



ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

NORMAS DE ENSAYO DEL LABORATORIO CENTRAL DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Determinación de la composición granulométrica de un terreno

NELC 16.01-a

I. Definiciones y aplicación.

Determinar la composición granulométrica de un terreno es clasificarle según el diámetro de sus granos y encontrar el peso de los que hay en cada tamaño.

De acuerdo con el diámetro de las partículas, se llamarán:

Gravas, a las mayores de 20 mm.

Gravillas, a las comprendidas entre 20 y 2 mm.

Arenas, a aquellas menores de 2 mm. y mayores de 0,06 mm.

Limos, a las comprendidas entre 0,06 mm. y 0,02; y

Arcillas (1), a las inferiores a 2 micras y superiores a 0,2 micras.

Para aplicar esta *Norma* a los granos cuyo diámetro sea superior a 0,06 mm., debe seguirse el método del tamizado, y para aquellos otros cuyo diámetro esté comprendido entre 0,15 mm. y 0,2 micras será utilizado el análisis por sedimentación.

Esta determinación es aplicable a toda clase de terrenos.

II. - Instrucciones y normas a que se ajusta.

En la denominación de los granos, según su tamaño, se sigue la clasificación del M. I. T. (Massachusetts Institute of Technology). El mé-

(1) La denominación de arcilla usada en esta *Norma*, se refiere exclusivamente al tamaño de las partículas, con independencia de la proporción en que se encuentren los minerales característicos de la arcilla que en esta parte puedan existir.

todo del tamizado que se propone es semejante al que se aplica en la mayoría de los laboratorios, y el análisis por sedimentación adoptado, salvo ligeras variaciones, es igual al método de Casagrande, que se utiliza en el Bureau of Public Roads, de Estados Unidos.

III. - Aparatos empleados.

a) *Balanza*. — Una balanza que aprecie a 0,1 gr.

b) *Mortero*. — Un mortero y un mazo recubierto de goma, útiles para desmenuzar los terrenos compuestos de partículas del suelo.

c) *Tamices*. — Una serie de tamices, de malla cuadrada y tejido de alambre.

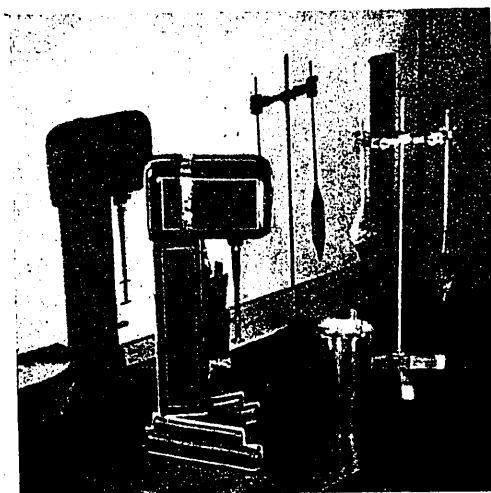


Figura 1.ª

Los tamices necesarios serán los siguientes:

Número	Lado de la abertura en mm.	Serie a que pertenece
3/4	19,1	Tyler.
3/8	9,52	
4	4,76	
8	2,38	
10	1,27	
20	0,635	Greening = I. M. M.
40	0,317	
80	0,149	
200	0,063	

d) *Aparato agitador.* — Un aparato agitador semejante al de la figura 1.^a, con hélice de agitación reemplazable, movida por un motor eléctrico de velocidad angular regulable y un vaso de dispersión, como el dibujado en la figura 2.^a.

e) *Areómetros.* — Un areómetro de cada uno de los modelos que se detallan en la figura 3.^a.

El A, para las suspensiones corrientes, graduado entre 0,995 y 1,030, y el B, para suspensiones con una concentración muy pequeña y cuyas divisiones

estén comprendidas entre 0,990 y 1,010. Ambos tipos deberán indicar 1.000 en agua destilada a 20° C., con una precisión de $\pm 0,0002$.

f) *Una probeta de cristal aforada, de un litro.* De forma cilíndrica, con un diámetro aproximado de 6 cm., y unos 40 cm. de altura.

g) *Un termómetro.* — Graduado entre 10° y 45° C., que permita apreciar variaciones de la temperatura en 0,5° C.

h) *Un baño de agua* para mantener, aproximadamente, constante la temperatura de la suspensión del suelo mientras dure el análisis areométrico. Un dispositivo satisfactorio es el que se muestra en la figura 4.^a, formado por un depósito de chapa metálica, una de cuyas paredes es de cristal y provisto de una tapa.

i) *Un agitador.* — Construido en chapa galvanizada, según el dibujo de la figura 5.^a.

j) *Un cronómetro.* — Que marque los segundos.

k) Doce tubos de ensayo, un vaso de cristal, de forma alta y 250 cm.³ de capacidad, y 6 cápsulas de porcelana, de forma baja y 22 cm. de diámetro.

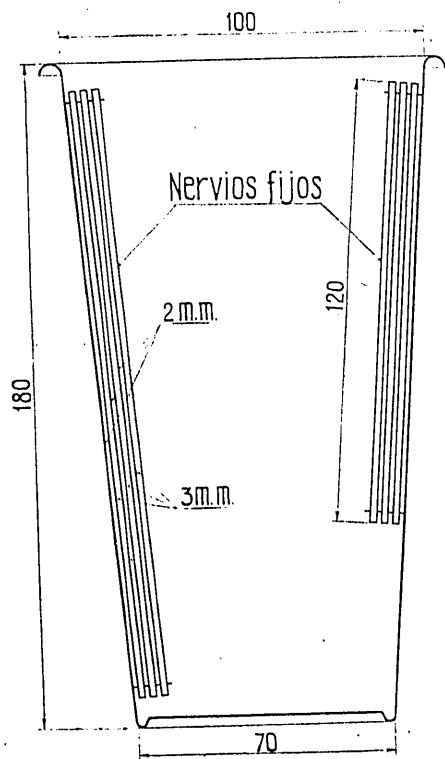
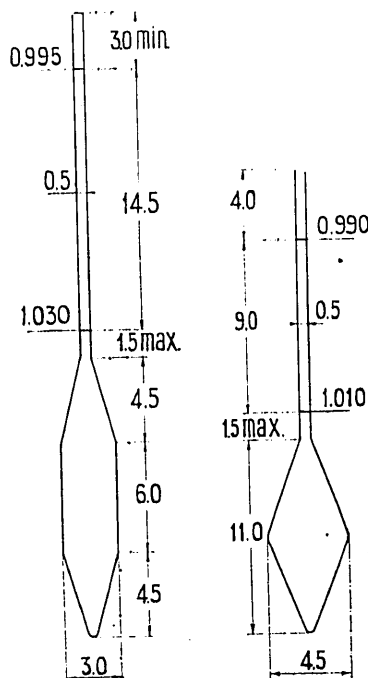


Fig. 2.^a — Vaso de dispersión.



Tipo A.

Tipo B.

Fig. 3.^a — Areómetros de Casagrande: Tipo A, para suspensión normal. Tipo B, para suspensión con concentración muy pequeña.

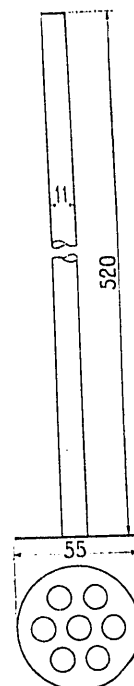


Fig. 5.^a — Agitador metálico.

IV. - Procedimiento operatorio.

A. - MÉTODO DEL TAMIZADO.

A.1. — Composición de la parte de la muestra retenida por el tamiz número 8.

Se pasarán unos 5 Kg. de la muestra media, secada al aire, por los tamices de los números 3/4, 3/8, 4 y 8, comenzando por aquellos que tienen sus agujeros mayores y procediendo en orden de magnitud, de modo que por cada uno de ellos sólo

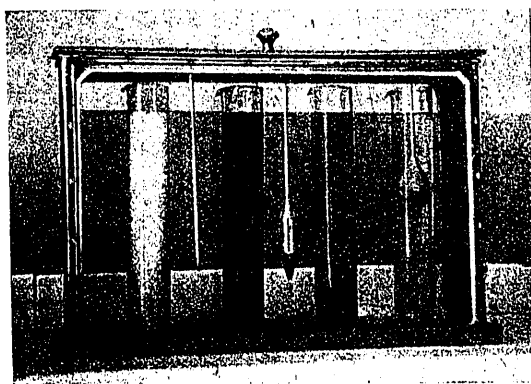


Figura 4.^a

se criba lo que haya pasado por el inmediato superior. En cada una de estas operaciones, los terrones de las partes retenidas serán desmenuzadas en el mortero, utilizando para ello el mango recubierto de goma, volviéndose a continuación a pasar por el mismo tamiz.

Llamando P_1 , P_2 , P_3 , P_4 los pesos de las fracciones retenidas en los tamices de los números 3/4, 3/8, 4 y 8, y P_5 el resultado de secar a peso constante a 110° C. la parte que pasó por el tamiz número 8, los valores de las fórmulas siguientes:

$$p_1 = \frac{100 P_1}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5};$$

$$p_2 = \frac{100 P_2}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5};$$

$$p_3 = \frac{100 P_3}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5};$$

$$p_4 = \frac{100 P_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5};$$

serán los tantos por cientos del peso de la muestra

seca, retenidos por los tamices números 3/4, 3/8, 4 y 8.

Con este procedimiento se supone que no hay humedad en las partículas aireadas retenidas por el tamiz número 8; sin embargo, en la realidad siempre existe una cierta cantidad, pero comparada con el peso de dicho material es tan pequeña, que se puede despreciar el error cometido.

A.2. — Granulometría de la porción de la muestra que pasa por el tamiz número 8 y es retenida por el del número 200.

De la muestra media secada al aire, se tomará la cantidad necesaria para que la parte que pase por el tamiz número 8, después de haber desagregado bien los terrones en el mortero, sea aproximadamente de 200 gr.

A continuación de este cribado, se obtendrá el peso P_6 de la parte retenida en el número 8, siguiéndose el cernido de las partículas más pequeñas en los tamices números 10, 20, 40, 80 y 200, de acuerdo con las siguientes prescripciones: Para arenas y gravas limpias, el separado se hará en seco, mientras que en las tierras arcillosas o en aquellas otras en que el material fino esté adherido a los granos más gruesos, será necesario recurrir al tamizado con agua, lavando con cuidado el material hasta obtener limpia el agua del lavado.

En ambos casos se facilitará la operación por medio de un pincel de dimensiones adecuadas.

Cada una de las porciones retenidas en los tamices, se recogerá con cuidado para evitar pérdidas de material, desecándolas después a peso constante a 110° C.

Si indicamos con P_7 , P_8 ... y P_{11} los pesos de las fracciones retenidas en los tamices números 10, 20, 40, 80 y 200, y P_{12} el resultado de secar a peso constante a 110° C. el residuo que pasó por el tamiz número 200, siendo:

$$P' = P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}$$

los resultados de las fórmulas:

$$p_5 = \frac{107 P_7}{P'}; \quad p_6 = \frac{100 P_8}{P'}; \quad p_7 = \frac{100 P_9}{P'};$$

$$p_8 = \frac{100 P_{10}}{P'}; \quad p_9 = \frac{100 P_{11}}{P'},$$

son los tantos por cientos del peso de la muestra seca total, retenidos por los tamices números 10, 20, 40, 80 y 200, respectivamente.

B. - ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN.

B.1. — *Determinación de la humedad de la porción de la muestra que pasa por el tamiz número 80.*

Se pesan unos 10 gr. de la parte de la muestra media, secada al aire, que pasa por el tamiz número 80, desecándolos a continuación a peso constante a 110° C.

La humedad de la muestra queda expresada en tanto por ciento de su peso seco aplicando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} 100;$$

en donde:

W, es la humedad de la muestra,

Q₁, es el peso de la parte desecada al aire, y

Q₂, el de la misma muestra a peso constante a 110° C.

B.2. — *Elección del dispersante.*

La precisión de los resultados obtenidos en un análisis por sedimentación depende en su mayor parte, especialmente en tierras arcillosas o de granos muy finos, de llegar a realizar una buena dispersión de sus partículas.

En los terrenos arenosos se puede obtener una dispersión conveniente, agitando con agua la muestra ensayada, pero en los suelos arcillosos y en aquellos otros en que los elementos muy finos están adheridos rodeando a los granos gruesos, es necesario recurrir al tratamiento con soluciones de agentes químicos dispersivos y a la agitación mecánica.

Las soluciones de agentes químicos usadas como dispersivos en el Laboratorio, son las siguientes:

Silicato sódico	al 1 y al 4 ‰
Pirofosfato sódico	al 1/2 y al 5 ‰
Oxalato sódico	al 2 y al 5 ‰
Citrato sódico	al 1 y al 4 ‰
Ferrocianuro sódico.....	0.01 N y 0.001 N.

Para elegir la solución más indicada debe seguirse el método que detallamos:

Se prepararán doce tubos de ensayo, de diámetro análogo, con 3 gr. en cada uno de la muestra a ensayar, que pasa por el tamiz número 80, añadiendo en diez de ellos las diversas soluciones de las sales de sodio indicadas, y en los otros dos, agua potable y agua destilada, hasta completar en

todos una altura igual, con un volumen próximo a los 20 cm.³.

Después de agitarlos fuertemente durante un minuto a cada uno, se dejarán sedimentar, debiendo desecharse todos aquellos tubos en que se produzcan grumos o que se aclaren rápidamente por terminarse la sedimentación en pocas horas; tampoco puede utilizarse como dispersiva la solución en cuyo ambiente se forma el sedimento con aspecto gelatinoso, conteniendo granos de dimensiones diversas. En las dispersiones completas, el líquido permanece turbio durante bastantes horas, el sedimento se presenta compacto, con los granos más gruesos en la base, y el diámetro de las partículas irá decreciendo al formarse los diferentes estratos.

Teniendo en cuenta las orientaciones del párrafo anterior y observando la sedimentación en todos los tubos de ensayo durante uno o dos días, se podrá elegir, sin dificultad, el agente químico adecuado y la concentración conveniente, que según los casos podrá variar de las indicadas para lograr una buena dispersión. Seleccionada ésta, se preparará un litro de dicha solución.

B.3. — *Correcciones debidas al menisco y al peptizante.*

Al aplicar, dentro de esta determinación, la ley de Stokes para el cálculo de las proporciones en que están las partículas de los diversos tamaños, hay que tener en cuenta que el líquido con que se opera en la mayoría de los casos es de color terroso, y, por tanto, poco transparente, por lo que, para obtener lecturas precisas en el areómetro, será necesario hacerlas en el borde superior del menisco que se forma alrededor del tallo del instrumento. Como los areómetros propuestos por Casagrande y adoptados para esta determinación se taran a la altura en que la superficie libre horizontal del agua encuentra al tallo, las lecturas hechas en el borde superior del menisco deben ser rectificadas, añadiéndolas la corrección debida al menisco, que es una constante para cada aparato, y que se determina por el siguiente procedimiento: Se colocan unos 900 cm.³ de agua destilada en una probeta de cristal, y cuando el líquido esté en reposo, se sumerge lentamente el areómetro, que debe estar bien limpio y seco, dejándolo suelto cuando se ha llegado a una profundidad un poco menor a la que se presume será la posición de equilibrio, evitando que

se produzcan oscilaciones de inmersión y emersión, que al ocasionar el baño de la parte superior del tallo del areómetro originarían errores en la determinación.

Cuando el areómetro se quede quieto, debe leerse la densidad a la altura en que la superficie libre del agua encuentra al tallo, y después se hará otra lectura en el borde superior del menisco; la diferencia de ambas es el valor de C_m , corrección debida al menisco.

Por otra parte, como la densidad del líquido en que se hace la dispersión varía de unos casos a otros, según la concentración y naturaleza del agente químico que se utiliza para facilitarla, es necesario tener en cuenta este aumento de densidad que se origina en relación con la del agua destilada, lo que se consigue disminuyendo la lectura hecha en el areómetro en la corrección debida al peptizante, y que es constante para cada solución del mismo agente químico y a la misma concentración. Su valor C_p se determina por el procedimiento siguiente: Elegida la solución del dispersivo que se va a emplear, siguiendo las normas del apartado B.2, se colocará, aproximadamente, un litro de dicha solución a 20° C. en una probeta de cristal y, cuando se quede en reposo, deberá sumergirse lentamente el areómetro, dejándolo suelto en una posición aproximada a la que se imagina será la de equilibrio.

La densidad de dicha solución, sin considerar el menisco, disminuida en una unidad y con signo negativo, es el valor de C_p , corrección debida al peptizante.

B.4. — Preparación de la muestra.

El material para el análisis por sedimentación, se obtendrá por tamizado, partiendo de una muestra media del terreno que se ensaya secado al aire, separando para utilizarla la porción que pase por el tamiz número 80 (agujeros cuadrados de 0,149 milímetros de lado) y desecando a peso constante la parte retenida por dicho tamiz.

La cantidad de materia que habrá pasado por el tamiz número 80, necesaria para la prueba, varía con la naturaleza del terreno y disminuye al ser más arcilloso.

Se deben usar, aproximadamente, las siguientes cantidades:

En terrenos arenosos ($100 + W$) gramos, y en los arcillosos ($50 + \frac{W}{2}$) gramos, siendo W el tanto por ciento de humedad natural, calculado se-

gún, las indicaciones del apartado B.1 de esta determinación,

En los terrenos cuyo índice de plasticidad sea menor de 20 (1), la muestra determinada, como se ha indicado, se colocará en el vaso del agitador, cubierta por unos 100 cm.³ de la solución del dispersivo seleccionado en el apartado B.2, removiéndola de tiempo en tiempo, con una varilla de vidrio, hasta obtener una pasta blanda y homogénea.

Cuando las tierras sean muy plásticas (índice de plasticidad mayor de 20) se dispondrá la muestra en un vaso de cristal de forma alta y 250 cm.³ de capacidad, con unos 100 cm.³ de agua oxigenada de 20 volúmenes (6 por 100 en peso). Después de mezclar bien el conjunto hasta que la tierra se haya humedecido por completo, se meterá el vaso cubierto con un cristal, en un horno a 110° C. durante una hora, al final de la cual se sacará el vaso del horno, añadiéndole a continuación de 50 a 100 centímetros cúbicos de la solución del dispersivo y dejando reposar el conjunto durante veinticuatro horas.

La muestra recogida en el vaso será agitada mecánicamente con el aparato apropiado (fig. 1.^a) durante cinco minutos si se trata de terrenos arenosos, y de quince a veinte minutos en las arcillas de menor o mayor plasticidad.

Terminada la agitación, se pasará la suspensión a una probeta de cristal de un litro de capacidad, cuidando que no se pierda nada del material, para lo cual será conveniente utilizar la solución del dispersivo en la limpieza del vaso, y después de ello se llenará la probeta de cristal con la solución elegida, hasta llegar exactamente a un volumen de 1.000 cm.³.

Terminada la preparación de la muestra, se procederá a hacer las medidas con el areómetro del modelo más adecuado, según se detalla en el apartado siguiente.

B.5. — Medidas realizadas con el areómetro.

La suspensión, convenientemente dispersa y con un volumen exacto de 1.000 cm.³, se ha colocado en una probeta de cristal de forma cilíndrica y que mide 6 cm. de diámetro aproximadamente. Esta probeta se lleva al baño de agua descrito en el apartado III. h (figura 4.^a), y con ayuda del agitador metálico de la figura 5.^a, se bate violentamente y

(1) La determinación del índice de plasticidad se detallará en la NELC 16.03-a.

en sentido vertical, procurando que no se forme espuma en la superficie del líquido, durante un minuto, después del cual se saca el agitador. En este momento, que es en el que se inicia el proceso de sedimentación, debe ponerse en marcha un cronómetro.

Por medio del areómetro correspondiente a la probeta usada (1) se determina la densidad de la suspensión en los siguientes instantes: a los quince, treinta y cuarenta y cinco segundos; uno, dos, cuatro, ocho, quince y treinta minutos; una, dos y cuatro horas, contados a partir del comienzo de la sedimentación y, después, una o dos veces al día, según la naturaleza del análisis y del terreno ensayado.

El areómetro deberá ser sumergido en la suspensión lentamente y sin sacudidas, teniendo cuidado de soltarle cuando se halle a una profundidad un poco menor a la que se supone será la posición de equilibrio, evitando se produzcan oscilaciones de inmersión y emersión, que, además de retrasar las lecturas en el areómetro, hacen que se moje la

parte superior de su tallo, produciendo errores en la determinación.

El areómetro quedará flotando en la suspensión desde que comience la sedimentación hasta inmediatamente después de hacerse la lectura a los dos minutos y, a partir de ella, se sumergirá y sacará para cada lectura, limpiándole y secándole, cada vez, con una tela de hilo bien limpia. La extracción del areómetro debe hacerse también despacio y sin sacudidas, tardándose aproximadamente en cada una de las operaciones anteriores de cinco a diez segundos.

Durante los quince primeros minutos, se determinará, por lo menos una vez, la temperatura de la suspensión, haciéndose lo mismo después de las sucesivas lecturas.

Posteriormente a la terminación de todas las medidas con el areómetro, se recogerá la suspensión en una cápsula de porcelana, evaporando el líquido en el horno a 105° C. y obteniendo el peso del residuo seco P_A , que servirá de base para la determinación de los tantos por cientos en peso de los granos de los diversos tamaños que hay en la muestra.

(1) Como se indicará en el apartado B.9, cada areómetro se tara con su probeta.

(Continuará.)