

## Análisis granulométrico del filler por sedimentación Método del densímetro

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación cuantitativa de la distribución del tamaño de las partículas de un filler para su empleo en mezclas bituminosas.

1.2 El procedimiento está normalizado para la realización del análisis granulométrico de un filler con tamaño de partículas inferiores a  $80 \mu\text{m}$  (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE).

1.3 Cuando el filler analizado tenga material retenido en el tamiz 0,080 UNE y se desee determinar la distribución por tamaños del material superior a  $80 \mu\text{m}$ , se aplicará la norma NLT-151 a esta fracción.

1.4 La determinación de la distribución de la fracción de partículas menores de  $80 \mu\text{m}$  se realiza por un proceso de sedimentación del filler previamente dispersado, empleando un densímetro para la obtención de los datos necesarios.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Balanza.** Una balanza que tenga una precisión de 0,01 g.

2.2 **Desecador.** Un desecador para reservar las muestras del filler una vez desecadas en estufa a  $110^\circ\text{C}$ .

2.3 **Aparato para la dispersión.** Una batidora eléctrica capaz de desarrollar aproximadamente una velocidad de 1.047 rad/s (10.000 rpm), equipada con paletas recambiables, y un recipiente de unos  $500 \text{ cm}^3$ . Si no se dispone de batidora, puede emplearse un mortero con mano de goma.

2.4 **Densímetro.** Un densímetro de la forma y dimensiones de la figura 1, con escala graduada en densidades relativas de 0,995 a 1,038 y calibrado para que a  $20^\circ\text{C}$  la lectura sea igual a 1,000 (Densímetro 151 H, ASTM E 100-72).

2.5 **Probeta de sedimentación.** Consistirá en un cilindro de vidrio u otro material transparente, de aproximadamente 460 mm de altura y 60 mm de diámetro, con una marca de calibración para un volumen de  $1.000 \text{ cm}^3$ . El diámetro interior será tal que el enrase de  $1.000 \text{ cm}^3$  esté situado a  $360 \pm 20 \text{ mm}$  del fondo, medido interiormente.

2.6 **Termómetro.** Un termómetro graduado de 0 a  $50^\circ\text{C}$  y con una precisión de  $0,5^\circ\text{C}$ .

2.7 **Vaso.** Un vaso de  $250 \text{ cm}^3$  de capacidad.

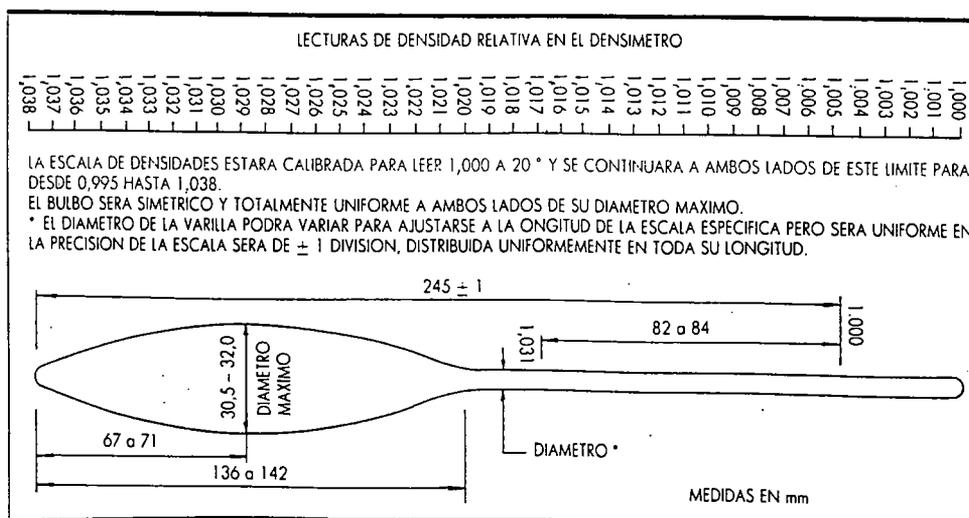


FIGURA 1. Densímetro.

## 2.8 Cronómetro.

**2.9 Solución dispersante.** Se empleará una solución de 40 g de hexametáfosfato sódico ( $\text{Na PO}_3$  o  $(\text{Na PO}_3)_6$ ), en 1.000  $\text{cm}^3$  de agua destilada o desmineralizada (Nota 1).

**Nota 1.** Las soluciones de esta sal se vuelven ácidas con el tiempo y van perdiendo lentamente su acción dispersante, por lo que es necesario prepararlas frecuentemente, una vez al mes por lo menos, o ajustar su pH entre 8 y 9 con carbonato sódico. Los recipientes que contengan la sal deberán ir marcados con la fecha de preparación.

## 3 PROCEDIMIENTO

### 3.1 Determinación de la corrección total de la lectura con el densímetro.

**3.1.1** Las ecuaciones para calcular el porcentaje de filler que permanece en suspensión están basadas en el empleo de agua destilada o desmineralizada. Debido al empleo del agente de dispersión, la densidad del líquido resultante es apreciablemente mayor que la del agua destilada o desmineralizada, por lo que hay que tener en cuenta este factor al tomar las lecturas del densímetro.

**3.1.2** El densímetro está calibrado a 20 °C y las variaciones de temperatura con respecto a ésta, producen incorrecciones en la lectura del densímetro. La magnitud de estas incorrecciones aumenta conforme la temperatura se aparta más de la normalizada.

**3.1.3** El densímetro está graduado para leer en la parte inferior del menisco formado por el líquido en la varilla. Debido a que con las suspensiones de filler no es posible realizar las lecturas de esta manera, las lecturas se tomarán en la parte superior del menisco, por lo que será necesario aplicar también una corrección.

**3.1.4** El conjunto de las correcciones correspondientes a los tres factores indicados se denomina corrección total del densímetro (R) y puede determinarse experimentalmente.

**3.1.5** Es conveniente construir un gráfico o una tabla de las correcciones totales para una serie de temperaturas, a intervalos de 1 °C, abarcando el margen previsto de temperaturas de ensayo. La medida de la corrección total se puede hacer a dos temperaturas que abarquen el margen de temperaturas de ensayo probables, y se calculan las correcciones intermedias suponiendo una relación lineal entre las dos temperaturas consideradas.

**3.1.6** Para calcular la corrección total se preparan 1.000  $\text{cm}^3$  de la solución dispersante. Se coloca el

líquido en la probeta de sedimentación y se sumerge ésta en un baño de agua a temperatura constante y libre de vibraciones. Cuando la temperatura del baño se mantenga constante para una de las dos temperaturas elegidas, se sumerge el densímetro, se espera el tiempo necesario para que el densímetro alcance la temperatura del líquido y se hace la lectura en la parte superior del menisco. La corrección total es la diferencia entre esta lectura y la unidad. La operación se repite a la otra temperatura elegida y se determina de la misma manera la corrección total.

### 3.2 Ejecución del ensayo

**3.2.1** El análisis granulométrico del filler por sedimentación debe determinarse sobre el material que pasa el tamiz 0,080 UNE, previamente desecado en estufa a 110 °C y mantenido en un desecador hasta el momento del ensayo.

**3.2.2** Se pesan 50 g del filler en un vaso de 250  $\text{cm}^3$  y se añaden 125  $\text{cm}^3$  de la solución dispersante, agitando el conjunto hasta que el filler esté totalmente mojado. En estas condiciones se deja en reposo al menos durante 16 horas.

**3.2.3** Al final de este período se dispersa la muestra utilizando la batidora, para lo cual se vierte la suspensión del filler contenida en el vaso, en el recipiente de la batidora, lavando a continuación el vaso con agua destilada o desmineralizada para arrastrar por completo el material que haya quedado retenido. Se añade al recipiente de la batidora el agua necesaria hasta la mitad de su capacidad y se agita durante un período de 1 minuto.

**3.2.4** Inmediatamente después de la dispersión, se vierte la totalidad del contenido del recipiente en la probeta de sedimentación y se añade agua destilada o desmineralizada hasta completar el volumen de 1.000  $\text{cm}^3$ , empleando este agua para el lavado del recipiente.

**3.2.5** Se coloca un tapón de goma blanda en la boca de la probeta y se agita vigorosamente durante un período de 1 minuto para conseguir una suspensión uniforme de todo el filler empleado. Al final de este período se coloca la probeta en un lugar conveniente libre de vibraciones, se pone en marcha el cronómetro y se toman lecturas con el densímetro a los intervalos de tiempo especificados, medidos desde el comienzo de la sedimentación. Los intervalos de tiempo de la toma de lecturas pueden variar con el tipo de filler o con la especificación del material que se ensaya, pero los más usuales son 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1.440 minutos (24 horas).

**3.2.6** Durante el ensayo el densímetro se mantendrá en una probeta de agua desmineralizada, similar a la del ensayo, y situada en lugar próximo.

**3.2.7** Cuando se vaya a tomar la lectura con el densímetro, se introduce éste cuidadosamente en la suspensión unos 20 a 25 segundos antes de la lectura, hasta aproximadamente la profundidad a que haya de quedarse durante la lectura. Inmediatamente después de tomar la lectura, se vuelve a poner el densímetro en la probeta con agua a la misma temperatura, girándolo para limpiarlo de cualquier partícula de filler adherida.

**3.2.8** Después de cada lectura, se toma la temperatura de la suspensión introduciendo suavemente el termómetro en la misma.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Cálculos

#### Porcentaje de filler en suspensión.

**4.1.1** El porcentaje de filler (P), que permanece en suspensión en la zona en la que se mide la densidad se calcula por la siguiente expresión (Nota 2):

$$P = \left[ \frac{100.000}{W} \times \frac{G}{G - G_1} \right] \times (R - G_1)$$

donde:

R = lectura del densímetro, modificada por la corrección total determinada según apartado 3.1.

W = Masa de filler empleada en el ensayo.

G = densidad relativa de las partículas del filler.

G<sub>1</sub> = densidad relativa del líquido donde están las partículas en suspensión. Puede tomarse el valor de 1,000 para todos los casos prácticos.

**Nota 2.** El factor entre corchetes de esta ecuación es constante para una serie de lecturas, por lo que puede calcularse previamente y multiplicarlo después por el factor entre paréntesis.

#### Diámetro de las partículas de filler en suspensión.

**4.1.2** El diámetro máximo de las partículas del filler en suspensión, correspondientes al porcentaje indicado para una lectura dada del densímetro, se calculará de acuerdo con la ley de Stokes:

$$D = \sqrt{\left[ 30n/980 (G - G_1) \right] \times L/T}$$

donde:

D = diámetro de las partículas en mm.

n = coeficiente de viscosidad en poises del medio de suspensión, que en este caso es el agua. El coeficiente varía con los cambios de temperatura del medio de suspensión.

L = distancia en cm entre la superficie de la suspensión y el nivel al que se mide su densidad. Esta distancia se conoce como profundidad real (tabla 1).

T = intervalo de tiempo en minutos desde que se inicia la sedimentación hasta que se toma la lectura.

G = densidad relativa de las partículas del filler.

G<sub>1</sub> = densidad relativa del líquido donde están las partículas en suspensión. Puede tomarse 1,000 para todos los casos prácticos.

LECTURA DEL DENSÍMETRO	PROFUNDIDAD REAL L (cm)	LECTURA DEL DENSÍMETRO	PROFUNDIDAD REAL L (cm)
1,000	16,3	1,021	10,7
1,001	16,0	1,022	10,5
1,002	15,8	1,023	10,2
1,003	15,5	1,024	10,0
1,004	15,2	1,025	9,7
1,005	15,0		
1,006	14,7	1,026	9,4
1,007	14,4	1,027	9,2
1,008	14,2	1,028	8,9
1,009	13,9	1,029	8,6
1,010	13,7	1,030	8,4
1,011	13,4	1,031	8,1
1,012	13,1	1,032	7,8
1,013	12,9	1,033	7,6
1,014	12,6	1,034	7,3
1,015	12,3	1,035	7,0
1,016	12,1	1,036	6,8
1,017	11,8	1,037	6,5
1,018	11,5	1,038	6,2
1,019	11,3		
1,020	11,0		

**TABLA 1.** Valores de la profundidad real basados en las características normalizadas para el densímetro y probeta de sedimentación.

**4.1.3** Para simplificar los cálculos, la ecuación anterior puede expresarse de la siguiente forma:

$$D = K \sqrt{L/T}$$

donde:

K = constante que depende de la temperatura de la suspensión y de la densidad relativa de las partículas del filler. En la tabla 2 se dan los valores de K para un margen normal de temperaturas y

TEMP °C	DENSIDAD RELATIVA DEL FILLER									
	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45
16	1,843	1,798	1,757	1,718	1,682	1,648	1,616	1,586	1,557	1,530
17	1,819	1,775	1,734	1,696	1,661	1,627	1,595	1,566	1,537	1,511
18	1,795	1,752	1,712	1,674	1,639	1,606	1,575	1,545	1,517	1,491
19	1,773	1,730	1,691	1,653	1,619	1,586	1,555	1,526	1,499	1,472
20	1,751	1,709	1,670	1,633	1,599	1,566	1,536	1,507	1,480	1,454
21	1,730	1,688	1,650	1,613	1,579	1,548	1,517	1,489	1,462	1,437
22	1,710	1,668	1,630	1,594	1,561	1,529	1,499	1,471	1,445	1,420
23	1,690	1,649	1,611	1,576	1,542	1,511	1,482	1,454	1,428	1,403
24	1,670	1,630	1,592	1,557	1,525	1,494	1,465	1,437	1,411	1,387
25	1,651	1,611	1,574	1,540	1,507	1,477	1,448	1,421	1,395	1,371
26	1,632	1,593	1,556	1,522	1,490	1,460	1,432	1,405	1,380	1,356
27	1,614	1,575	1,539	1,505	1,474	1,444	1,416	1,389	1,364	1,341
28	1,597	1,558	1,522	1,489	1,457	1,428	1,400	1,374	1,349	1,326
29	1,579	1,541	1,506	1,473	1,442	1,413	1,385	1,359	1,335	1,312
30	1,562	1,525	1,490	1,457	1,426	1,398	1,370	1,345	1,321	1,298

TEMP °C	DENSIDAD RELATIVA DEL FILLER									
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95
16	1,504	1,480	1,457	1,434	1,413	1,393	1,373	1,355	1,337	1,319
17	1,485	1,461	1,438	1,416	1,395	1,375	1,356	1,337	1,320	1,303
18	1,466	1,442	1,419	1,398	1,377	1,357	1,338	1,320	1,303	1,286
19	1,448	1,424	1,402	1,380	1,360	1,340	1,322	1,304	1,286	1,270
20	1,430	1,407	1,385	1,363	1,343	1,324	1,305	1,288	1,271	1,254
21	1,413	1,390	1,368	1,347	1,327	1,308	1,290	1,272	1,255	1,239
22	1,396	1,373	1,352	1,331	1,311	1,292	1,274	1,257	1,240	1,224
23	1,380	1,357	1,336	1,315	1,296	1,277	1,259	1,242	1,226	1,210
24	1,364	1,341	1,320	1,300	1,281	1,262	1,245	1,228	1,212	1,196
25	1,348	1,326	1,305	1,285	1,266	1,248	1,231	1,214	1,198	1,182
26	1,333	1,311	1,291	1,271	1,252	1,234	1,217	1,200	1,184	1,169
27	1,318	1,297	1,276	1,257	1,238	1,220	1,203	1,187	1,171	1,156
28	1,304	1,282	1,262	1,243	1,225	1,207	1,190	1,174	1,158	1,143
29	1,290	1,269	1,249	1,230	1,211	1,194	1,177	1,161	1,146	1,131
30	1,276	1,255	1,235	1,216	1,198	1,181	1,165	1,149	1,134	1,119

Nota: Los valores de K, se dividirán por 100 para su empleo en la ecuación.

**TABLA 2. Valores de K para su empleo en la ecuación del cálculo del diámetro de las partículas.**

densidades relativas. El valor de K no cambia para la serie de lecturas que constituyen el ensayo.

#### 4.2 Expresión de los resultados.

4.2.1 Los resultados se expresarán en tanto por ciento en peso de las partículas correspondientes a los tamaños obtenidos para cada una de las lecturas tomadas en los tiempos especificados.

4.2.2 Se indicará cualquier dificultad que se haya podido presentar en la dispersión del filler.

#### 5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 422-63 (1972) «Method for Particle-Size Analysis of Soils».

AASHTO T 88-72 «Particle Size Analysis of Soils».  
BS 1377 (1967) «Methods of test for soils for civil engineering purposes».

#### 6 NORMA PARA CONSULTA

NLT-151 «Análisis granulométrico por tamizado del polvo mineral».