

**LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

**PARTE: 1. SUELOS Y MATERIALES PARA TERRACERÍAS**

**TÍTULO: 06. Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías**

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe los procedimientos de prueba, estándar y simplificado, para obtener la granulometría de los materiales compactables para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03, *Materiales para Subrasante*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Estas pruebas permiten determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas que integran los materiales empleados para terracerías, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y determinar el porcentaje de la masa que pasa.

**C. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales para Terraplén .....	N·CMT·1·01
Materiales para Subyacente .....	N·CMT·1·02
Materiales para Subrasante .....	N·CMT·1·03
Muestreo de Materiales para Terracerías .....	M·MMP·1·01
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos .....	M·MMP·1·02
Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras .....	M·MMP·1·03
Contenido de Agua .....	M·MMP·1·04

**D. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR**

**D.1. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

**D.1.1. Juego de mallas**

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este Manual. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de  $206 \pm 2$  mm de diámetro interior y  $68 \pm 2$  mm de altura, sujetando la

mallas rígidas y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor. Para cribar las partículas mayores de 4,75 mm (malla N°4) también se podrán utilizar mallas con marco de 400 mm o más por lado, a fin de facilitar la operación.

TABLA 1.- Juego de mallas

Unidades en mm

Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre <sup>[1]</sup>
	Designación	Abertura nominal				
Grava	3"	75,0	± 2,2	78,1	78,7	5,80
	2"	50,0	± 1,5	52,1	52,6	5,05
	1½"	37,5	± 1,1	39,1	39,5	4,59
	1"	25,0	± 0,8	26,1	26,4	3,80
	¾"	19,0	± 0,6	19,9	20,1	3,30
	½"	12,5	± 0,39	13,10	13,31	2,67
	⅜"	9,5	± 0,30	9,97	10,16	2,27
	¼"	6,3	± 0,20	6,64	6,78	1,82
Arena con finos	N°4	4,75	± 0,15	5,02	5,14	1,54
	N°10	2,0	± 0,070	2,135	2,215	0,900
	N°20	0,850	± 0,035	0,925	0,970	0,510
	N°40	0,425	± 0,019	0,471	0,502	0,290
	N°60	0,250	± 0,012	0,283	0,306	0,180
	N°100	0,150	± 0,008	0,174	0,192	0,110
	N°200	0,075	± 0,005	0,091	0,103	0,053

[1] El diámetro promedio de los alambres que forman cualquier malla, considerados separadamente en cada una de sus dos direcciones, no variará de los valores nominales en más de lo siguiente:

- 5% para mallas con aberturas mayores de 0,6 mm
- 7,5% para mallas con aberturas de 0,6 mm a 0,125 mm
- 10% para mallas con aberturas menores de 0,125 mm

#### D.1.2. Horno

Eléctrico o de gas, con capacidad mínima de 20 dm<sup>3</sup>, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de 105 ± 5°C.

#### D.1.3. Balanzas

Una con capacidad de 20 kg y aproximación de 1 g y otra con capacidad de 2 kg y aproximación de 0,1 g.

#### D.1.4. Vaso de aluminio

De 500 cm<sup>3</sup> de capacidad.

#### D.1.5. Agitador de varilla metálica

De 6,3 mm (¼") de diámetro y 20 cm de longitud.

**D.1.6. Máquina agitadora para las mallas**

De acción mecánica, activada por un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante la cual transmite un movimiento excéntrico controlado a un plato de soporte, sobre el que se sujeten las mallas en orden descendente.

**D.1.7. Cucharón**

De 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

**D.1.8. Charolas**

De lámina galvanizada, de forma rectangular de 40 × 70 × 10 cm.

**D.1.9. Tapas y charolas de fondo para las mallas**

Tapas de forma circular, que se acoplen perfectamente con la parte superior del bastidor de las mallas y charolas de fondos de forma circular de  $206 \pm 2$  mm de diámetro interior y  $68 \pm 2$  mm de altura, para sujetarse a la parte inferior del bastidor de las mallas.

**D.1.10. Cepillos o brochas**

Con las dimensiones y cerdas adecuadas para desprender el material que se adhiera a las mallas.

**D.1.11. Desecador**

De cristal, de tamaño adecuado según las dimensiones de los recipientes que contendrán la muestra de prueba y con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador.

**D.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

La preparación de la muestra de materiales para terracerías, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se hace de la siguiente manera:

**D.2.1. Selección del material para la prueba**

De la muestra del material se apartan aproximadamente 15 kg, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*. Se obtiene la masa de este material y se registra como  $W_m$ , en g, con aproximación a la unidad.

**D.2.2. Obtención de las porciones de prueba**

Para realizar la prueba, del material apartado se separa la grava de la arena con finos, conforme al siguiente procedimiento:

**D.2.2.1.** Se vacía poco a poco y cuidadosamente el material sobre la malla N°4 (4,75 mm), sin sobrepasar la capacidad de la malla y recolectando el material que pasa en una charola. Utilizando la brocha, se retiran todas las partículas que se hubieran adherido a la malla para hacerlas pasar también por ella a fin de no perder ninguna porción del material. El material retenido en la malla N°4 se coloca en otra charola.

**D.2.2.2.** Se vierte en la balanza la porción retenida en la malla N°4; se determina su masa, que representa la grava, registrándola como  $W_{m1}$ , en g, con aproximación a la unidad y se regresa a la charola dicha porción. De la misma forma se obtiene la masa de la fracción que pasa dicha malla, que representa la arena con finos de la muestra, registrándola como  $W_{m2}$ .

- D.2.2.3.** De la fracción de material que pasó la malla N°4, se obtiene una porción de 100 g para determinar su contenido de agua ( $\omega_2$ ), de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*.
- D.2.2.4.** De la fracción restante de material que pasó la malla N°4, que tiene el contenido de agua original, se obtiene una porción que corresponda aproximadamente 200 g de material seco, registrándola como  $W_{m3}$ , con aproximación de 0,1 g.

### D.3. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

#### D.3.1. Preparación de las mallas

Se preparan dos juegos, el primero para la grava y el segundo para la arena, acomodándolas en el primer caso y ensamblándolas en el segundo, en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de este Manual y terminando cada juego con las charolas de fondo.

#### D.3.2. Cribado de la fracción de material retenido en la malla N°4

- D.3.2.1.** La porción del material retenida en la malla N°4, separada como se indica en el Inciso D.2.2., se criba por la malla 3" (75,0 mm) y menores.
- D.3.2.2.** Para el cribado, el material se vierte poco a poco y cuidadosamente por cada malla, a la que se le aplica un movimiento vertical y de rotación horizontal, con el fin de mantener al material en constante movimiento para permitir que las partículas de tamaños menores pasen a través de las aberturas y recolectarlas en una charola, como se muestra en la Figura 1 de este Manual. El material retenido se coloca en otra charola. Este cribado se hará considerando además que:



FIGURA 1.- Cribado del material a través de una malla

- a) La cantidad de material que se vaya colocando sobre la malla será menor que la capacidad de la misma para evitar pérdidas y facilitar el cribado.
  - b) El paso de las partículas a través de las aberturas de la malla se efectuará libremente y sin forzarlas.
  - c) El cribado se suspenderá cuando se estime que la masa del material que pasa dicha malla durante 1 minuto de agitación, es menor de 1 g.
- D.3.2.3.** Concluido el cribado, se verifica si las partículas que quedaron retenidas y que tienen forma de laja o de aguja pueden pasar a través de la malla, para lo cual se acomodan con la mano según su dimensión menor y sin forzarlas se introducen entre las separaciones, incorporando a la porción retenida aquellas que de cualquier forma queden atoradas en las tramas de la malla.

- D.3.2.4.** En la misma forma indicada en los Párrafos D.3.2.2. y D.3.2.3., la porción del material que pasó la malla 3" (75,0 mm), se criba por la malla 2" (50,0 mm) y así sucesivamente por todas las mallas para grava que se indican en la Tabla 1 de este Manual, obteniendo la masa del material retenido en cada una, como se ilustra en la Figura 2 de este Manual, registrándola como  $W_i$ , en g, con aproximación a la unidad, donde el subíndice  $i$  corresponde a la designación de la malla respectiva.



FIGURA 2.- Determinación de la masa de la fracción retenida en la malla

### **D.3.3. Cribado de la fracción de material que pasa la malla N°4**

- D.3.3.1.** La porción del material que pasó la malla N°4, separada conforme a lo indicado en el Inciso D.2.2. de este Manual, se coloca en un vaso metálico donde se le agregan aproximadamente 500 cm<sup>3</sup> de agua y se deja reposar durante 12 h como mínimo.

- D.3.3.2.** Posteriormente se lava a través de la malla N°200, para lo cual:

- a) Con ayuda de una varilla, se agita en forma de *ochos* el contenido del vaso durante 15 s, para formar una suspensión.
- b) Se deja reposar dicha suspensión durante 30 s e inmediatamente después se decanta sobre la malla N°200, como se muestra en la Figura 3 de este Manual.
- c) Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, se aplica sobre ésta un chorro de agua a baja presión.
- d) Se repite la operación de lavado, hasta que el agua decantada salga limpia.

- D.3.3.3.** Como se muestra en la Figura 4 de este Manual, el material retenido en la malla N°200 se regresa al vaso metálico, utilizando un poco de agua, misma que se decanta al final de la operación, pero evitando el arrastre de partículas.

- D.3.3.4.** Se seca el material dentro del vaso metálico hasta masa constante, manteniéndolo en el horno durante un lapso no menor de 16 h, a una temperatura de 105 ± 5°C. Posteriormente se retira del horno y se deja enfriar dentro del desecador hasta temperatura ambiente.



FIGURA 3.- Decantado de la suspensión a través de la malla N°200

- D.3.3.5.** Una vez ensambladas las mallas para la arena, como se indica en el Inciso D.3.1. de este Manual, se vierte el material seco sobre la malla superior y se coloca la tapa, como se muestra en la Figura 5 de este Manual.



FIGURA 4.- El material retenido en la malla es devuelto al vaso metálico

- D.3.3.6.** Se efectúa la operación de cribado imprimiendo al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal durante 5 min; en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.
- D.3.3.7.** Concluido el cribado, se quita la tapa y se separa la primer malla (N°10), la cual se agita sobre una charola hasta que se estime que la masa del material que pasa dicha malla durante 1 min no sea mayor de 1 g. El material depositado en la charola, se vierte sobre la siguiente malla (N°20). Este procedimiento de cribado se repite en forma subsecuente con cada una de las mallas restantes, verificando que las partículas que queden atoradas sean regresadas a la porción retenida correspondiente mediante un cepillado de las mallas por su reverso.



FIGURA 5.- Disposición de las mallas para efectuar el cribado de material que pasó la malla N°4

**D.3.3.8.** Finalmente se obtienen las masas de los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan las masas respectivas como  $W_i$ , con aproximación de 0,1 g, donde el subíndice  $i$  corresponde a la designación de la malla respectiva.

#### D.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Para el análisis granulométrico mediante el procedimiento estándar, se calcula lo siguiente, reportándolo como se ejemplifica en el formato mostrado en la Figura 6 de este Manual.

**D.4.1.** La masa del material seco de la muestra, determinada mediante la siguiente expresión:

$$W_d = W_{d1} + W_{d2}$$

Donde:

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g), con aproximación a la unidad

$W_{d1}$  = Masa del material seco de la fracción retenida en la malla N°4, que se considera igual a  $W_{m1}$ , debido a que el valor del contenido de agua de esta fracción es relativamente pequeño y puede despreciarse sin producir errores de importancia, (g)

$W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasó la malla N°4, (g), determinada como:

$$W_{d2} = \frac{W_{m2}}{1 + \omega_2}$$

$W_{m2}$  = Masa de la fracción que pasó la malla N°4, obtenida como se indica en el Párrafo D.2.2.2. de este Manual, (g)

$\omega_2$  = Contenido de agua del material que pasó la malla N°4, obtenido de acuerdo con lo indicado en el Párrafo D.2.2.3. de este Manual, expresado como fracción decimal.

MATERIALES PARA: Terraplenes de acceso

MUESTRA TOMADA DE: Banco

OBRA: ALCANTARILLA DE TUBO Km 37+800  
 LOCALIZACIÓN: CARRETERA: POZA RICA- GUTIERREZ ZAMORA  
 TRAMO: Km 0+000 a km 150+000  
 SUBTRAMO: Km 0+000 a km 50+000  
 ORIGEN: POZA RICA  
 PRUEBA N°: 74 - 163  
 MUESTRA N°: 1

MASAS: DE LA MUESTRA ( $W_m$ ) 15 290 g  
 DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N°4 ( $W_{m1}$ ) 5 850 g  
 DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4 ( $W_{m2}$ ) 9 440 g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

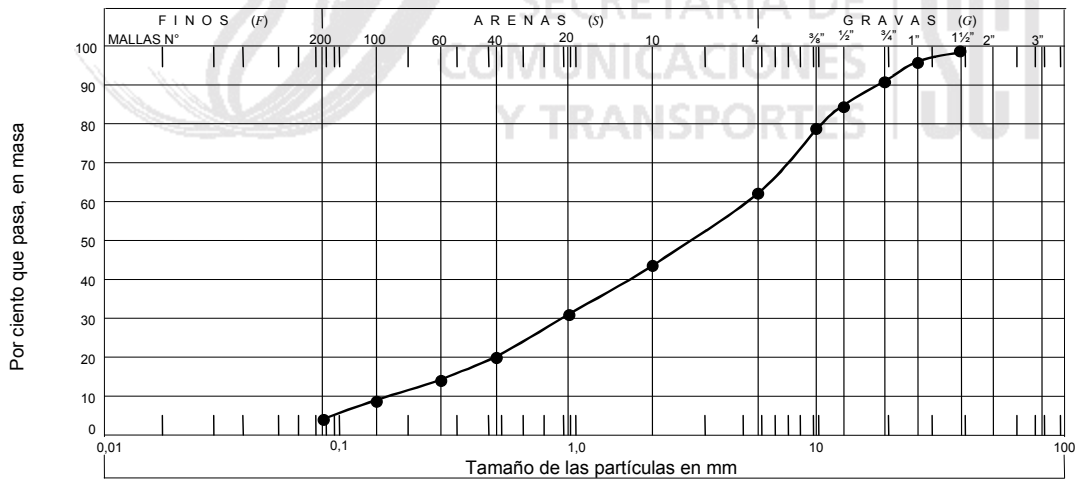
FECHA: 22 - julio - 2000  
 OPERADOR: ISAIAS ANTONIO  
 CALCULISTA: ERNESTO HERNÁNDEZ  
 REVISÓ: ANTONIO BECERRA

CONTENIDO DE AGUA DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4		
M A S A D E :		
RECIPIENTE N°		12
RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( $W_1$ )		95,03 g
RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( $W_2$ )		90,43 g
RECIPIENTE ( $W_3$ )		19,70 g
MASA DEL AGUA ( $W_w = W_1 - W_2$ )		4,60 g
MASA MUESTRA SECA ( $W_s = W_2 - W_3$ )		70,73 g
CONTENIDO DE AGUA ( $\omega = 100 \times W_w / W_s$ )		6,5 %

CORRECCIÓN DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA POR HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4

$$W_{d2} = \frac{W_{m2}}{1 + \omega_2} = \frac{9\ 440}{1 + 0,065} = 8\ 864$$

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4				MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4			
MALLA	MASA RETENIDA	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL QUE PASA	MALLA	MASA RETENIDA	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL QUE PASA
	$W_i$ (g)	(%)	(%)		$W_i$ (g)	(%)	(%)
3"				N°10	54,0	16,2	44,0
2"				N°20	39,0	11,7	32,3
1½"	157	1,1	98,9	N°40	40,4	12,2	20,1
1"	395	2,7	96,2	N°60	17,8	5,4	14,7
¾"	563	3,8	92,4	N°100	19,5	5,9	8,8
½"	1 179	8,0	84,4	N°200	13,7	4,1	4,7
¾"	646	4,4	80,0	Pasa	15,6	4,7	
N°4	2 910	19,8	60,2	S U M A	200,0	60,2	
Pasa	8 864	60,2					
S U M A	14 714	100					



$$D_{10} = \frac{0,17}{0,17} \quad C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4,75}{0,17} = 28,0$$

$$D_{30} = \frac{0,80}{0,80} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,64}{0,81} = 0,79$$

Retenido en malla de 3" =  $\frac{0,0}{39,8}$  %  
 $G = \frac{39,8}{55,5}$  %  
 $S = \frac{4,7}{20,1}$  %  
 Pasa N°40 =  $\frac{20,1}{20,1}$  %

CLASIFICACIÓN SCT Y DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL ARENA MAL GRADUADA (SP)

Observaciones: \_\_\_\_\_

FIGURA 6.- Ejemplo de cálculo y gráfica de la composición granulométrica de un material



**D.4.2.** De la fracción de material retenido en la malla N°4, se calculan los retenidos parciales en cada una de las mallas con relación a la masa de la muestra seca, mediante la siguiente expresión:

$$R_i(\%) = \frac{W_i}{W_d} \times 100$$

Donde:

$R_i(\%)$  = Retenido parcial en la malla  $i$  con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

$W_i$  = Masa del material retenido en la malla  $i$ , (g)

$i$  = Designación de la malla utilizada, que va desde la de 3" hasta la N°4

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

**D.4.3.** De la fracción de material que pasó la malla N°4, los retenidos parciales en cada una de las mallas con relación a la masa de la muestra seca, se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$R_i(\%) = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \times 100 \right) \frac{W_i}{W_{d3}} = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \frac{W_i}{W_{d3}} \right) \times 100$$

Donde:

$R_i(\%)$  = Retenido parcial en la malla  $i$  con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

$W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasó la malla N°4, (g)

$W_{d3}$  = Masa del material seco que pasó la malla N°4, (g), determinada como:

$$W_{d3} = \frac{W_{m3}}{1 + \omega_2}$$

$W_{m3}$  = Masa de la porción que pasó la malla N°4, obtenida como se indica en el Párrafo D.2.2.4. de este Manual, (g)

$\omega_2$  = Contenido de agua del material que pasó la malla N°4, obtenido de acuerdo con lo indicado en el Párrafo D.2.2.3. de este Manual, expresado como fracción decimal.

$W_i$  = Masa del material retenido en la malla  $i$ , (g)

$i$  = Designación de la malla utilizada, que va desde la N°10 hasta la N°200

**D.4.4.** De la fracción de material que pasó la malla N°4, el contenido de finos que pasan la malla N°200 (0,075 mm) con relación a la masa de la muestra seca, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\%F = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \times 100 \right) \times \left( 1 - \frac{\sum W_i}{W_{d3}} \right)$$

Donde:

$\%F$  = Contenido de finos con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$\sum W_i$  = Suma de las masas de los materiales retenidos en las mallas N°10 a la N°200.

$W_d$ ,  $W_{d2}$  y  $W_{d3}$  tiene el mismo significado indicado en el Inciso D.4.3. de este Manual.

**D.4.5.** La cantidad de material que pasa cada malla, conforme a lo siguiente:

**D.4.5.1.** Se le resta al 100%, que es el total de la masa representativa expresada como porcentaje, el retenido parcial correspondiente a la malla de mayor tamaño empleada, con el fin de calcular la cantidad de material que pasa dicha malla.

Lo anterior se puede expresar como:

$$P_{3''} (\%) = 100 - W_{3''} (\%)$$

Donde:

$P_{3''} (\%)$  = Material que pasa a través de la malla 3", que es la de mayor tamaño, con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

$W_{3''} (\%)$  = Retenido parcial en la malla 3" con relación a la muestra original, obtenido como se indica en el Inciso D.4.2. de este Manual, (%)

**D.4.5.2.** Posteriormente, al valor antes obtenido ( $P_{3''}$ ) se le resta el retenido parcial en las mallas subsecuentes hasta llegar a la N°200, con lo cual se van calculando los porcentajes que pasan. Lo que se puede expresar como:

$$P_i (\%) = P_{i+1} (\%) - W_i (\%)$$

Donde:

$P_i (\%)$  = Material que pasa a través de la malla  $i$  con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

$P_{i+1} (\%)$  = Material que pasa a través de la malla inmediata superior, es decir la malla  $i+1$ , con relación a la muestra original, (%)

$W_i (\%)$  = Retenido parcial en la malla  $i$  con relación a la muestra original, obtenido como se indica en los Incisos D.4.2. ó D.4.3. de este Manual, dependiendo del tamaño de la malla, (%)

$i$  = Designación de la malla utilizada, que en este caso va desde la de 2" hasta la N°200

**D.4.5.3.** Con los datos obtenidos como se indica en los Párrafos D.4.5.1. y D.4.5.2. de este Manual, se dibuja sobre un sistema de ejes coordenados la curva granulométrica del material, marcando las aberturas nominales de las mallas, en escala logarítmica sobre el eje de las abscisas y los porcentajes de material que pasa cada malla, sobre el eje de las ordenadas, formando un trazo suave y continuo en la unión de todos los puntos graficados, como se muestra en la Figura 6 de este Manual.

**D.4.6.** Se calculan los contenidos de grava, %G y de arena, %S, mediante las siguientes expresiones:

$$\%G = P_{3''} (\%) - P_4 (\%)$$

$$\%S = P_4 (\%) - \%F$$

Donde:

%G = Contenido de grava con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$P_{3''} (\%)$  = Material que pasa a través de la malla 3", con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

- $P_4$  (%) = Material que pasa a través de la malla N°4, con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%
- %S = Contenido de arena con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%
- %F = Contenido de finos con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

**D.4.7.** Se determinan, mediante las siguientes expresiones, los coeficientes de uniformidad  $C_u$  y de curvatura  $C_c$ , que se emplean para juzgar la graduación del material como se indica en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

- $C_u$  = Coeficiente de uniformidad del material, (adimensional)
- $C_c$  = Coeficiente de curvatura del material, (adimensional)
- $D_{10}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 10% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)
- $D_{30}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 30% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)
- $D_{60}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 60% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)

## E. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO

El análisis granulométrico mediante el procedimiento simplificado consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen un material, empleando un número menor de mallas respecto al análisis granulométrico estándar, con el propósito de determinar los contenidos de grava, arena y finos menores que la malla N°200 (0,075 mm), así como el tamaño máximo del material y juzgar su calidad, relacionando su contenido de finos con las características de plasticidad, para clasificarlo de acuerdo con lo establecido en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*.

### E.1. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Estará integrado por: juego de mallas con designación 3", N°4 y N°200, que se indican en la Tabla 1; horno; balanzas; vaso de aluminio y agitador; cucharón; charolas; tapa y charola de fondo para el juego de mallas, y cepillos, según se describen en la Fracción D.1. de este Manual.

### E.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de materiales para terracerías, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se hace como se indica en los Párrafos D.2.2.1. y D.2.2.2. de este Manual, para separar con la malla N°4 (4,75 mm), la grava de la arena con finos y registrar sus masas  $W_{m1}$  y  $W_{m2}$ , respectivamente, en g, con aproximación a la unidad.

**E.3. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA**

- E.3.1.** La porción del material retenida en la malla N°4, se criba por la malla 3" (75,0 mm), para determinar el por ciento de grava. En su caso, al material retenido en la malla 3", se le determina su masa y se registra como  $W_{3''}$ , en g, con aproximación a la unidad.
- E.3.2.** Con la porción del material que pasó la malla N°4, se procede como sigue:
- E.3.2.1.** Se seca a masa constante en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , se saca del horno, se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa registrándola como  $W_{d2}$ , con aproximación de 0,1 g.
- E.3.2.2.** A continuación el material se coloca en un vaso metálico y se somete a un lavado aplicándole una corriente de agua en forma continua y de tal manera que derrame sobre la malla N°200 (0,075 mm) convenientemente colocada; durante este proceso la muestra se agita con una varilla metálica para propiciar el arrastre de los finos, suspendiendo el lavado cuando el agua que salga del vertedero esté clara. El material retenido en la malla N°200 se regresa al vaso metálico, utilizando un poco de agua, misma que se decanta al final de la operación, pero evitando el arrastre de partículas.
- E.3.2.3.** Se deja escurrir la porción del material que quedó en el vaso y a continuación se seca en el horno a masa constante, a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ; posteriormente se saca del horno, se deja enfriar hasta temperatura ambiente y se determina su masa registrándola como  $W'_{d1}$ , con aproximación de 0,1 g.

**E.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

Para el análisis granulométrico mediante el procedimiento simplificado no es necesario dibujar la curva granulométrica correspondiente ni determinar los coeficientes de curvatura y uniformidad del material, por lo tanto sólo se calcula y reporta:

- E.4.1.** La masa del material seco de la muestra, determinada mediante la siguiente expresión:

$$W_d = W_{d1} + W_{d2}$$

Donde:

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g), con aproximación a la unidad

$W_{d1}$  = Masa del material seco de la fracción retenida en la malla N°4, que se considera igual a  $W_{m1}$ , debido a que el valor del contenido de agua de esta fracción es relativamente pequeño y puede desperdiciarse sin producir errores de importancia, (g)

$W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasó la malla N°4, determinada como se indica en el Párrafo E.3.2.1. de este Manual, (g)

- E.4.2.** El retenido parcial en la malla 3", en su caso, determinado mediante la siguiente expresión:

$$R_{3''} (\%) = \frac{W_{3''}}{W_d} \times 100$$

Donde:

$R_{3''} (\%)$  = Retenido parcial en la malla 3" con relación a la muestra original, (%), con aproximación de 0,1%

$W_{3''}$  = Masa del material retenido en la malla 3", (g)

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

- E.4.3.** El contenido de grava con relación a la masa de la muestra seca, es decir, la fracción que pasa la malla de 3" y se retiene en la malla N°4, calculado mediante la siguiente expresión:

$$\%G = \frac{W_d - W_{d2} - W_{3''}}{W_d} \times 100$$

Donde:

$\%G$  = Contenido de grava con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

$W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasó la malla N°4, determinada como se indica en el Párrafo E.3.2.1. de este Manual, (g)

$W_{3''}$  = Masa del material retenido en la malla 3", (g)

- E.4.4.** El contenido de arena con relación a la masa de la muestra seca, es decir, la fracción que pasa la malla N°4 y se retiene en la malla N°200, en %, calculado mediante la siguiente expresión:

$$\%S = \frac{W'_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

$\%S$  = Contenido de arena con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$W'_d$  = Masa del material seco de la fracción que pasó la malla N°4 y se retuvo en la malla N°200, determinada como se indica en el Párrafo E.3.2.2. de este Manual, (g)

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

- E.4.5.** El contenido de finos con relación a la masa de la muestra seca, es decir, la fracción que pasó la malla N°200, calculado mediante la siguiente expresión:

$$\%F = 100 - \%G - \%S$$

Donde:

$\%F$  = Contenido de finos con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$\%S$  = Contenido de arena con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

$\%G$  = Contenido de grava con relación a la muestra seca, (%), con aproximación de 0,1%

## F. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de las pruebas, se observarán las siguientes precauciones:

- F.1.** Que las pruebas se realicen en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que puedan provocar la pérdida de partículas del material.
- F.2.** Que la fracción que pasa la malla N°4 esté perfectamente seca al momento de efectuar su cribado, cuando la prueba se realice mediante el procedimiento estándar.
- F.3.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional, y que las mallas no tengan indicios de falla, es decir, que sus hilos presenten aberturas uniformes y no estén dañados ni rotos.
- F.4.** Que las balanzas estén limpias en todas sus partes y bien calibradas, colocadas en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.

- F.5.** Que no se produzcan pérdidas de materiales por manipulaciones descuidadas durante las operaciones de cribado, lavado, secado y pesado. Especialmente se deben evitar las partículas atoradas en la trama de las mallas.
- F.6.** Que se tome en cuenta que la sucesión de tamaños obtenidos mediante el empleo de mallas, da una idea de la composición granulométrica únicamente en dos dimensiones, por lo que las curvas granulométricas resultantes solo serán representativas de materiales constituidos por partículas equidimensionales. Si las partículas del material tienen forma laminar o acicular, es decir, de lascas o agujas, respectivamente, los resultados que se obtengan no serán representativos de los tamaños reales del material y, en consecuencia, de su comportamiento. Asimismo, la curva granulométrica no dará una idea correcta de la sucesión de tamaños en los materiales con partículas de masas específicas muy diferentes, en cuyo caso será necesario efectuar la corrección correspondiente, para transformar los porcentajes obtenidos en función de masas, a porcentajes en función de volúmenes.

