

- 17 -

617-7 LA GRANULOMETRIA DE LOS CEMENTOS

(La granulométrie des ciments).

F. Matouschek.

De: "REVUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION", 163, mayo y 197, junio 1950.

Hay, en general, tres métodos principales para la determinación de la constitución granular de un sólido pulverizado: tamizado, separación por aire y sedimentación. Los tres son muy aplicados en la industria del cemento y, como dice el autor, todos ellos presentan algunas ventajas y muchas limitaciones.

Tamizado. Esta operación, aunque se realice con tamices de buena calidad y en aparatos automáticos o a mano, solo resulta adecuada para materiales de grano grueso. Cuando la dimensión de la partícula es de 88 micras, los errores que pueden cometerse llegan a ser del 8,5 % para los cementos normales y del 21,6 % para los supercementos; si descendemos a 60 micras, estos errores pueden incrementarse a 10 y 24 % respectivamente. En términos generales, la operación de tamizado no debe verificarse con partículas de tamaño inferior a 88 micras, so pena de cometer errores inadmisibles.

Separación por aire o fluorometría. Consiste, como es bien sabido, en provocar el arrastre de las partículas más finas de una sustancia pulverizada, mediante una corriente de aire de velocidad regulable. Los fluorómetros se prestan bastante bien para las operaciones de control industrial y los errores posibles, para granos de 30 micras, no suelen pasar del 1%. Con este método es difícil separar en fracciones los materiales que contienen muchos finos y pocos gruesos. Las operaciones suelen ser largas y tediosas. Por otra parte, el "batido" prolongado de las partículas en corriente de aire provoca un frotamiento de aquellas entre sí y contra las paredes del recipiente, que puede llevar a la fragmentación. En general, los resultados de la separación

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

por aire de los granos de tamaño inferior a 30 micras, adolecen de grandes errores por exceso.

Sedimentación. Como su nombre indica, se trata en esta operación de preparar una suspensión del polvo en el seno de un líquido (que no debe reaccionar con el material sólido) y, una vez en reposo el conjunto, dejar que todas las partículas de una dimensión determinada (o mayores) caigan al fondo del recipiente o se sitúen por debajo de una línea previamente determinada. La columna de líquido situada por encima de esta línea no contiene más que granos de tamaño inferior a dicha dimensión. No hay más que extraer una porción determinada de la suspensión en esta zona, evaporar a sequedad y pesar el residuo. Un cálculo sencillo permite hallar la cantidad de material sólido con respecto al total de la muestra. La pipeta de Andreasen (ver, Últimos Avances nº 13 pág. 30) es un ejemplo típico de aparato para determinaciones granulométricas por sedimentación, y su empleo es muy conocido en los laboratorios de la industria del cemento.

Tanto la sedimentación como el arrastre por aire se basan en la conocida ley de Stokes que da la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido.

$$V = \frac{10^{-8} (\gamma_s - \gamma_f) d^2 g}{18 \eta}$$

V = velocidad en cm.^{-1}
 γ_s y γ_f = densidades del sólido y del fluido.
 g = constante universal.
 d = diámetro en micras.
 η = viscosidad del fluido.

Para que dicha ley se cumpla es necesario que -aparte de otras- se cumplan las siguientes condiciones:

- 1ª.- Que la forma de las partículas difiera poco de la esférica.
- 2ª.- Que los granos sean indeformables y presenten una superficie lisa.

3ª.- Que la velocidad de caída en el seno del fluido no sea exagerada.

4ª.- Que durante la sedimentación no haya fenómenos de coagulación.

Los granos de cemento, aunque presentan forma esferoidal, tienen una superficie rugosa y, por supuesto, diferente de unos granos a otros según el artificio empleado en la molturación. Respecto a la coagulación, hay que mencionar la formación de "plaquetas" o aglomerados planos de granos finos formados por el martilleo de los cuerpos molturadores en el interior del molino.

Observando otra vez la ley de Stokes, puede verse que la separación por aire y por sedimentación se hace, no sólo en función del diámetro de los granos sino también del peso específico de los mismos, supuesto que la densidad del medio dispersor, la viscosidad del mismo y g son constantes. Pero el cemento no está constituido por una sustancia homogénea de densidad uniforme, sino por una mezcla de clinker bien cocido, sobrecocido, crudo, yeso crudo, etc. He aquí porque, cuando se hacen separaciones en cementos, la composición granulométrica de las distintas fracciones no es la misma.

Después de lo anteriormente expuesto, es fácil llegar a la conclusión de que, por el momento, la separación precisa de los distintos componentes de un cemento no es realizable.

El autor, separando previamente de un modo aproximado las distintas fracciones, mediante sedimentación, y utilizando un recipiente de fondo ópticamente plano, ha medido, con el microscopio, el diámetro de los granos. Se considera como diámetro la media de dos medidas longitudinales verificadas sobre cada partícula en direcciones perpendiculares. De este modo ha podido hacer un estudio comparativo de la relación existente entre los diámetros calculados por la Ley de Stokes y los reales determinados al microscopio. Al parecer, esta interdependencia responde a la fórmula:

$$D_{\text{real}} = 2,26 D_{\text{cal}}^{0,79}$$

Se trata pues de una ecuación exponencial que dá, para diámetros de 20 micras, diferencias de 20%; para 10 micras, 40% y para 5 micras, 60%.

Siempre que se trate de verificar investigaciones granulométricas habrá de tenerse presente lo anteriormente expuesto, es decir, deberán emplearse siempre los diámetros medidos y no los calculados.

En cuanto a los errores posibles en las determinaciones por sedimentación es fácil llegar al 15% para tamaños de granos inferiores a 5 micras.

Análisis granulométricos.— La parte teórica del trabajo de M. Matouschek se refiere a la discusión de las curvas granulométricas trazadas por él y correspondientes a distintos cementos y supercementos tratados de diferente modo, es decir, triturados según sistemas y aparatos diferentes. Luego critica las distintas leyes dadas para la distribución granulométrica de un cemento, tales como las dos de Nilsson, de Rothfuchs, de E. Szinger, de Rosin y Rammler, de Gille y otras, ninguna de las cuales puede considerarse como fórmula general para la distribución granulométrica, dado que su campo de validez suele ser muy restringido.

Las curvas diferenciales y los procesos de división en el molino tubular.

Un análisis granulométrico completo de un cemento (clinker + yeso) muestra la marcha de la molturación en los diferentes compartimientos del molino (el autor ha experimentado en las dos últimas cámaras de un molino compound de tres compartimientos) y explica —después de unas hipótesis discutibles— las anomalías presentadas, tales como acumulación de finos o gruesos en distintas secciones del tubo.

Cálculo de la superficie específica de las sustancias pulverulentas. Puede calcularse la superficie total de todos los granos contenidos en 1 gr. de un polvo de cemento, sin más que hacer el análisis granulométrico del mismo por fracciones, calcular el diámetro medio del grano de cada fracción (suponien-

do que las partículas son esferas o cubos) y hallar la suma de las superficies parciales encontradas para cada fracción. En la práctica esto no es tan sencillo porque, tanto la fórmula de Gates como la de Lea presuponen la condición de que exista una relación logarítmica entre la dimensión de los granos y la porción en peso de los mismos que hay en 1 gr. de polvo. Esto no se verifica más que un pequeño intervalo comprendido entre 20 y 50 micras.

Después de comentar las fórmulas usuales para la determinación de la superficie específica (Gates, Lea, Oden, Stratling y Honig) el autor deduce, mediante un razonamiento matemático que omitimos en gracia a la brevedad, la expresión siguiente:

$$S = \frac{6 \cdot 10^4}{\gamma D_m} \text{ cm}^2/\text{gr.}$$

para la superficie total de las partículas contenidas en 1 gr. de cemento y en la cual, γ es el peso específico del aglomerante y D_m el diámetro medio de los granos.

Para el cálculo de este D_m hay que proceder por planimetría o integración gráfica a partir de la curva granulométrica, a cuyo respecto cita el autor la forma de operar y los errores que pueden comentarse. Aplica luego su fórmula a una serie de cementos y compara las superficies específicas obtenidas con las deducidas según las fórmulas de Stratling y Gates e incluso con las cifras dadas por el turbidímetro de Wagner y por los métodos de óptica electrónica de Haegermann (para la determinación del diámetro de las partículas).

Concluye el trabajo, que lleva 21 referencias bibliográficas y numerosas curvas, haciendo resaltar las diferencias entre la composición granulométrica de los cementos molidos en el laboratorio y los obtenidos industrialmente. Los estudios comparativos, que indican una concordancia bastante

to buena, se refieren al empleo de los molinos de tubo Candlot, Polysius, Smidth y Pfeiffer.

(Mas notas sobre la granulometria de polvos pueden verse en:

Ultimos Avances, nº 11, pág. 13).
