

- 33 -

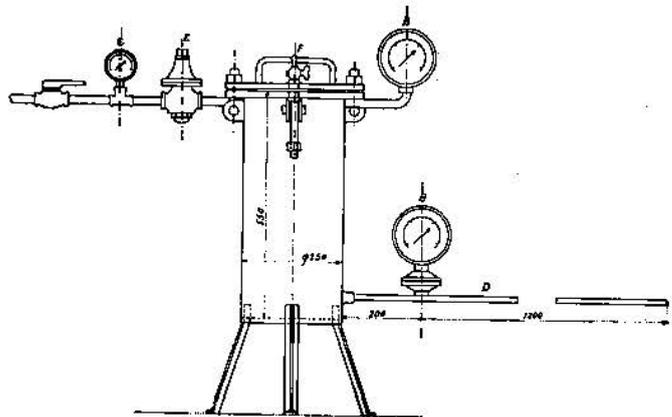
VISCOSIDAD DE LAS PASTAS DE CEMENTO

F. Guye

De "REVUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION" 117, abril 1949

En el procedimiento de fabricación del Portland por vía húmeda, el agua contenida en la pasta es una importante fuente de consumo de calorías que es preciso reducir al mínimo. Es, pues, de primordial interés para el fabricante, poder determinar exactamente la consistencia máxima permisible para sus pastas que, sin alterar la marcha de las bombas, tuberías y hornos, evite gastar carbón inútilmente.

Uno de los aparatos más empleados para las determinaciones de viscosidad es el viscosímetro de Engler, o de caída por gravedad. Sus indicaciones tienen un valor muy relativo y solamente funcionan bien con pastas muy flúidas. El aparato de Endell y Fendius, basado en hacer girar unas paletas en el seno de la pasta, midiendo exactamente la corriente consumida por el motor que mueve dichas paletas, tampoco da buenos resultados y es poco



utilizado en cementería.

El viscosímetro original del autor y que llama de Holderbank (fig. 1) consiste en un depósito de chapa de hierro de 3 mm. y de una capacidad de unos 30 litros, (las dimensiones se dan en el esquema acotado). En su parte inferior hay un tubo de 12 mm. de diámetro y de una longitud total de 1,4 metros. Este tubo no lleva soldaduras y ha de ser de dimensiones exactas y bien construido. A una distancia dada del recipiente hay una derivación del tubo en la cual se coloca el manómetro sensible A, provisto de membrana especial para transmitir la presión de la pasta a la aguja indicadora. La cubierta del recipiente, que recuerda la de un autoclave, lleva un manómetro de control B, y la entrada del aire comprimido por el tubo lateral de la izquierda provisto de manómetro C y reductor de presión E graduable de 1 a 4 kg/cm<sup>2</sup>. También hay un grifo F y el sistema de cierre hermético de la tapa.

El fundamento de este viscosímetro es el mismo del de Engler. pero el paso de la pasta no se hace por simple gravedad, sino por impulsión mediante aire comprimido, cuya presión se conoce exactamente. La presión media de descarga se observa en el manómetro A.

Para comprender el funcionamiento del aparato se hace, en el original, un breve estudio de los movimientos laminar y turbulento de los flúidos por tuberías, tal como el

que puede hallarse en cualquier tratado de Ingeniería Química. Se hace resaltar que a causa de la gran viscosidad de las pastas de cementería, puede afirmarse que nunca se llega a alcanzar la velocidad crítica ( $Re = 1.200 - 2.000$ ), y, por tanto, el movimiento será laminar.

La caída de presión a lo largo de un tubo por el que fluye la pasta viene dada por:

$$\Delta p = \frac{32 \eta L \bar{v}}{D^2}$$

en la que  $L$  es la longitud del tubo de descarga, en metros,  $D$  su diámetro,  $\eta$  la viscosidad y  $\bar{v}$  la velocidad media, en m/seg. Esta ecuación expresa una relación lineal entre la caída de presión y la velocidad o gasto medios.

La velocidad puede expresarse por:

$$\bar{v} = \frac{G}{\gamma \frac{\pi}{4} D^2 T}$$

en la que  $\gamma$  es peso específico de la pasta en  $kg/m^3$ ,  $G$  el peso de pasta que sale, en kgs., y  $T$  el tiempo que dura la experiencia. Combinando las dos fórmulas anteriores se llega a:

$$\eta = \frac{D^4 \pi \gamma T}{128 L G} \Delta p$$

En el caso del viscosímetro Holderbank,  $D = 0,012$  m.  $L = 1,2$  m., con lo que la fórmula se simplifica (para expe-

rimentos de un minuto de duración), quedando:

$$\eta = 0.254 \frac{\gamma p}{G}$$

$\gamma$  = peso específico (kg/dm<sup>3</sup>)

$p$  = presión del manómetro (kg/cm<sup>2</sup>)

$G$  = peso de pasta que fluye en un minuto (kg.)

Las experiencias realizadas permiten afirmar que las pastas de cemento no cumplen esta ley. En efecto, si consideramos que la viscosidad es constante, tendremos que:

$$p = k.G$$

es decir, que el peso de fluido que sale es directamente - proporcional a la presión ejercida sobre él. La representación gráfica debe ser una recta que pase por el origen de coordenadas. Se comprueba experimentalmente que es, en efecto una recta, pero no pasa por el origen. La función es pues lineal pero de la forma:  $p = k.G + C$ . La constante  $C$  representa la presión inicial,  $P_0$ , que debe soportar una pasta de cemento para que empiece a fluir. Es por tanto preciso fijar una de las variables,  $p$  o  $G$ . Haciendo todas las medidas a presión  $P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ , la fórmula se convierte en:

$$\eta_1 = 0.254 \frac{\gamma}{G_1}$$

en la  $G_1$  es el peso de fluido que sale por minuto bajo una presión de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

No es por tanto posible determinar la viscosidad absoluta de las pastas de cemento, sino que es preciso ad-

mitir que dicha viscosidad no es una constante de la materia, sino función de una serie de circunstancias e incluso de la forma del aparato utilizado. Para la determinación de  $G_1$  será preciso establecer gráficamente la función:

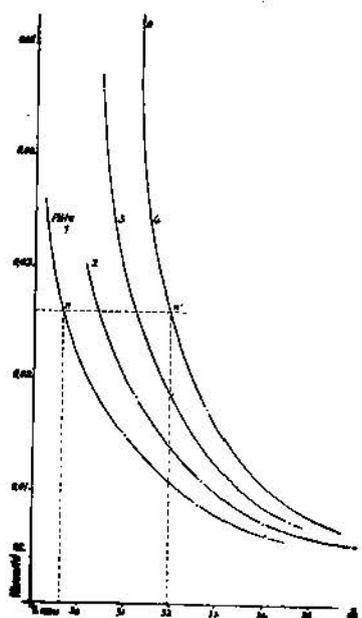
$$p = k.G + C$$

mediante medidas de gasto de pasta para tres presiones diferentes. La recta obtenida permitirá determinar el valor de  $G_1$ .

Los resultados de los ensayos sobre cuatro pastas de la misma composición

química pero molidas a diferente grano (25, 22,6 - 20,7 y 17,5 % de residuo sobre tamiz de 4.900 mallas respectivamente); curvas 1, 2, 3 y 4, en función de sus contenidos en agua, pueden verse en la figura 2. El examen de las curvas

indica que la viscosidad crece rápidamente con la disminución de agua en la pasta. Así, para la pasta nº 1, se vé que el aumento de la viscosidad es cuatro veces mayor cuando la hu-



medad pasa de 31 a 30 % que cuando baja de 34 a 33 %. Este aumento es tanto mayor cuanto más fina es la pasta. La viscosidad más alta que ha podido ser determinada es la correspondiente al punto A (curva 4), en la cual  $\eta = 0,0515$ . La viscosidad tiende a hacerse infinita y la pasta forma un bloque totalmente inadecuado para su manejo en los molinos.

Si se traza la recta MM' para una viscosidad de 0,026, se ve que una pasta con 25 % de finura y 29,6 % de agua, posee la misma viscosidad que otra pasta de 17,5 % con 32 % de agua. De este modo, si un fabricante puede moler sus crudos a un grano más grueso, no solo hará una economía en la fuerza motriz consumida en la molturación, sino que, al mismo tiempo, podrá disminuir la cantidad de agua de las pastas con el consiguiente ahorro de carbon. En el ejemplo antes citado, la disminución de agua es de 2,4 %, conservando la misma viscosidad. El ahorro de carbón puede evaluarse en un 2,5 % sobre un consumo de 18 - 20 % con relación al clinker. La economía es de consideración, si bien hay que tener en cuenta que la cocción de los crudos más gruesos exige un serio control de la cal libre en los clinkers.

El autor ha trazado otras curvas, tales como la que da la viscosidad en función de la finura, para contenidos diferentes en humedad y la que relaciona dicha viscosidad, para pastas de un mismo grano, con el contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,

observándose que, aumentando el contenido en caliza de 75,65 a 78,84 % puede rebajarse la viscosidad en más de la mitad.

También se ha ensayado el efecto de las adiciones de carbonato sódico a las pastas que, como se sabe, rebajan las viscosidades de las mismas. Un 0,5 %, calculado con relación a la pasta húmeda permite, sin aumento de viscosidad, reducir el contenido en agua de las pastas en un 4 %. Esta solución no es, salvo casos especiales, muy viable. En efecto, el valor de la sosa consumida es superior al del carbón economizado.

Los ensayos que se acaban de relatar, juntamente con el aparato para las medidas de viscosidad, que puede construirse fácilmente, constituyen un amplio campo de experimentación para los técnicos del cemento. Cuando en una fábrica determinada se ha fijado la viscosidad óptima para el trabajo de los molinos y del horno, será posible establecer gráficas que indican exactamente las condiciones relativas de finura, porcentaje de agua y dosificación de los crudos, así como influencia mútua de estas variables, para mantener en todo momento la viscosidad requerida.

---