositivo de sujeción y se empuja hasta que hace contacto con los topes.
- 5.2.3 Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta una marca ubicada unos 10 mm (9.375") de su borde superior (Figura 242 - 3). Empleando la botella pulverizadora, se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas.



Figura 242 - 3. Llenado del picnómetro pequeño con agua

- 5.2.4** Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro y se cierran las abrazaderas en el sujetador.
- 5.2.5** Usando la jeringa llena con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), se llena lentamente el picnómetro a través del orificio de llenado que está en el vástago de la tapa (Figura 242 - 4). Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro. Se llena el picnómetro hasta que el agua sale a través del orificio de 3 mm (1/8") ubicado en la superficie de la tapa.



Figura 242 - 4.Uso de la jeringa para completar el llenado del picnómetro pequeño con agua

- 5.2.6** Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.

- 5.2.7** Se coloca el sujetador con el picnómetro en la balanza y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Figura 242 - 5).



Figura 242 - 5. Pesaje del picnómetro lleno de agua

- 5.2.8** Se limpia el picnómetro y se repiten los pasos 5.2.1 a 5.2.7 otras dos veces y se promedian las masas de calibración obtenidas en el paso 5.2.7. Si el rango en el cual se encuentran las tres masas es mayor de 0.5 g, ello significa que la prueba no se ha efectuado apropiadamente. Entonces, se debe verificar si el dispositivo de sujeción está nivelado. También, se debe comprobar que la punta de la aguja durante la inyección de agua esté por debajo del nivel de agua en el picnómetro y que el líquido se haya aplicado cuidadosamente. Así mismo, se deben verificar las temperaturas del agua y del picnómetro. Finalmente, se repite el procedimiento hasta que las tres masas se encuentren en el rango de 0.5 g.

- 5.2.9** El picnómetro se debe calibrar cada día que se use.

5.3 Calibración del picnómetro grande:

- 5.3.1** El picnómetro se debe acondicionar antes del ensayo a $25 \pm 1^\circ \text{ C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{ F}$), colocándolo dentro de un recipiente con agua a esa temperatura.
- 5.3.2** Se remueve el picnómetro del agua, se seca con una toalla y se coloca sobre una superficie nivelada.

- 5.3.3** Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{ C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{ F}$) hasta unos 10 mm (9.375") de su borde superior (Figura 242 - 6). Empleando la botella pulverizadora, se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas.



Figura 242 - 6. Picnómetro grande lleno de agua

- 5.3.4** Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro (Figura 242 - 7) ejerciendo una presión suave y rotando la tapa para asegurar un buen contacto. Parte del agua puede salir del recipiente por el agujero superior y los lados de la tapa. Usando la jeringa llena con agua a $25 \pm 1^\circ \text{ C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{ F}$), se llena lentamente el picnómetro a través del orificio de llenado que está en el vástago de la tapa (Figura 242 - 8). Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro. Se llena el picnómetro hasta que el agua sale a través del orificio de 3 mm (1/8") ubicado en la superficie de la tapa.



Figura 242 - 7. Colocación de la tapa sobre el picnómetro

- 5.3.5** Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro (Figura 242 - 9).

- 5.3.6** Se coloca el picnómetro en la balanza y se registra su masa con aproximación a 0.1 g (Figura 242 - 10).



Figura 242 - 8. Uso de la jeringa para completar el llenado del picnómetro grande con agua



Figura 242 - 9. Secado exterior del picnómetro grande



Figura 242 - 10. Pesaje del picnómetro grande

- 5.3.7** Se limpia el picnómetro y se repiten los pasos 5.3.1 a 5.3.6 otras dos veces y se promedian las masas de calibración obtenidas en el paso 5.3.6. Si el rango en el cual se encuentran las tres masas es mayor de 1.0 g, ello significa que la prueba no se ha efectuado apropiadamente. Entonces, se debe verificar si el picnómetro está nivelado. También, se debe comprobar que la punta de la aguja durante la inyección de agua esté por debajo del nivel de agua en el picnómetro y que el líquido se haya aplicado cuidadosamente. Así mismo, se deben verificar las temperaturas del agua y del picnómetro. Finalmente, se repite el procedimiento hasta que las tres masas se encuentren en el rango de 1.0 g.
- 5.3.8** El picnómetro se debe calibrar cada día que se use.

6 MUESTREO

6.1 *Muestras de agregado fino (Método A):*

- 6.1.1** El muestreo se deberá realizar en acuerdo con la norma INV E–201. El material deberá ser mezclado completamente y reducido para obtener una muestra de 1000 ± 5 g para el ensayo de densidad aparente y dos muestras de 500 ± 3 g para la determinación de la densidad aparente bulk. Para la reducción de la muestra, se deben emplear los procedimientos descritos en la norma INV E–202.

6.2 *Muestras de agregado grueso (Método B):*

- 6.2.1** El muestreo se deberá realizar en acuerdo con la norma INV E–201.
- 6.2.2** El agregado grueso o el agregado combinado se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), se mezcla completamente y se reduce para obtener una muestra de 2000 ± 10 g para el ensayo de densidad aparente y dos muestras de 1000 ± 10 g para la determinación de la densidad aparente bulk. Para la reducción de la muestra, se deben emplear los procedimientos descritos en la norma INV E–202.
- 6.2.3** Si la muestra se va a ensayar en dos o más fracciones, se debe determinar su gradación de acuerdo con la norma INV E–213, incluyendo los tamices utilizados para separar las fracciones a utilizar en este ensayo.

Nota 7: Cuando se ensaye un agregado grueso con un tamaño máximo nominal que requiera muestras de mayor tamaño, puede resultar más conveniente realizar la prueba sobre dos o más sub-muestras, combinando los valores obtenidos para efectos de los cálculos.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Método A, ensayo del agregado fino:

7.1.1 Se verifica que la temperatura del agua que se va a emplear en el ensayo se encuentre a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.1.2 Antes del ensayo, se debe acondicionar el picnómetro a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo en un tanque con agua a dicha temperatura.

7.1.3 Determinación de la densidad aparente bulk:

7.1.3.1 Se verifica que las muestras se encuentren secas a masa constante.

7.1.3.2 Para un solo ensayo, se seleccionan y separan dos muestras (muestras A y B) de $500 \pm 3 \text{ g}$ cada una para ser ensayadas en el picnómetro y una de $1000 \pm 5 \text{ g}$ para el ensayo de saturación al vacío.

7.1.3.3 Se permite que cada muestra se enfrie a temperatura ambiente.

7.1.3.4 Se coloca el picnómetro vacío en el sujetador y se empuja hasta que haga contacto con los topes.

7.1.3.5 Se pesa una muestra de $500 \pm 3 \text{ g}$ a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) y se registra su masa como A, con una aproximación de 0.1 g (columna A del formato del Anexo A).

7.1.3.6 Los pasos 7.1.3.7 a 7.1.3.14 se deberán completar en menos de 2 minutos.

7.1.3.7 Se vierten aproximadamente 500 ml de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) dentro del picnómetro. Esto equivale a llenarlo más o menos hasta la mitad (Figura 242 - 11).



Figura 242 - 11. Llenado de la mitad del picnómetro pequeño

7.1.3.8 Se coloca la muestra de manera lenta y uniforme dentro del picnómetro, verificando que no ocurra ninguna pérdida(Figura 242 - 12). De ser necesario, se empleará una brocha para barrer cualquier sobrante hacia el picnómetro. Si ocurren pérdidas, la prueba se deberá reiniciar.



Figura 242 - 12. Adición de la muestra al picnómetro

7.1.3.9 Se toma una espátula de metal y se empuja hacia la circunferencia interior del fondo del picnómetro (Figura 242 - 13). En seguida, se arrastra de manera suave y lenta hacia el centro del picnómetro repitiendo el procedimiento 7 veces más, hasta que toda la circunferencia interior del picnómetro quede cubierta en ocho ángulos iguales, es decir, cada 45° hasta que se vuelva a alcanzar el punto inicial. De ser necesario, se usará una botella con agua a presión para enjuagar dentro del picnómetro cualquier residuo de muestra que permanezca en la espátula.



Figura 242 - 13. Inserción de la espátula dentro del picnómetro

7.1.3.10 Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta, aproximadamente, 10 mm (3/8") del borde. Es importante que el agua se mantenga a 10 mm (3/8") o un poco más abajo, para evitar derrames durante la colocación de la tapa.

7.1.3.11 Empleando la botella con pulverizador llena de alcohol isopropílico se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas (Figura 242 - 14).



Figura 242 - 14. Aplicación de alcohol para remover las burbujas de aire

7.1.3.12 Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro y se aseguran las abrazaderas (Figura 242 - 15). Empleando la jeringa, se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) de manera lenta a través del orificio del vástagos de la tapa. Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro.

7.1.3.13 Se llena el picnómetro hasta que el agua rebose el orificio de 3 mm (1/8") ubicado en la superficie de la tapa.

7.1.3.14 Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.



Figura 242 - 15. Se coloca la tapa y se aseguran las abrazaderas

7.1.3.15 Se coloca el sujetador con el picnómetro en la balanza y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Valor de la columna B en el Anexo A).

7.1.3.16 Se repiten los pasos 7.1.3.6 a 7.1.3.15 con la segunda muestra de 500 ± 3 g (muestra B).

7.1.3.17 Se anota la masa de la muestra B, con aproximación a 0.1 g (Columna B del formato del Anexo A).

7.1.3.18 Se promedian las masas de las muestras A y B (Columna B del formato del Anexo A).

7.1.4 *Determinación de la densidad aparente (gravedad específica aparente):*

7.1.4.1 Se ajusta el nivel de presión de la cámara de vacío de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.1.4.2 Se toma una bolsa pequeña, verificando que no tenga roturas ni imperfecciones.

7.1.4.3 Se pesa la bolsa (Figura 242 - 16) y su masa se anota en la columna C del formato del Anexo A.



Figura 242 - 16. Pesaje de la bolsa vacía

- 7.1.4.4** Se pesan 1000 ± 5 g del agregado secado al horno y se registra su masa con aproximación a 0.1 g (Columna E del formato del Anexo A).
- 7.1.4.5** Se coloca cuidadosamente la muestra dentro de una bolsa plástica apropiada, mientras ésta se encuentre apoyada sobre la superficie de una mesa lisa, con el fin de protegerla contra roturas e impactos localizados (Figura 242 - 17).



Figura 242 - 17. Colocación de la muestra dentro de la bolsa plástica

- 7.1.4.6** Se coloca la bolsa con la muestra dentro de la cámara de vacío.
- 7.1.4.7** Se agarra la bolsa de sus dos lados y se sacude muy suavemente de lado a lado, sin oprimirla, para distribuir uniformemente su contenido, cuidando que ninguna porción de la muestra salga de ella. Apretar la bolsa puede causar perforaciones en ella, las cuales afectan adversamente los resultados del ensayo. Los agregados con alto contenido de material pasante del tamiz de 75 μm (No. 200) se deben empañar muy levemente, para que sostengan el polvo antes

del sellado de la bolsa. La muestra deberá quedar aplanada de la mejor manera posible dentro de la bolsa.

- 7.1.4.8** Se coloca el extremo abierto de la bolsa sobre la barra de sellado de la cámara de vacío (Figura 242 - 18) y se cierra la puerta. La unidad creará vacío y sellará la bolsa antes de que la puerta se vuelva a abrir.

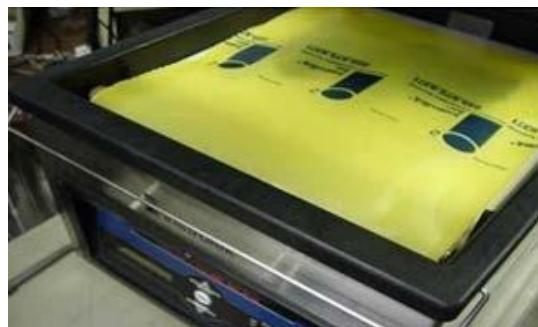


Figura 242 - 18. Extremo abierto de la bolsa plástica

- 7.1.4.9** Luego de que la puerta de la cámara se abra, se remueve con el mayor cuidado la bolsa que contiene la muestra e inmediatamente se sumerge en el tanque para agua, el cual tiene adaptada una balanza para el análisis del desplazamiento de agua (Figura 242 - 19a). Es muy importante que el paso de la bolsa de la cámara de vacío al tanque se efectúe con la mayor rapidez, ya que si se deja dentro de la cámara o se coloca sobre una mesa luego del sellado es posible que entre aire en ella, lo que se traduce en menores valores de la densidad aparente.



Figura 242 - 19. Inmersión y apertura de la bolsa plástica

7.1.4.10 Se cortan unos 25 a 50 mm (1 a 2") de una esquina de la bolsa, mientras la parte superior de ésta permanece, cuando menos, 50 mm (2") bajo la superficie del agua (Figura 242 - 19b). Se debe verificar que la bolsa se encuentre totalmente sumergida antes del corte, ya que el ingreso de aire dentro de ella altera los resultados del ensayo.

7.1.4.11 Se abre la bolsa en el sitio del corte y se mantiene abierta por 45 segundos, para que el agua ingrese en ella. Se debe permitir el escape de todas las burbujas de aire. La muestrano se debe sacudir, ya que ello puede ocasionar el escape de finos de la bolsa.

7.1.4.12 Una vez que el agua ha ingresado a la bolsa, se cortan unos 25 a 50 mm (1 a 2") de la otra esquina. Se saca toda burbuja de aire residual de la parte superior de la bolsa a través de los cortes, deslizando los dedos a través de la parte superior de la bolsa.

7.1.4.13 Se coloca la bolsa con el agregado en la canasta de pesaje que está dentro del agua y se determina la masa con aproximación a 0.1 g. Se debe doblar la bolsa antes de colocarla en la canasta. Sin embargo, una vez dentro de la canasta, se debe desdobljar para permitir que el agua entre libremente en ella. La bolsa con la muestra se debe conservar todo el tiempo bajo agua. Se debe verificar que la bolsa no toca el fondo ni los lados del tanque, ni tampoco asoma por encima de la superficie del agua. Si ello sucede, los resultados de la prueba se verán afectados.

7.1.4.14 Se deja la muestra dentro del agua durante un lapso mínimo de 15 minutos.

7.1.4.15 Se anota la masa de la muestra con la bolsa dentro de agua, con aproximación a 0.1 g (Columna F del formato del Anexo A).

7.1.4.16 Los fabricantes del equipo suministran un programa de cómputo en el cual se pueden ingresar los datos y obtener automáticamente los resultados. Alternativamente, el usuario puede elaborar su propio programa u hoja de cálculo, empleando las ecuaciones incluidas en la Sección 8.

7.2 Método B, ensayo del agregado grueso y de agregados combinados

7.2.1 Se verifica que la temperatura del agua que se va a emplear en el ensayo de encuentre a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.2.2 Antes del ensayo, se debe acondicionar el picnómetro a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo en un tanque con agua a dicha temperatura.

7.2.3 *Determinación de la densidad aparente bulk:*

7.2.3.1 Se verifica que las muestras se encuentren secas a masa constante.

7.2.3.2 Para un solo ensayo, se seleccionan y separan dos muestras (muestras A y B) de $1000 \pm 10 \text{ g}$ cada una para ser ensayadas en el picnómetro, y una de $2000 \pm 10 \text{ g}$ para el ensayo de saturación al vacío.

7.2.3.3 Se permite que cada muestra se enfríe a temperatura ambiente.

7.2.3.4 Se coloca el picnómetro sobre una superficie a nivel.

7.2.3.5 Se pesa una muestra de $1000 \pm 10 \text{ g}$ a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) y se registra su masa como A, con una aproximación de 0.1 g (columna A del formato del Anexo A).

7.2.3.6 Los pasos 7.2.3.7 a 7.2.3.17 se deberán completar en menos de 2 minutos.

7.2.3.7 Se vierten aproximadamente 1000 ml de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) dentro del picnómetro. Esto equivale a llenarlo más o menos hasta la mitad (Figura 242 - 20).



Figura 242 - 20. Pycnómetro grande lleno de agua hasta la mitad

- 7.2.3.8** Empleando un procedimiento adecuado, se coloca la muestra de manera lenta y uniforme dentro del pycnómetro, verificando que no ocurra ninguna pérdida (Figura 242 - 21). En caso de que ocurra, la prueba se deberá reiniciar.
- 7.2.3.9** Se toma una espátula de metal y se hunde hacia la circunferencia interior del fondo del pycnómetro (Figura 242 - 22). En seguida y para remover las bolsas de aire, se arrastra la espátula de manera suave y lenta hacia el centro del pycnómetro repitiendo el procedimiento 7 veces más, hasta que toda la circunferencia interior del pycnómetro quede cubierta en ocho ángulos iguales, es decir, cada 45° hasta que se vuelva a alcanzar el punto inicial. De ser necesario, se usará una botella con agua a presión para enjuagar dentro del pycnómetro cualquier residuo de muestra que permanezca en la espátula.



Figura 242 - 21. Adición de la muestra al pycnómetro



Figura 242 - 22. Inserción de la espátula dentro del picnómetro

7.2.3.10 Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ C$ ($77 \pm 1.8^\circ F$) hasta, aproximadamente, 10 mm (3/8") del borde. Es importante que el agua se mantenga a 10 mm (3/8") o un poco más abajo, para evitar derrames durante la colocación de la tapa.

7.2.3.11 Empleando la botella con pulverizador llena de alcohol isopropílico se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas (Figura 242 - 23).

7.2.3.12 Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro (Figura 242 - 24). Empleando la jeringa, se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ C$ ($77 \pm 1.8^\circ F$) de manera lenta a través del orificio del vástago de la tapa. Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajoel nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro.

7.2.3.13 Se llena el picnómetro hasta que el agua rebosa el orificio de 3 mm (1/8") ubicado en la superficie de la tapa.

7.2.3.14 Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.

7.2.3.15 Se pesa el picnómetro y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Valor de la columna B en formato del Anexo A).



Figura 242 - 23. Rocío de alcohol para remover burbujas de aire



Figura 242 - 24. Colocación de la tapa del picnómetro

7.2.3.16 Se repiten los pasos 7.2.3.6 a 7.2.3.15 con la segunda muestra de 1000 ± 10 g (muestra B).

7.2.3.17 Se anota la masa de la muestra B, con aproximación a 0.1 g (Columna B del formato del Anexo A).

7.2.3.18 Se promedian las masas de las muestras A y B (Columna B del formato del Anexo A).

7.2.4 *Determinación de la densidad aparente (gravedad específica aparente):*

7.2.4.1 Se ajusta el nivel de presión de la cámara de vacío de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.2.4.2 Se toman una bolsa plástica pequeña y una grande, verificando que no tengan roturas ni imperfecciones. Si las tienen, se deberán reemplazar.

- 7.2.4.3** Se pesan las dos bolsas y su masa, aproximada a 0.1 g, se anota en la columna C del formato del Anexo A.
- 7.2.4.4** Se pesan dos láminas de caucho y su masa, aproximada a 0.1 g, se anota en la columna D del formato del Anexo A.
- 7.2.4.5** Se pesan 2000 ± 10 g del agregado secado al horno y seregistra su masa con aproximación a 0.1 g (Columna E del formato del Anexo A).
- 7.2.4.6** Se coloca cuidadosamente la muestra dentro de la bolsa plástica pequeña, mientras ésta se encuentre apoyada sobre la superficie de una mesa lisa, con el fin de protegerla contra roturas e impactos localizados.
- 7.2.4.7** Se coloca la bolsa grande dentro de la cámara de vacío y luego se introduce una de las láminas de caucho en esa bolsa (Figura 242 - 25). La lámina debe estar plana y centrada en la bolsa, y debe quedar contra la parte posterior de ésta.



Figura 242 - 25. Colocación de la primera lámina de caucho dentro de la bolsa grande

- 7.2.4.8** Se coloca la bolsa pequeña, que contiene la muestra, dentro de la bolsa grande, centrada en la parte superior de la lámina de caucho y se sacude muy suavemente de lado a lado, sin oprimirla, para distribuir uniformemente su contenido, cuidando que el espacio ocupado por la muestra quede totalmente dentro del área de las láminas de caucho (Figura 242 - 26). Los agregados con alto contenido de material pasante del tamiz de 75 µm (No. 200) se deben empañar muy levemente, para que sostengan el polvo antes del sellado de la bolsa.



Figura 242 - 26. Colocación de la bolsa pequeña con la muestra dentro de la bolsa grande

7.2.4.9 Se coloca la otra lámina de caucho sobre la bolsa pequeña, dentro de la bolsa grande. La bolsa pequeña deberá quedar, en su totalidad, entre las dos láminas de caucho (Figura 242 - 27). Es muy importante que las dos láminas de caucho no restrinjan la abertura de la bolsa pequeña.



Figura 242 - 27. Colocación de la segunda lámina de caucho sobre la bolsa pequeña

7.2.4.10 Se coloca el extremo abierto de la bolsa grande sobre la barra de sellado de la cámara de vacío y se cierra la puerta. Se debe verificar que las láminas de caucho no queden sobre la barra. La unidad creará vacío y sellará la bolsa antes de que la puerta se vuelva a abrir.

7.2.4.11 Luego de que la puerta de la cámara se abra, se remueve la bolsa con el mayor cuidado, verificando que las láminas de caucho cubran totalmente el agregado (Figura 242 - 28), e inmediatamente se sumerge en el tanque para agua, el cual está adaptado a una balanza para el análisis del desplazamiento de agua.



Figura 242 - 28. Bolsas extraídas de la cámara de vacío

7.2.4.12 Se cortan unos 75 a 100 mm (3 a 4") de una esquina de la bolsa grande, mientras ésta permanece, cuando menos, 50 mm (2") bajo la superficie del agua. Se debe verificar que la bolsa se encuentre totalmente sumergida antes del corte, ya que el ingreso de aire dentro de ella altera los resultados del ensayo.

7.2.4.13 Se abre con las manos la bolsa grande en el sitio del corte, así como la totalidad de la pequeña y se mantienen abiertas por 25 segundos, para que el agua ingrese libremente dentro de ellas. Se debe permitir el escape de todas las burbujas de aire.

7.2.4.14 Una vez que el agua ha ingresado a las bolsas, se cortan unos 75 a 100 mm (3 a 4") de la otra esquina de la bolsa grande. Se saca toda burbuja de aire residual de la parte superior de la bolsa a través de los cortes, deslizando los dedos a través de la parte superior de la bolsa.

7.2.4.15 Se colocan las bolsas con las láminas de caucho y el agregado en la canasta de pesaje que está dentro del agua y se determina la masa con aproximación a 0.1 g. Se puede doblar la bolsa grande antes de colocarla en la canasta. Sin embargo, una vez dentro de ésta, se debe desdoblar para permitir que el agua entre libremente en la bolsa.

7.2.4.16 La bolsa grande se debe conservar todo el tiempo bajo agua. Se debe verificar, además, que no toque el fondo ni los lados del tanque, ni que asome por encima de la superficie del agua. Si ello sucede, los resultados de la prueba se verán afectados.

7.2.4.17 Se deja la muestra dentro del agua durante un lapso mínimo de 20 minutos.

7.2.4.18 Se anota la masa sumergida, con aproximación a 0.1 g (Columna F del formato del Anexo A).

7.2.4.19 Los fabricantes del equipo suministran un programa de cómputo en el cual se pueden ingresar los datos y obtener automáticamente los resultados. Alternativamente, el usuario puede elaborar su propio programa u hoja de cálculo, empleando las ecuaciones incluidas en la Sección 8.

8 CÁLCULOS

8.1 Como resultado de este ensayo se calculan dos densidades. Una totalmente saturada (densidad relativa aparente), ρ_v , y la otra en estado no saturado a través del uso del picnómetro (densidad aparente bulk), ρ_u .

$$\rho_u = \frac{M_a}{V_a} \quad [242.1]$$

$$\rho_v = \frac{M_a}{V_a - V_{abs}} \quad [242.2]$$

$$V_{abs} = \frac{a \times M_a}{\rho_w} \quad [242.3]$$

Donde: a: Absorción de la fracción;

ρ_v : Densidad relativa aparente;

ρ_u : Densidad aparente bulk;

V_a : Volumen de la muestra, incluidos los poros;

V_{abs} : Volumen de los poros;

M_a : Masa de la muestra;

ρ_w : Densidad del agua.

8.1.1 Sustituyendo la tercera ecuación en la segunda:

$$\rho_v = \frac{1}{M_a} = \frac{1}{\rho_u^1 - \frac{a}{\rho_w}} \quad [242.4]$$

8.1.2 Despejando de esta ecuación el valor “a”:

$$a = \frac{\rho_v - \rho_u}{\rho_v} \times \rho_u \times \rho_w \times 100 \quad [242.5]$$

Nota 8: La densidad aparente bulk (densidad no saturada), ρ_u , se determina empleando un picnómetro calibrado. Esta medida se debe completar en menos de dos minutos. La razón para exigir este periodo es tener la certidumbre de que la absorción por parte del agregado se mantiene en un nivel mínimo. No obstante, la cantidad de agua absorbida por el agregado varía durante los 2 minutos, dependiendo del tipo de agregado. Por tal razón, se realiza una calibración en la fábrica con diferentes niveles de vacío. De manera alternativa, los usuarios pueden establecer correlaciones a partir de agregados conocidos en el área. Los parámetros de corrección obtenidos durante la calibración son utilizados automáticamente por el programa de software suministrado por el fabricante. Las correcciones obtenidas por los usuarios se pueden usar con las ecuaciones presentadas en esta Sección para calcular los resultados.

8.1.3 Conocidas la absorción y la densidad relativa aparente, se pueden escribir ecuaciones basadas en la masa de la muestra:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A)}{\Delta} \times 100 \quad [242.6]$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \rho_v = \frac{A}{C} \quad [242.7]$$

Donde: A: Masa de la muestra secada en el horno, g;

B: Masa de la muestra en el aire, en condición saturada y superficialmente seca, g;

C: Masa de la muestra sumergida en agua, g.

8.1.4 A partir de las dos expresiones del numeral 8.1.3 se determinan las masas B y C:

$$B = \frac{\text{Absorción (\%)} \times A}{100} + A \quad [242.8]$$

$$C = A - \frac{A}{\text{Densidad relativa aparente}} \quad [242.9]$$

8.1.5 Conocidos los valores B y C, las densidades relativas (gravedades específicas) se pueden calcular con las expresiones:

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica), base SSS} = \frac{B}{B - C} \quad [242.10]$$

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica), base SH} = \frac{A}{A - C} \quad [242.11]$$

9 INFORME

9.1 Se debe informar lo siguiente:

9.1.1 Densidad relativa (gravedad específica) y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), con cuatro cifras significativas.

9.1.2 Absorción de agua, aproximada a 0.01 %.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con este método son los mostrados en las Tablas 242 - 1 y 242 - 2, según el *NCAT Report Number 05-07* (agregado fino) y una prueba realizada en el laboratorio de materiales del DOT de Missouri, en Jefferson City (agregado grueso).

10.1.1 La estimación para el agregado fino se basó en el estudio de 6 tipos diferentes de agregados, incluyendo calizas, diabasas con contenidos de finos medios y altos, escorias, arena natural redondeada y arena natural angular.

Tabla 242 - 1. Precisión (agregado fino)

AGREGADO FINO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN UN LABORATORIO (1s)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ENTRE LABORATORIOS (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS EN UN MISMO LABORATORIO (d2s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS ENTRE LABORATORIOS (d2s)
% absorción de agua	0.18	0.26	0.51	0.74
Densidad relativa aparente	0.0043	0.006	0.012	0.014
Densidad relativa	0.0154	0.0205	0.044	0.058

Tabla 242 - 2. Precisión (agregado grueso)

AGREGADO GRUESO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN 1 LABORATORIO (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS EN UN MISMO LABORATORIO (d2s)
% absorción de agua	0.0875	0.2475
Densidad relativa aparente	0.0097	0.0274
Densidad relativa	0.00524	0.0148

10.1.2 La estimación para el agregado grueso se basó en 13 muestras de agregados, 7 de calizas, 4 de dolomitas, un granito y una escoria de acero. Cada uno de los 13 agregados fue ensayado 4 veces por el mismo operador.

10.2 Sesgo – No se presenta información en relación con el sesgo de este procedimiento, puesto que no se dispone de un valor de referencia aceptable.

11 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D 7370-09

INSTROTEK INC., “Determination of percent absorption and specific gravity of coarse and fine aggregates using the AggPlus System”, Raleigh, NC 27627, January 2003

ANEXO A**(Informativo)****FORMATO PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS**

11.1 Este formato se incluye como referencia y puede ser empleado por los usuarios de esta norma, si no han desarrollado otro método para el registro de los datos.

Solo agregado fino:**Masa del picnómetro lleno de agua (incluido el sujetador)**

1. _____ 2. _____ 3. _____ Promedio _____

Solo agregado grueso:**Masa del picnómetro lleno de agua**

1. _____ 2. _____ 3. _____ Promedio _____

NÚMERO DE LA MUESTRA	TANTEO NÚMERO	AGREGADO (GRUESO O FINO)	A. MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	B. MASA DE LA MUESTRA EN EL PICNÓMETRO LLENO DE AGUA (g)	C. MASA DE LA BOLSA (g)	D. MASA DE 2 LÁMINAS DE CAUCHO (g)	E. MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	F. MASA DE LA MUESTRA SELLADA ABIERTA BAJO AGUA (g)
Muestra A								
Muestra B								
Muestra C*								
Promedio								
Muestra A								
Muestra B								
Muestra C*								
Promedio								
Muestra A								
Muestra B								
Muestra C*								
Promedio								

* El tanteo con la muestra C solo es necesario cuando la diferencia de las masas de la columna B para las 2 primeras muestras es mayor de 1 g para los agregados finos y de 2 g para los agregados gruesos.