



MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA
FUNDACION DE LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD
FUNDALANAVIAL

FLNV - MVAG-09

MANUAL VISUALIZADO

VERSION 2

GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS METODO HIDROMETRICO

NOVIEMBRE 2003

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 1 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

NORMA **A.S.T.M. D 422 / N.L.T. - 104**

1 OBJETO El objeto de este ensayo es determinar el porcentaje de partículas de suelo de diámetro menor a 2 ϕ (limo, arcillas y coloides).

2 DURACIÓN Para realizar el ensayo se estima un máximo de 48 horas.

3 EQUIPOS



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

✍ **Hidrómetro tipo 152-H**, de acuerdo a especificaciones de ASTM.

✍ **Balanza** con sensibilidad de 0.01 g.

✍ **Agitador eléctrico**, con paleta removible el envase debe tener varillas metálicas desviadoras y de dimensiones especificadas.

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 2 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

- ✍ **Cilindros graduados**, que tengan un diámetro interior no menor de 6.4 cm. (2.5") y de capacidad de 1000 ml.
- ✍ **Termómetro** con apreciación de 0.5 °c.
- ✍ **Un disco metálico con perforaciones de 3 mm**, recortado en cuatro partes de periferia, acoplado a una varilla. El disco y la varilla sirven para dispersar el material dentro del cilindro graduado.
- ✍ **Cronometro y reloj.**
- ✍ **Tamiz N° 10** (2.00 mm) y tamiz N° 200 (0.074 mm).
- ✍ **Horno** capaz de mantener una temperatura de 105 °C ± 5 °c.
- ✍ **Tamizadota mecánica**
- ✍ **Agua destilada**
- ✍ **Frasco lavador**
- ✍ **Agente defloculante** (Hexametáfosfato de sodio)
- ✍ **Juego de tamices:** N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 y N° 200.
- ✍ **Utensilios de uso general:**
 - Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras.
 - Par de guantes de asbesto.
 - Envases de 500 ml de capacidad.
 - Pipetas y planilla de anotación.

4 GENERALIDADES

El análisis hidrométrico se basa en el principio de sedimentación de los granos de suelo en agua, basándose en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera. Se asume que la Ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El análisis granulométrico de un suelo basado en Ley de Stokes, es aproximado.

5 Calibración del hidrómetro

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva (L) en términos de lectura del hidrómetro.

5.1 Procedimiento:

- ✍ Se determina el volumen del bulbo del hidrómetro (Vb), utilizando un cilindro graduado y agua destilada.
- ✍ Llenar con agua destilada el cilindro de 1000 ml de capacidad, hasta aproximadamente 900 ml (el agua debe estar a una temperatura de 20 °C aproximadamente); anotar la lectura del nivel de agua, después introducir el hidrómetro y anotar la nueva lectura de la superficie del agua. La diferencia entre las dos lecturas observadas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que esta sumergida.
- ✍ Una vez determinado el volumen del bulbo; medir en centímetros la distancia entre las dos marcas de graduación del cilindro.

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 3 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

- ✍ Medir la distancia desde el cuello hasta la punta del bulbo (h). La distancia h / 2 localizará el centro del volumen del bulbo.
- ✍ Calcular la profundidad efectiva (L), que corresponde a cada una de las marcas de calibración principales (R), mediante la siguiente fórmula:

$$L = R + (h / 2) - (Vb / 2a) \quad (1)$$

Calcular el área (A) del cilindro de la siguiente manera:

$$A = V/h \quad (2)$$

Ejemplo 1:

Para el cálculo del área, se debe medir la distancia en centímetros de las marcas de graduación del cilindro: 700 cm³ y 400 cm³.

$$A = \frac{(700 - 400) \text{ cm}^3}{10.5 \text{ cm}} = 28.57 \text{ cm}^2$$

5.2 Corrección por menisco (Cm)

Colocar el hidrómetro en el cilindro de sedimentación lleno de agua destilada y observar la diferencia de nivel entre la superficie del agua y el tope del menisco formado alrededor del vástago. Anotar esta diferencia expresada en lecturas del hidrómetro. Este valor será la corrección por meniscos (Cm).

El valor corriente de Cm, para un hidrómetro 152-H es de 1 g/l y para un hidrómetro 151-H es de 0,6 X10⁻³ g/cm³.

5.3 Corrección por temperatura (Ct)

La corrección por temperatura se hace necesaria porque la viscosidad, el peso unitario del agua y volumen del hidrómetro varían con la temperatura.

Aplicar la corrección por temperatura, correspondiente a cada lectura del hidrómetro (ver tabla de corrección por temperatura).

5.4 Corrección por defloculante (Cd)

- ✍ Seleccionar un cilindro graduado de 1000 ml de capacidad, llenarlo con agua destilada más la cantidad de defloculante igual a la utilizada en el ensayo.
- ✍ Introducir el hidrómetro en el cilindro, realizar la lectura del hidrómetro en la parte superior del menisco.
- ✍ Introducir un termómetro y medir la temperatura de la solución. Calcular la corrección por defloculante y punto cero mediante la fórmula:

$$Cd = r^1 + Cm + Ct \quad (3)$$

5.5 Calculo para el factor K

El factor "K" debe corregirse utilizando la siguiente fórmula:

$$K = \{(30 \times \mu / g) / (Ys - Yw)\}^{1/2} \quad (4)$$

g es la aceleración de gravedad (980.7 cm/s²)

μ es el coeficiente de viscosidad del agua en poises

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 4 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

Ys es el peso unitario de los sólidos del suelo en gr. / cm³

Yw es el peso unitario del agua destilada a la temperatura (T), en g/cm³.

La adición del agente defloculante produce un aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observada. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero (0) o lectura inicial (i).

6 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

6.1 Preparación de la muestra: Para ensayo de rutina con fines de clasificación, el análisis hidrométrico se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz N° 10 (2.00 mm).

Cuando se requiere mas precisión se utiliza material que pase el tamiz N° 200 (0.074 mm). Luego a continuación en una balanza con apreciación de 0.01 g se pesan 50 g para suelos con alto contenido de arcilla; y 70 g. para suelos arenosos, todos estos materiales previamente secados al horno.

Después se adiciona al suelo 200 ml. de agua destilada y 125 ml del agente defloculante y se satura por un período no menor a 18 horas.

Agente defloculante: El defloculante es un agente dispersador de los grumos que tienden formar entre si las partículas finas al estar en suspensión. El agente defloculante usado para el ensayo es **"HEXAMETAFOSFATO DE SODIO"** (NaPO₆) al 4%.

6.2 Procedimiento

6.2.1 Pasado el tiempo de saturación se remueve la muestra y se transfiere al vaso de agitación, lavando cualquier residuo con agua destilada, como se aprecia en la figura 2.



Figura 2 Transferencia de la muestra al vaso de agitación

6.2.2 Se agrega mas agua destilada si es necesario hasta unos 5 cm a 8 cm, por debajo de la boca del vaso.

6.2.3 Se coloca el vaso en el agitador eléctrico, como se muestra en la figura 3y se dispersa la mezcla por un tiempo de 5 min a 10 min.

Mientras mas bajo es el índice de plasticidad del suelo, menor será el periodo de agitación.

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 5 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		



Figura 3 Colocación del vaso en el agitador eléctrico



Figura 5 Volumen total de la suspensión dispersada

6.2.4 Se vierte la suspensión dispersada en el cilindro graduado de 1000 ml., lavando cualquier residuo con la pipeta de agua destilada (véase figura 4).



Figura 6 Suspensión dispersada

6.2.5 Se agrega agua destilada en el cilindro graduado hasta completar 900 ml (véase figura 5).

6.2.6 Con el disco perforado acoplado a la varilla, se vuelve a dispersar la muestra, bajando y subiendo el disco con movimiento rotacional, como se aprecia en la figura 6; este proceso se sigue por un tiempo de 1 min.



Figura 6 Dispersión de la muestra con el disco perforador

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 6 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

6.2.7 Efectuada la operación anterior; con la pipeta de agua destilada se limpia el disco perforado dentro del cilindro graduado y se lleva hasta completar 1000 ml (véase figura 7).



Figura 7 Limpieza del disco perforador

NOTA 1: El cilindro se debe colocar en una superficie lisa y libre de vibraciones antes de iniciar el ensayo.

NOTA 2: Al sumergir el hidrómetro se debe procurar que no toque las paredes del cilindro y siempre deberá estar en centro.

6.2.8 Se pone en marcha el cronómetro y lentamente se sumerge el hidrómetro hasta que comience a flotar (véase figura 8).



Figura 8 Inmersión del hidrómetro en la sedimentación

6.2.9 Se hacen las lecturas del hidrómetro a 1 y 2 minutos, luego se saca el hidrómetro y se sumerge en otro cilindro graduado lleno de agua destilada, como se aprecia en la figura 9, se toma la lectura de suspensión, y se mide la temperatura del ensayo.



Figura 9 Hidrómetro sumergido en agua destilada

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 7 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

6.2.10 Se reinicia el ensayo sumergiendo nuevamente el hidrómetro para realizar las lecturas de: 5, 15, 30 minutos, 1, 2, 4 y 24 horas (véase figura 9). El hidrómetro se sumerge en suspensión, aproximadamente 20 segundos antes de hacer cada una de las lecturas y se mide la temperatura de está después de cada operación.

Todos estos datos se anotan en la hoja de registro (véase figura 10).

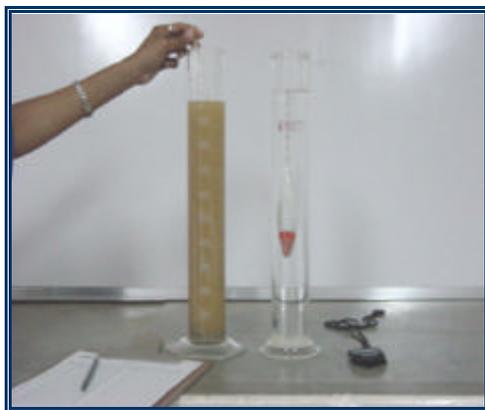


Figura 9 Inmersión del hidrómetro en la sedimentación

NOTA 3: El hidrómetro debe permanecer en el cilindro con agua destilada, el cual estará junto al de sedimentación, esto con el fin de que el hidrómetro se encuentre a la misma temperatura de la suspensión (véase figura 10).



Figura 10 Anotación de los datos

6.2.11 Después de la última lectura, se vierte la suspensión y el suelo sedimentado sobre el tamiz N° 200, teniendo cuidado de no perder material, luego se procede a lavarlo hasta que agua salga clara (véase figura 11).



Figura 11 Lavado del material en el tamiz N° 200

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 8 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

6.2.12 El material retenido en el tamiz se recoge en una escudilla y se seca al horno a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}.$, por un tiempo mínimo de 18 horas y hasta peso constante (véase figura 12).



Figura 12 Secado de la muestra en el horno

6.2.13 Secada la muestra se deja enfriar, luego se separa en una serie de fracciones utilizando los tamices N° 20, 40, 60, 100 y 200 (véase figura 13).

La fracción retenida en cada tamiz se pesa en la balanza de 0.01 g (véase figura 13) y se anota en la hoja de registro.



Figura 13 Separación del material en los tamices y pesada de la fracción retenida

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 9 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

7 CALCULOS

$$D = \{K \times (L / t)\}^{1/2} \quad (2)$$

7.1 Análisis por tamizado

Para los cálculos correspondientes a la fracción granular gruesa y fina se seguirá el mismo procedimiento descrito en el método de granulometría por tamizado.

K es el corrección para el peso específico por temperatura
L es la profundidad efectiva
t es el tiempo de las lecturas del ensayo

7.2 Análisis hidrométrico

☞ **Lectura corregida:** como las lecturas del hidrómetro (R) se hacen bajo el menisco, se suma la corrección por menisco (Cm) a cada lectura.

$$R^1 = R + Cm \quad (Cm = 1g/l) \quad (1)$$

Ejemplo 1:

$$R1 = 47 + 1 = 48$$

☞ **Profundidad efectiva:** de la curva de calibración del hidrómetro se calcula la profundidad efectiva (L) en cm., para cada lectura corregida (R¹). Para la lectura corregida R¹ igual a 48, se tiene de la curva L igual a 8.4 cm.

☞ **Corrección por temperatura:** para cada temperatura correspondiente a cada lectura del hidrómetro se determine (Ct) utilizando la tabla ().

Ejemplo 2

$$\text{Para } 28^\circ\text{C} \quad Ct = 2.9$$

☞ **Diámetro de las partículas:** el diámetro (D) en mm. del suelo en suspensión en un instante puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

☞ **Valores de K:** aparecen en la tabla () en función de la temperatura de la suspensión y del peso específico del suelo.

☞ **Corrección por defloculante (Cd):** se toman de la curva de calibración del hidrómetro (véase tabla en ANEXO A).

☞ **Pasante parcial (% Pp):**

$$\% Pp = \frac{(100 \times a) \times (R - Cd + Ct)}{Wo} \quad (3)$$

Donde

a es el valor de coeficiente de corrección para el peso específico
R es la lectura corregida
Cd es la corrección por defloculante
Ct es la corrección por temperatura
Wo es el peso del suelo seco

☞ **Pasante total (%Pt)**

$$\%Pt = (Ws - W_1) / Ws \times \text{Pasante parcial}$$

Ws es el peso total de la muestra
W1 es el peso seco del retenido acumulado en el tamiz N° 10 o N° 200 (según el caso)

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 10 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

ANEXO A

Tabla A.1

HIDROMETRO 152H

(PROFUNDIDAD EFECTIVA "L")

Lectura Corregida	Prof. Efectiva "L" (cm)	Lectura corregida del hidrometro	Prof. Efectiva "L"(cm)
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5	36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15	39	9,9
9	14,8	40	9,7
10	14,7	41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14,0	45	8,9
15	13,8	46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13,0	51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2	56	7,1
26	12,0	57	7,0
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

Tabla A.2

HIDROMETRO 151H

(PROFUNDIDAD

EFECTIVA "L")

Lectura	Profundidad
1,000	16,3
1,001	16,0
1,002	15,8
1,003	15,5
1,004	15,2
1,005	15,0
1,006	14,7
1,007	14,4
1,008	14,2
1,009	13,9
1,010	13,7
1,011	13,4
1,012	13,1
1,013	12,9
1,014	12,6
1,015	12,3
1,016	12,1
1,017	11,8
1,018	11,5
1,019	11,3
1,020	11,0
1,021	10,7
1,022	10,5
1,023	10,2
1,024	10,0
1,025	9,7
1,026	9,4
1,027	9,2
1,028	8,9
1,029	8,6
1,030	8,4
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

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 11 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

Tabla A.3 Valores de coeficiente de corrección "a" para diferentes pesos específicos

P.E	Coeficiente (a)
2,45	1,05
2,5	1,03
2,55	1,02
2,6	1,02
2,65	1
2,7	0,99
2,75	0,98
2,8	0,97
2,85	0,96
2,9	0,95
2,95	0,94

Tabla A.5 Valores de Ct para diferentes temperaturas

Temp. °C	HIDROMETRO GRADUADO (Ct)	
	Densidad (g/cm ³)x10 ³	
	HID. 151H	HID. 152H
10	-1,3	-2
11	-1,2	-1,9
12	-1,1	-1,8
13	-1	-1,6
14	-0,9	-1,4
15	-0,8	-1,2
16	-0,6	-1
17	-0,5	-0,8
18	-0,3	-0,5
19	-0,2	-0,3
20	?0?	?0?
21	0,2	0,3
22	0,4	0,6
23	0,6	0,9
24	0,8	1,3
25	1	1,7
26	1,3	2
27	1,5	2,4
28	1,8	2,9
29	2	3,3
30	2,3	3,7

Tabla A.4 Corrección por defloculante (Hexametáfosfato de sodio) HIDROMETROS 152H

Temp. °C	HID. N°1 (496647)	HID. N°2 (289612)	HID. N° 3 (289551)
	Cd	Cd	Cd
19	6,7	4,7	4,7
20	6	4	5
21	5,3	4,3	4,3
22	5,6	3,6	4,6
23	5,9	3,9	4,9
24	5,3	3,3	4,3
25	5,7	3,7	4,7
26	6	4	4
27	5,4	4,4	4,4
28	5,9	4,9	4,9
29	6,3	4,3	4,3
30	6,7	4,7	4,7

	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA FUNDACION LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD FUNDALANAVIAL	FLNV - MVAG 09
		Fecha: 28/11/2003
VERSION 2	MANUAL VISUALIZADO	Pág. 12 de 12
GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS FINOS - METODO HIDROMETRICO		

Tabla A.6 Valores de “K” para el cálculo del diámetro de las partículas

PESO ESPECIFICO DE LAS PARTICULAS DE SUELO								
2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
0,015,1	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01201
0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
0,01312	0,0129	0,01269	0,01249	0,0123	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149