

# DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS

INV E – 123 – 13

## 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75  $\mu\text{m}$  (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de las partículas menores de 75  $\mu\text{m}$  se determina por un proceso de sedimentación empleando un hidrómetro (nota 1 y nota 2).

*Nota 1: Si se desea, la separación de la muestra para aplicar el método descrito en esta norma se puede hacer en el tamiz No 4 (4.75 mm), en el No. 40 (425  $\mu\text{m}$ ), o en el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ), en vez del tamiz No 10. Se debe mencionar en el informe cuál fue el tamiz utilizado.*

*Nota 2: Se estipulan dos tipos de aparatos de dispersión: (1) un mezclador mecánico de alta velocidad y (2) dispersión por aire. Los resultados de muchas investigaciones indican que los equipos de dispersión por aire producen una dispersión más positiva en suelos finos plásticos con tamaños inferiores a 20  $\mu\text{m}$ , así como una degradación apreciablemente inferior en todos los tamaños, cuando se usa con suelos arenosos. Debido a las ventajas definitivas de la dispersión por aire, se recomienda su uso. Los resultados obtenidos con los dos aparatos difieren en magnitud, dependiendo del tipo de suelo, especialmente para tamaños menores de 20  $\mu\text{m}$ .*

- 1.2** Esta norma reemplaza las normas INV E-123-07 e INV E-124-07.

## 2 EQUIPO

- 2.1** *Dos balanzas* – Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10) y otra con sensibilidad de 0.1 % de la masa de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2.0 mm (No. 10).
- 2.2** *Tamices de malla cuadrada* – Un juego completo de tamices, que incluye los siguientes:

75 mm (3")	2.00 mm (No. 10)
50 mm (2")	850 $\mu\text{m}$ (No. 20)
37.5 mm (1-½")	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)
25 mm (1")	250 $\mu\text{m}$ (No. 60)
19.0 mm (¾")	106 $\mu\text{m}$ (No. 140)
9.5 mm (3/8")	75 $\mu\text{m}$ (No. 200)
4.75 mm (No. 4)	

**2.2.1** De manera alternativa, se puede usar una serie de tamices tal, que al dibujar la curva granulométrica, se obtenga una separación uniforme entre los puntos del gráfico. Esta serie está integrada por los siguientes tamices:

75 mm (3")	1.10 mm (No. 16)
37.5 mm (1-½")	600 μm (No. 30)
19.0 mm (¾")	300 μm (No. 50)
9.5 mm (3/8")	150 μm (No. 100)
4.75 mm (No. 4)	75 μm (No. 200)
2.36 mm (No. 8)	

**2.3** *Aparato agitador* – Se pueden emplear dos aparatos, denominados A y B:

**2.3.1** *Aparato A* - Un agitador operado mecánicamente, en el cual un motor eléctrico apropiado hace girar un eje vertical a una velocidad no menor de 10 000 revoluciones por minuto, sin carga. El eje debe estar equipado con una paleta agitadora reemplazable, hecha de metal, plástico o caucho duro, como se muestra en la Figura 123 - 1. El eje debe ser de una longitud tal, que la paleta agitadora pueda operar a no menos de 19 mm (¾") ni más de 38.1 mm (1½") por encima del fondo del recipiente de dispersión. El recipiente de dispersión, que se debe ajustar a alguno de los diseños mostrados en la Figura 123 - 2, deberá contener la totalidad de la muestra mientras ella está siendo dispersada.

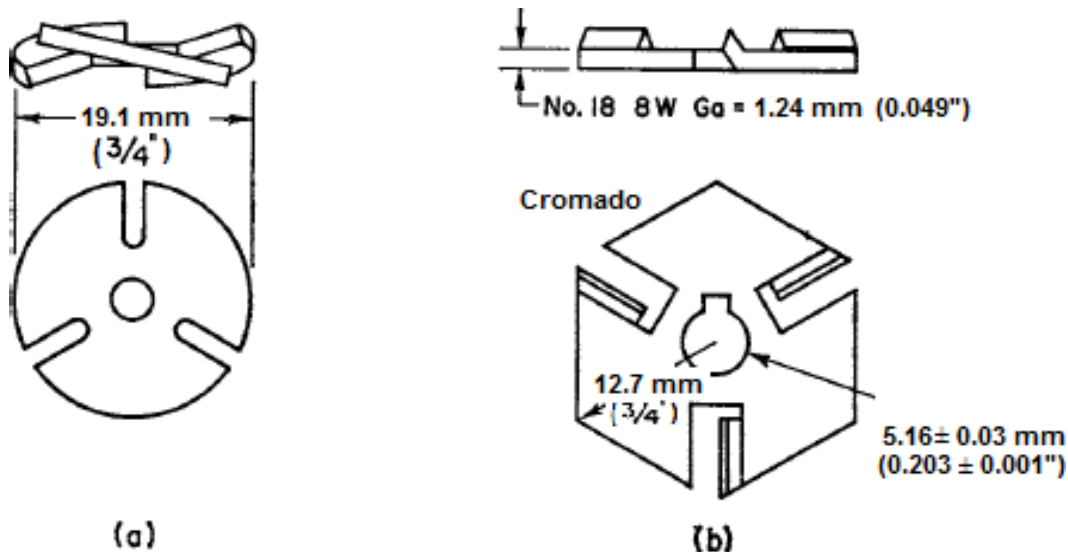


Figura 123 - 1. Detalles de paletas agitadoras

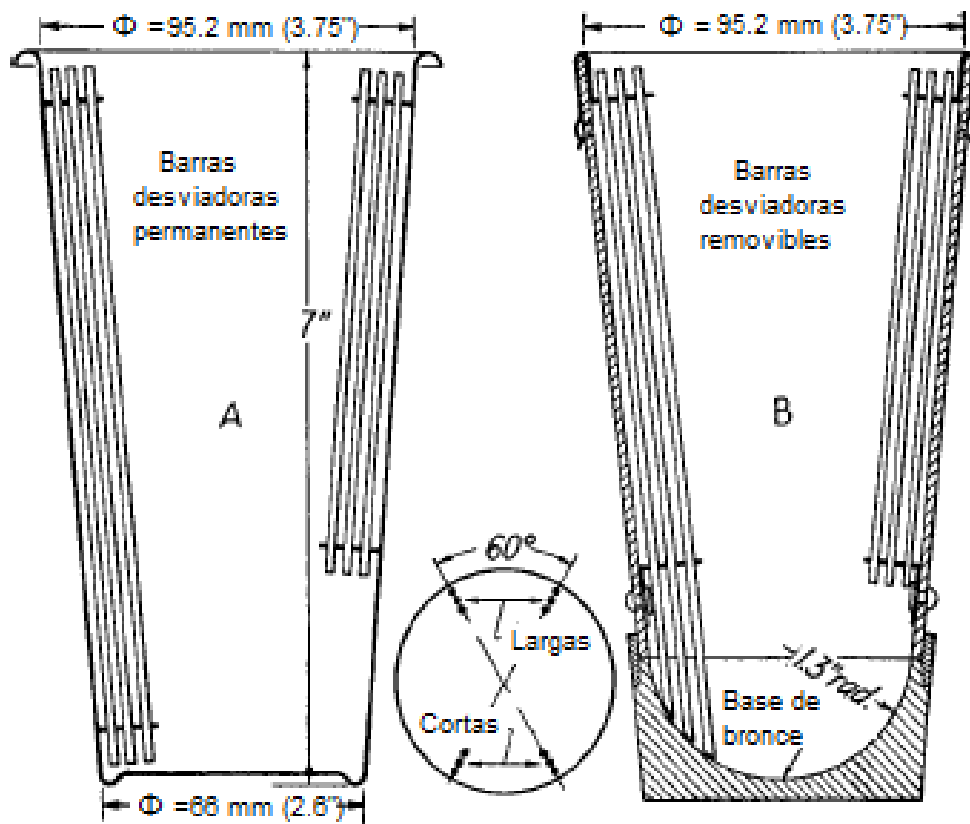


Figura 123 - 2. Recipientes de dispersión del Aparato A

**2.3.2 Aparato B** – Un recipiente de dispersión de chorro de aire, conforme con los detalles generales que muestra la Figura 123 - 3.

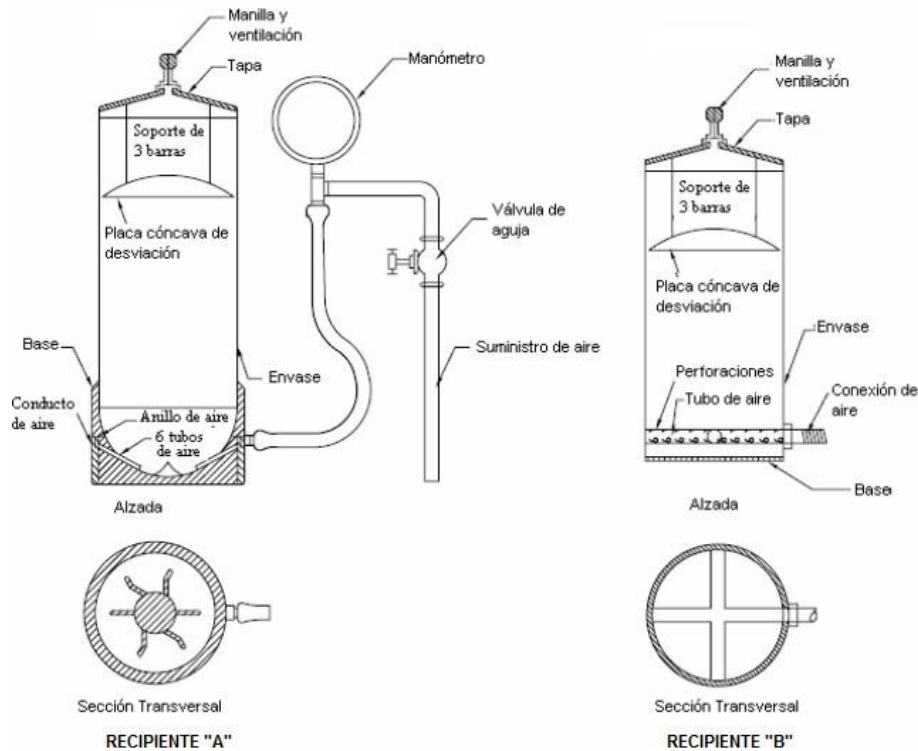


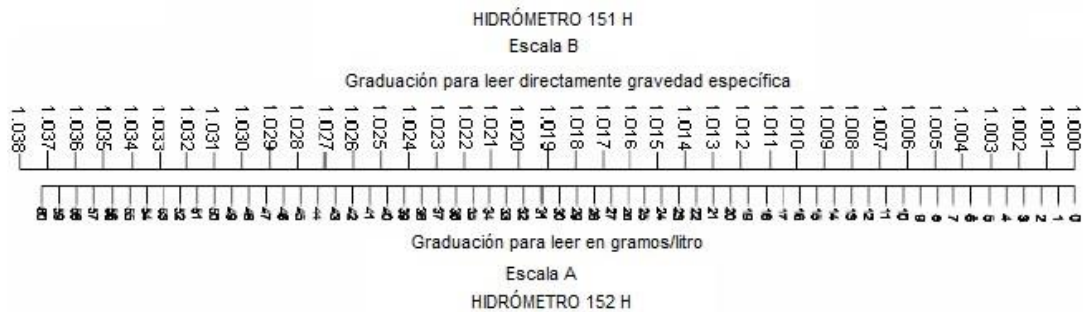
Figura 123 - 3. Recipientes de dispersión de chorro de aire del Aparato B

*Nota 3: La cantidad de aire requerida para un recipiente de dispersión de chorro de aire (por inyección) es del orden de  $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $2 \text{ pies}^3/\text{min}$ ); algunos compresores de aire pequeños no tienen la capacidad para proporcionar el aire suficiente para operar el recipiente.*

*Nota 4: Otro tipo de aparato de dispersión de aire, conocido como tubo de dispersión, desarrollado por Chu y Davidson en el Iowa State Collage, da resultados equivalentes a aquellos obtenidos con los recipientes de chorro de aire. Cuando se usa este aparato, la saturación de la muestra se puede hacer directamente en el cilindro de sedimentación, eliminando así la necesidad de transferir la lechada. Si se utiliza el tubo de dispersión, se debe hacer mención de ello en el informe.*

*Nota 5: El agua se puede condensar en los tubos de aire cuando ellos no están en uso. Esta agua debe ser retirada, ya sea usando una trampa de agua en la tubería de aire o soplando el agua fuera de la tubería antes de usar el aire con fines de dispersión.*

**2.4 Hidrómetro** – Conforme a los requisitos para los hidrómetros 151 H o 152 H de la norma ASTM E 100, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de gravedad específica que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20° C (68° F). Este hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso, la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de - 5 a + 60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto de que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20° C (68° F) y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2.65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas, siendo la escala la única característica que los distingue (Figura 123 - 4).



La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1.000 a 20° C (68° F) y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0.995 hasta 1.038. La escala gramos/Litro debe extenderse desde -5 g/l, con respecto a cero (1.000 de gravedad específica) hasta 60 g/l. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplarse dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto.

El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se especifique pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo.

La exactitud de la escala debe ser de  $\pm$  una división de la misma. Distribuido uniformemente en toda su longitud.

- Hidrómetros provistos de escala "B" deben ser identificados como No. 151 H
- Hidrómetros provistos de escala "A" deben ser identificados como No. 152 H

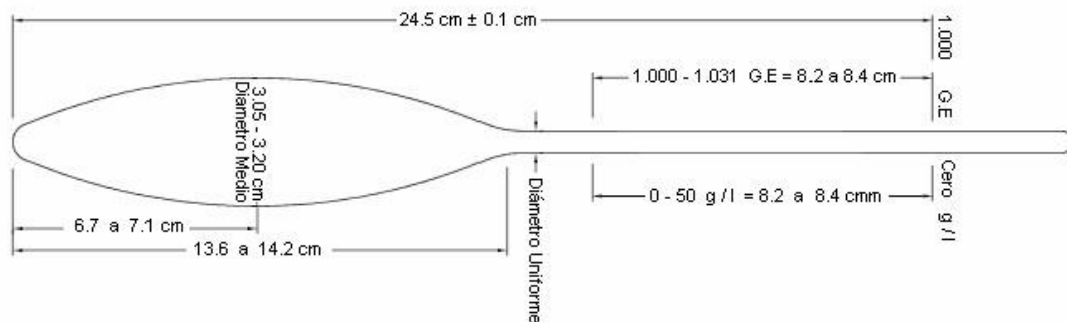


Figura 123 - 4. Hidrómetro

**2.5 Cilindro de vidrio para sedimentación** – De unos 457 mm (18") de alto y 63.5 mm (2½") de diámetro, y marcado para un volumen de 1000 ml a 20° C (68°

F). El diámetro interior debe ser tal, que la marca de 1000 ml se encuentre a  $360 \pm 20$  mm ( $14 \pm 1.0$ " ) del fondo, en el interior del cilindro (Figura 123 - 5).



Figura 123 - 5. Cilindros para sedimentación

- 2.6 *Termómetro de inmersión* – Con apreciación de  $0.5^{\circ}$  C ( $0.9^{\circ}$  F).
- 2.7 *Cronómetro o reloj.*
- 2.8 *Horno* – Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta  $110 \pm 5^{\circ}$  C ( $230 \pm 9^{\circ}$  F).
- 2.9 *Baño de agua o cuarto de temperatura constante* – Se utiliza para mantener la suspensión de suelo a temperatura constante durante el análisis del hidrómetro, evitándose de esta forma las correcciones por temperatura. Un baño de agua satisfactorio, es un tanque con aislamiento que mantiene la suspensión a una temperatura constante conveniente, del orden de  $20^{\circ}$  C ( $68^{\circ}$  F). Este aparato se muestra en la Figura 123 - 6. En aquellos casos en los cuales el trabajo se lleve a cabo en un cuarto con temperatura constante controlada automáticamente, el baño de agua no es necesario.

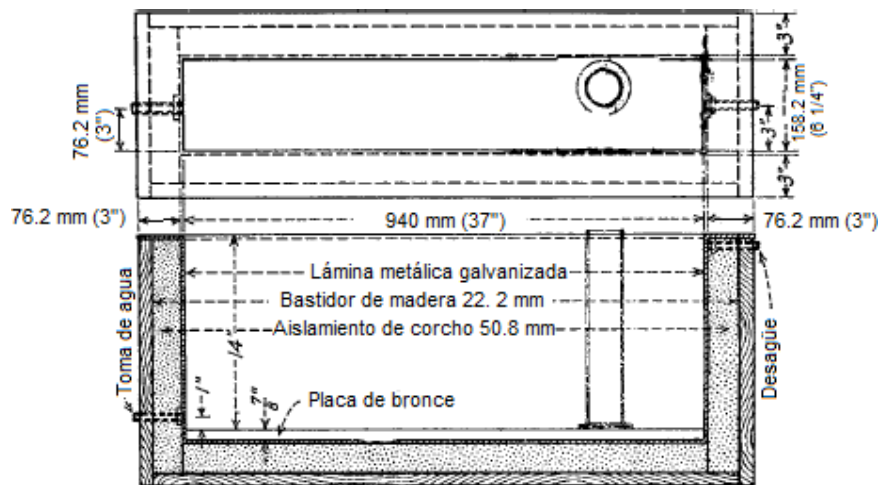


Figura 123 - 6. Esquema del baño de agua

- 2.10** *Vaso de precipitados (Beaker)* – Con una capacidad de 250 ml.
- 2.11** *Recipientes* – Recipientes apropiados, hechos de material no corrosible y que no estén sujetos a cambio de masa o desintegración a causa de repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deben tener tapas que se ajusten perfectamente, para evitar pérdidas de humedad antes de determinar la masa inicial de las muestras y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la determinación de la masa final.
- 2.12** *Varilla de vidrio* – Una varilla de vidrio apropiada para agitar la muestra.
- 2.13** *Cepillo y brocha* – Para limpiar las mallas de los tamices.

### 3 REACTIVOS

- 3.1** *Agente dispersante* – Una solución de hexametáfosfato de sodio en agua destilada o desmineralizada, en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución (nota 6).

*Nota 6: Las soluciones de esta sal se deberán ser preparar frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9, por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener marcada la fecha de preparación.*

- 3.2** *Agua* – Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para la prueba con el hidrómetro se deberá llevar hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo. Por ejemplo, si el cilindro de sedimentación se

va a colocar en el baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que se va a utilizar se deberá llevar a la temperatura controlada de dicho baño; o si el cilindro de sedimentación se va a colocar en el cuarto de temperatura controlada, el agua para el ensayo se deberá encontrar a la temperatura del cuarto. La temperatura normal de ensayo es 20° C (68° F).

## 4 MUESTRA

**4.1** Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico como se describe en la norma INV E –106, la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No. 10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado. La masa del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la norma INV E–106, deberá ser suficiente para producir las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

**4.1.1** Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No. 10), la masa dependerá del tamaño máximo de partícula, como se indica a continuación:

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aproximada de la porción, g
9.5 mm (3/8")	500
19.0 mm (3/4")	1000
25.4 mm (1")	2000
38.1 mm (1 ½")	3000
50.8 mm (2")	4000
76.2 mm (3")	5000

**4.1.2** El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No. 10) será, aproximadamente, de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos limosos y arcillosos.

**4.2** En la norma INV E–106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, para la separación del suelo sobre el tamiz de 2.0 mm (No. 10) por medio del tamizado en seco y lavado, y para la pesada de la fracción lavada y secada, retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10). Con estas dos masas, se pueden calcular los porcentajes retenido y que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), de acuerdo con el numeral 7.1.



*Nota 7: Se pueden comprobar las masas, así como la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) y agregándole este valor a la masa de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el mismo tamiz.*

## **5 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO, DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 2.0 mm (No. 10)**

---

- 5.1** La porción de muestra retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) se separa en una serie de fracciones, usando los tamices de 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1 ½"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (⅜"), 4.75 mm (No. 4) y 2.00 mm (No. 10), o los que sean necesarios, dependiendo de la muestra o de las especificaciones aplicables al material que se ensaya.
- 5.2** En la operación de tamizado manual se sacude(n) el tamiz o tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias, de forma que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre las mallas. En ningún caso se permite girar o manipular fragmentos de la muestra para que pasen a través de un tamiz. Al desmontar los tamices se debe comprobar que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas atrapadas en la malla, se deben separar con una brocha o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, el resultado se puede verificar usando el método manual.
- 5.3** Se determina la masa de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de las masas de todas las fracciones y la masa inicial de la muestra no deben diferir en más de 1 %.

## **6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EL TAMIZ DE 2.0 mm (No. 10)**

---

### **6.1** *Determinación de la corrección compuesta para la lectura del hidrómetro*

- 6.1.1** Las ecuaciones para los porcentajes de suelo que permanecen en suspensión, indicadas en el numeral 7.3.3, se basan en el uso de agua destilada o desmineralizada. Sin embargo, como se usa un agente dispersante en el agua, la gravedad específica del líquido resultante es apreciablemente mayor que la del agua sola.

- 6.1.2** Ambos hidrómetros se deben calibrar a 20° C (68° F) y las variaciones de temperatura producen imprecisiones en las lecturas reales del hidrómetro, las cuales son mayores a medida que la variación con respecto a la temperatura normalizada se hace más grande.
- 6.1.3** Los hidrómetros son graduados por los fabricantes para ser leídos en la parte inferior del menisco formado por el líquido en el vástago del hidrómetro. Puesto que no es posible asegurar que las lecturas de las suspensiones de suelo se harán exactamente en la parte inferior del menisco, éstas se toman en la parte superior y se aplica una corrección.
- 6.1.4** La magnitud neta de las correcciones por los tres motivos mencionados se denomina "corrección compuesta" y se puede determinar de manera experimental.
- 6.1.5** Por conveniencia, se puede elaborar y utilizar, siempre que sea necesario, un gráfico o una tabla de correcciones compuestas, para una serie de diferencias de temperatura de 1° C para el rango esperado de variaciones en la temperatura de ensayo. Las medidas de las correcciones compuestas se pueden efectuar a dos temperaturas extremas que abarquen el rango esperado de temperaturas de ensayo y las correcciones para las temperaturas intermedias se pueden calcular asumiendo una variación lineal recta entre los dos valores observados.
- 6.1.6** Se prepara 1 litro de líquido, compuesto por agua y agente dispersante, en las proporciones previstas para el ensayo de sedimentación (hidrómetro). Se coloca el líquido en el cilindro para sedimentación y se lleva el cilindro al baño de agua de temperatura constante, dispuesto a una de las dos temperaturas que se van a usar. Cuando la temperatura del líquido alcanza la del baño, se inserta el hidrómetro en el cilindro y, luego de un corto lapso para permitir que el hidrómetro también alcance la temperatura del líquido, se toma una lectura en la parte superior del menisco formado en el vástago. Para el hidrómetro 151 H, la corrección compuesta es la diferencia entre esta lectura y uno (1); mientras que para el hidrómetro 152 H es la diferencia entre la lectura y cero (0). A continuación, se llevan el líquido y el hidrómetro a la otra temperatura elegida y se determina de la misma manera la otra corrección compuesta.

## 6.2 Humedad higroscópica

**6.2.1** Cuando una muestra de suelo secado al aire se pesa para el ensayo del hidrómetro, se debe pesar una segunda porción de 10 a 15 g en un pequeño recipiente metálico o de vidrio, la cual se seca en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) hasta masa constante y se pesa de nuevo. Se anotan los dos valores y se calcula la humedad higroscópica ( $w$ ) de acuerdo con la norma INV E-122.

## 6.3 Dispersión de la muestra de suelo

**6.3.1** Cuando en el suelo prevalecen las partículas de limo y arcilla, se pesa una muestra de suelo secado al aire de, aproximadamente, 50 g. Si el suelo es predominantemente arenoso, la muestra deberá ser del orden de 100 g.

**6.3.2** Se coloca la muestra en el vaso de vidrio de 250 ml y se cubre con 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/litro). Se agita con la varilla de vidrio hasta que el suelo esté humedecido completamente y se permite su saturación durante 16 horas, como mínimo.

**6.3.3** Terminado el período de saturación, se dispersa nuevamente la muestra utilizando uno de los aparatos agitadores (A o B). Si se usa el aparato A, se transfiere la lechada suelo-agua del vaso al recipiente de dispersión mostrado en la Figura 123 - 2, lavando con agua cualquier residuo del vaso dentro del recipiente (nota 8). Si es necesario, se añade más agua para llenar el recipiente de dispersión más arriba de la mitad. En seguida, se agita durante un (1) minuto.

*Nota 8: Se recomienda el uso de una jeringa grande para el manejo del agua durante la operación de lavado. También, se pueden emplear una botella rociadora de agua o una manguera conectada a un tanque con agua destilada a presión.*

**6.3.4** Si se usa el aparato B (Figura 123 - 3), se remueve la tapa de cubierta y se conecta el recipiente a una fuente de aire comprimido, por medio de una manguera plástica. Debe existir un manómetro en la línea, entre el recipiente y la válvula de control. Se abre la válvula de manera que el manómetro marque una presión de 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>) (nota 9). Se transfiere la lechada del vaso al recipiente de dispersión a chorro, lavando con agua cualquier residuo del vaso dentro del recipiente. De ser necesario, se añade agua hasta el volumen ocupado en el recipiente sea, como máximo, 250 ml.

*Nota 9: Se requiere una presión inicial de 7 kPa (1 lbf/pg<sup>2</sup>) para evitar que la lechada suelo- agua penetre dentro de la cámara de aire cuando se está transfiriendo al recipiente de dispersión.*

- 6.3.5** Se coloca la tapa de cubierta sobre el recipiente y se abre la válvula de control de aire hasta que se alcance una presión de 140 kPa (20 lbf/pg<sup>2</sup>). Se dispersa el suelo según su plasticidad, de acuerdo con el tiempo que se muestra a continuación. Luego del período de dispersión, se reduce la presión a 7 kPa (1 lb/pg<sup>2</sup>).

Índice de plasticidad	Período de dispersión
≤ 5	5 minutos
6 - 20	10 minutos
> 20	15 minutos

*Nota 10: Los suelos que contienen cantidades apreciables de mica se deben dispersar solamente durante un (1) minuto.*

#### **6.4** Ensayo del hidrómetro

- 6.4.1** Terminada la dispersión, se transfiere la lechada suelo-agua al cilindro para sedimentación y se añade agua destilada o desmineralizada, hasta que el volumen total sea 1000 ml.
- 6.4.2** Poniendo la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro (o colocando un tapón de caucho), se voltea el cilindro patas arriba y viceversa durante un minuto para completar la agitación de la lechada (nota 11). Al término del minuto, se coloca el cilindro sobre una superficie plana y se hacen lecturas a los siguientes intervalos de tiempo, medidos desde el instante en el cual se inicia la sedimentación: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos (nota 12). Si se usa el baño de agua de temperatura controlada, el cilindro se debe colocar dentro de él en algún instante correspondiente al intervalo comprendido entre las lecturas que se deben realizar a los 2 y a los 5 minutos.

*Nota 11: El número de vueltas del cilindro durante el minuto deberá ser de unas 60, contando los dos movimientos descritos como dos vueltas. Cualquier porción de suelo que permanezca en el fondo del cilindro durante las primeras vueltas se debe sacudir vigorosamente mientras el cilindro está en posición vertical.*

*Nota 12: Se pueden usar otros tiempos para las lecturas, si así está especificado.*

- 6.4.3** Cuando se vaya a tomar una lectura en el hidrómetro, se introduce éste de manera cuidadosa dentro de la suspensión unos 20 a 25 segundos antes del momento de la lectura, hasta una profundidad

similar a la que debe tener cuando se realice la lectura. Una vez hecha la lectura, se remueve el dispositivo con todo cuidado y se coloca dentro de una probeta con agua, aplicándole un movimiento rotatorio.

*Nota 13: Es importante remover el hidrómetro inmediatamente después de cada lectura. Las lecturas se deben tomar en la parte superior del menisco formado por la suspensión alrededor del vástago, dada la imposibilidad de tomarlas en la parte inferior.*

**6.4.4** Luego de cada lectura, se inserta un termómetro dentro de la suspensión y se mide la temperatura.

## **6.5** *Análisis por tamizado*

**6.5.1** Luego de tomar la última lectura con el hidrómetro, se transfiere la suspensión a un tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y se lava con agua potable hasta que el lavado se vuelva de color claro. En seguida, se transfiere el material retenido en el tamiz a un recipiente adecuado, se seca en el horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se le realiza un análisis por tamizado, usando tantos tamices como se desee o los que establezca la especificación del material que se está ensayando.

## **7** **CÁLCULOS**

---

**7.1** *Valores del análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10)*

**7.1.1** Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), dividiendo la masa que pasa dicho tamiz por la masa de suelo originalmente separada a través de él y multiplicando el resultado por 100. Para obtener la masa de la porción pasante por el tamiz de 2.0 mm (No. 10), se resta de la masa original, la masa retenida en dicho tamiz.

**7.1.2** Para comprobar la masa total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se agrega a la masa del material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y que queda retenida en el de 2.0 mm (No. 10). Para comprobar la masa del material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega a la masa total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No. 4). Para los demás tamices, se continúa el cálculo de la misma manera.

**7.1.3** Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide la masa total que pasa ese tamiz (numeral 7.1.2) por la masa total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

## 7.2 Factor de corrección por humedad higroscópica

**7.2.1** Este factor es la relación entre la masa del suelo secado al horno y la masa del suelo seco al aire antes de colocarlo en el horno. Es un número menor de uno (1), excepto cuando no hay humedad higroscópica.

## 7.3 Porcentajes de suelo en suspensión

**7.3.1** Se calcula la masa seca al horno del suelo empleado en el ensayo del hidrómetro, multiplicando la masa del suelo seco al aire por el factor de corrección por humedad higroscópica.

**7.3.2** Se calcula la masa de una muestra total representada por la masa de suelo usada en el ensayo del hidrómetro, dividiendo la masa seca utilizada por el porcentaje pasante del tamiz de 2.0 mm (No. 10) y multiplicando el resultado por 100. Este valor será la masa W en la ecuación sobre el porcentaje de suelo que permanece en suspensión.

**7.3.3** El porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel al cual el hidrómetro mide la densidad de la suspensión, se calcula con alguna de las dos fórmulas que se presentan a continuación, dependiendo del hidrómetro utilizado (nota 14):

**7.3.3.1** Si se empleó el hidrómetro 151 H:

$$P = \frac{100\,000}{W} \times \frac{G}{(G - G_1)} (R - G_1) \quad [123.1]$$

*Nota 14: La porción que está dentro del paréntesis cuadrado de la ecuación para el hidrómetro 151 H es constante para una serie de lecturas y, por lo tanto, se puede calcular primero, para multiplicarla luego por la porción del paréntesis de la derecha.*

**7.3.3.2** Si se empleó el hidrómetro 152 H:

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100$$

[123.2]

**7.3.3.3** Los términos de estas dos expresiones significan:

- P: Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión;
- G: Gravedad específica de las partículas del suelo;
- G<sub>1</sub>: Gravedad específica del líquido dentro del cual están suspendidas la partículas del suelo. Se usa un valor numérico de uno (1) en los dos casos en que este valor está colocado en la ecuación del hidrómetro 151 H. En el primero, cualquier variación posible produce un efecto insignificante en el resultado, mientras que en el segundo, la corrección compuesta para R se basa en un valor de uno (1) para G<sub>1</sub>;
- R: Lectura del hidrómetro con la corrección compuesta aplicada (Ver numeral 6.1);
- W: Masa del suelo seco al horno en una muestra de ensayo total representada por la masa de suelo dispersado (Ver numeral 7.3.2), g;
- a: Factor de corrección por aplicar a la lectura del hidrómetro 152 H. Los valores mostrados en la escala del hidrómetro se basan en una gravedad específica de 2.65; por lo tanto, es necesaria una corrección si la gravedad específica del suelo es diferente (Ver Tabla 123 - 1).

Tabla 123 - 1. Valores del factor de corrección (a) para diferentes gravedades específicas de las partículas de suelo

GRAVEDAD ESPECÍFICA	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

#### 7.4 Diámetro de las partículas de suelo

**7.4.1** El diámetro de una partícula correspondiente al porcentaje indicado por una lectura dada del hidrómetro, se debe calcular de acuerdo con la ley de Stokes (nota 15), sobre la base de que una partícula de este diámetro estaba en la superficie de la suspensión al inicio de la sedimentación y se ha asentado al nivel al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión. De acuerdo con la ley de Stokes (Ver Tabla 123 - 2):

$$D = \sqrt{\frac{30 \eta}{980 (G - G_1)}} \times \frac{L}{T} \quad [123.3]$$

Donde: D: Diámetro de la partícula, mm;

$\eta$ : Coeficiente de viscosidad del medio de la suspensión (en este caso agua) en Poises (varía con el cambio de temperatura del medio).



Tabla 123 - 2. Valores de profundidad efectiva, basados en hidrómetro y cilindro de tamaños especificados <sup>(1)</sup>

HIDRÓMETRO 151 H		HIDRÓMETRO 152 H			
LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm
1	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5		
1.006	14.7	6	15.3	36	10.4
1.007	14.4	7	15.2	37	10.2
1.008	14.2	8	15.0	38	10.1
1.009	13.9	9	14.8	39	9.9
1.010	13.7	10	14.7	40	9.7
1.011	13.4	11	14.5	41	9.6
1.012	13.1	12	14.3	42	9.4
1.013	12.9	13	14.2	43	9.2
1.014	12.6	14	14.0	44	9.1
1.015	12.3	15	13.8	45	8.9
1.016	12.1	16	13.7	46	8.8
1.017	11.8	17	13.5	47	8.6
1.018	11.5	18	13.3	48	8.4
1.019	11.3	19	13.2	49	8.3
1.020	11.0	20	13.0	50	8.1
1.021	10.7	21	12.9	51	7.9
1.022	10.5	22	12.7	52	7.8
1.023	10.2	23	12.5	53	7.6
1.024	10.0	24	12.4	54	7.4
1.025	9.7	25	12.2	55	7.3
1.026	9.4	26	12.0	56	7.1
1.027	9.2	27	11.9	57	7.0
1.028	8.9	28	11.7	58	6.8
1.029	8.6	29	11.5	59	6.6
1.030	8.4	30	11.4	60	6.5
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				

<sup>(1)</sup> Los valores de la profundidad efectiva se han calculado a partir de la ecuación:

$$L = L_1 + 1/[2(L_2 - (V_B/A))]$$

Donde: L: Profundidad efectiva, cm;

L<sub>1</sub>: Distancia, a lo largo del vástago del hidrómetro, entre la parte superior del bulbo y la marca de lectura del hidrómetro, cm;

L<sub>2</sub>: Longitud total del bulbo del hidrómetro, cm;

V<sub>B</sub>: Volumen del bulbo del hidrómetro, cm<sup>3</sup>;

A: Sección transversal del cilindro de sedimentación, cm<sup>2</sup>.

Los valores usados para calcular los valores de la Tabla 123 - 2 son:

Para ambos hidrómetros:

– L<sub>2</sub> = 14.0 cm

<sup>3</sup>

– V<sub>B</sub> = 67.0 cm

– A = 27.8 cm<sup>2</sup>

Para el hidrómetro 151 H:

– L<sub>1</sub> = 10.5 cm para una lectura de 1.000  
= 2.3 cm para una lectura de 1.031

Para el hidrómetro 152 H:

– L<sub>1</sub> = 10.5 cm para una lectura de 0 g/litro  
= 2.3 cm para una lectura de 50 g/litro

L: Distancia entre la superficie de la suspensión y el nivel al cual se mide su densidad, cm (para un hidrómetro y un cilindro para sedimentación, los valores varían de acuerdo con la lectura del hidrómetro. Esta distancia se conoce como “profundidad efectiva” (ver Tabla 123 - 2));

T: Lapso transcurrido desde el comienzo de la sedimentación hasta la toma de la lectura, min;

G: Gravedad específica de las partículas del suelo;

$G_1$ : Gravedad específica (densidad relativa) del líquido dentro del cual están suspendidas la partículas del suelo. Su valor se puede tomar igual a 1.000 para todos los fines prácticos.

**7.4.2** Por facilidad de los cálculos, la ecuación del numeral 7.4.1 se puede escribir como:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \quad [123.4]$$

Donde: K: Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y de la temperatura de la suspensión. Los valores de K se presentan en la Tabla 123 - 3. El valor K no cambia para una serie de lecturas que constituyan un ensayo, mientras que los valores L y T sí varían.

*Nota 15: Puesto que la ley de Stokes considera la velocidad terminal de una sola esfera cayendo dentro de un líquido, los tamaños calculados representan el diámetro de las esferas que caerían a la misma velocidad que las partículas de suelo.*

Tabla 123 - 3. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Para:  $\eta$  en (g/cm.s);  $\gamma_w$  en (g/cm<sup>3</sup>); L en (cm); T en (min.)

## 7.5 Valores del análisis de tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10)

**7.5.1** El cálculo de los porcentajes que pasan los diferentes tamices usados para tamizar la porción de muestra del ensayo del hidrómetro involucra varios pasos. El primero de ellos consiste en calcular la masa de la fracción que debía haber sido retenida en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) si no se hubiera removido. Esta masa es igual al porcentaje total retenido en el tamiz de 2.0 mm (No. 10) (100 menos el porcentaje que pasa), multiplicado por la masa de la muestra total representada

por la masa de suelo usada (calculada como se indica en el numeral 7.3.2), y dividiendo el resultado por 100.

- 7.5.2** A continuación, se calcula la masa total pasante del tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). Para ello, se suman las masas de todas las fracciones retenidas en los diferentes tamices, incluyendo el de 2.0 mm (No. 10), y restando esta suma de la masa de la muestra total (Ver numeral 7.3.2).
- 7.5.3** Luego, se calcula la masa total que pasa cada uno de los otros tamices, de una manera similar a la descrita en el numeral 7.1.2.
- 7.5.4** Por último, se calculan los porcentajes totales que pasan, dividiendo la masa total pasante por cada tamiz (calculada según se indica en el numeral 7.5.3) por la masa total (calculada como se indica en el numeral 7.3.2) y multiplicando el resultado por 100.

## 7.6 Gráfica

- 7.6.1** Cuando se realiza el ensayo del hidrómetro, se debe elaborar una gráfica con los resultados del ensayo, colocando los diámetros de las partículas en una escala logarítmica de abscisas y los porcentajes menores que los diámetros correspondientes, en una escala aritmética de ordenadas. Si el análisis del hidrómetro no se ha realizado sobre una porción del suelo, la elaboración de la gráfica es opcional, por cuanto los valores se pueden obtener directamente de los resultados tabulados.

*Nota 16: Es recomendable que los resultados se expresen mediante una curva granulométrica en la que se tengan en cuenta, simultáneamente, la fracción de suelo gruesa evaluada mediante el método de tamizado y la fina evaluada con el hidrómetro.*

## 8 INFORME

---

- 8.1** El informe deberá incluir lo siguiente:
- 8.1.1** El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- 8.1.2** Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados. Los resultados se presentarán en forma tabulada o en forma gráfica (nota 17).

*Nota 17: La tabla y la gráfica representan la gradación de la muestra utilizada. Si antes del ensayo fueron removidas algunas partículas de mayor tamaño, este hecho se debe anotar en el informe, indicando la cantidad y el tamaño máximo del material descartado para la prueba.*

- 8.1.3** Descripción de las partículas de grava y arena (forma y dureza, según la norma INV E-102).
- 8.1.4** Gravedad específica, si es inusualmente alta o baja.
- 8.1.5** Dificultades que se hayan presentado al dispersar la fracción que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), indicando cualquier cambio en el tipo, dosificación y cantidad de agente dispersante.
- 8.1.6** Dispositivo de dispersión utilizado y duración del período de dispersión.
- 8.2** Si el material se ha ensayado para verificar el cumplimiento de una especificación determinada, se deberán informar los porcentajes que pasan los tamices indicados en ella. Las fracciones menores de 2.0 mm se deberán leer en la gráfica.
- 8.3** En el caso de materiales que no deben cumplir el requisito granulométrico de ninguna especificación, y donde el suelo está compuesto principalmente por partículas de menos de 4.75 mm, los resultados de pueden leer en la gráfica y reportar de la siguiente manera:

Grava: material que pasa el tamiz de 75 mm (3") y queda retenido en el de 4.75 mm (No. 4) ..... %

Arena: material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el de 75  $\mu$ m (No. 200) ..... %

(a) Arena gruesa: material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el de 2.0 mm (No. 10)...%

(b) Arena media: Material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10) y queda retenido en el de 425  $\mu$ m (No. 40) ...%

(c) Arena fina: Material que pasa el tamiz de 425  $\mu$ m (No. 40) y queda retenido en el de 75  $\mu$ m (No. 200) ...%

Tamaños de limo: entre 75  $\mu$ m y 5  $\mu$ m .....%

Tamaños de arcilla: menores de 5  $\mu$ m (las partículas de menos de 1  $\mu$ m se denominan coloides) .....%

- 8.4** En el caso de materiales que no deben cumplir el requisito granulométrico de ninguna especificación, y donde el suelo contiene suficiente material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) como para requerir un análisis granulométrico de dicha porción, los resultados de pueden presentar de la siguiente manera:

**ANÁLISIS POR TAMICES**

<b>Tamaño tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
75 mm (3")	.....
50 mm (2")	.....
37.5 mm (1 ½")	.....
25 mm (1")	.....
19 mm (¾")	.....
9.5 mm (3/8")	.....
4.75 mm (No. 4)	.....
2.0 mm (No. 10)	.....
425 µm (No. 40)	.....
75 µm (No. 200)	.....

**ANÁLISIS POR HIDRÓMETRO**

75 µm	.....
5 µm	.....
1 µm	.....

*Nota 18: Los tamices de 2.0 mm (No. 10) y de 425 µm (No. 40) se pueden sustituir por los de 2.36 mm (No. 8) y de 300 µm (No. 50)*

**9 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 422-63 (reaprobada 2007)