- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

617-31 NUEVAS TECNICAS PARA EL ESTUDIO DEL FRAGUADO DE LOS AGLOMERANTES HIDRAULICOS

Por: J. Calleja, Doctor en Ciencias.

Resumen

Se trata de establecer un nuevo método para determinar el tiempo de fraguado de los aglomerantes, basado en la variación de resistencia eléctrica de las pastas durante el fenómeno.

Las consideraciones teóricas y los hechos experimentales prueban que el comienzo y final del fraguado vienen dados en las curvas resistencia-tiempo por puntos bien definidos.

El método propuesto se manifiesta superior a los clásicos en múltiples aspectos.

INTRODUCCION

Es sabido que el principio y el fín del fraguado de un cemento se determinan por el clásico método de Vicat desde su implantación en el siglo pasado. Este método de ensayo lleva implícita una correspondencia entre el desarrollo de los procesos fisicoquímicos del sistema en estudio y la evolución de sus propiedades mecánicas.

No es fácil dar con una definición precisa del término "fraguado" que encierra en sí un cierto significado de tipo práctico. Si se conviene en definirlo como el conjunto de transformaciones fisicoquímicas que experimenta un aglomerante hidráulico desde el momento en que entra en contacto con el agua hasta que prácticamente cesan -

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

dichas transformaciones, la citada correspondencia implícita en el método de Vicat sólo está justificada cualitativamente. Al pretender extenderla al terreno cuantitativo, el método muestra su insuficiencia, debido a su naturaleza empírica.

Si hubiera de hacerse una crítica ponderada del ensayo de Vicat, habría que admitir que ha prestado y sigue prestando un gran servicio y que sus resultados son bastante reproducibles por lo que se refiere a las determinaciones del principio de fraguado. No sucede lo mismo respecto del fin, cuyos datos dependen en gran manera del observador.

Pero, aún admitiendo que el método de Vicat proporcione información exacta acerca del principio y fin del proceso de fraguado, nada dice acerca de la marcha del mismo en estados intermedios, es decir, si se acelera, retarda o es uniforme; si es contínuo o tiene lugar en distintas etapas correspondientes a procesos parciales de los distintos componentes del aglomerante, etc. Considerado como técnica de trabajo no permite estudiar, al menos con comodidad la influencia de las variables y factores que afectan al tiempo de fraguado.

Con relación al periodo de endurecimiento, siguiente al de fraguado, el método de Vicat, por supuesto, no permite obtener ninguna información. Aparte de ello, el único ensayo que suministra datos acerca del endurecimiento en el tiempo, es de tipo mecánico y lleva consigo la destrucción de la probeta (roturas a tracción y compresión). Aún así, estos ensayos proporcionan tan sólo un dato final: el de la carga de rotura al tiempo considerado sin decir nada acerca de la marcha del proceso de endurecimiento hasta este tiempo.

Por todas estas razones se considera preciso establecer una nueva técnica que, tanto desde el punto de vista práctico como norma de ensayo, como desde el punto de vista teórico en cuanto a fines de investigación, facilite el estudio del fraguado y endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos, con arreglo a los siguientes requisitos:

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

a) Debe carecer en la medida de lo posible, de la naturaleza empírica y del carácter arbitrario del método de Vicat.

b) Debe suministrar datos más amplios y exactos que los hasta ahora obtenidos y hacer posible con comodidad el estudio de las distintas variables físicas y químicas que afectan al proceso del fraguado.

c) Debe estar exenta de cuanto suponga apreciación personal que pueda ocasionar errores y, a ser posible, debe poder ser aplicada de manera automática.

Teniendo esto en cuenta, se pensó observar el curso durante el fenómeno del fraguado de algunas variables eléctricas del sistema en estudio, entre ellas la resistencia y conductividad, constante dieléctrica y potencial de un electrodo, habiéndose comenzado por la primera de ellas.

Hay pocos datos bibliográficos acerca de conductividad y otras variables eléctricas en relación con pastas de cemento durante el fraguado de las mismas. Además, los autores que han tratado de ello, en muchos casos no hacen referencia a trabajos anteriores.

El primer dato digno de mención se refiere a Shimizu (1) en Bogue (2). Considera que el estudio del fraguado es más exacto cuando se hace por métodos eléctricos que cuando se hace por métodos mecánicos y térmicos, y llega a la conclusión de que el fín del fraguado está dado por un punto de inflexión en las curvas conductividad-tiempo, cuando se trabaja en condiciones isotérmicas.

Bairo (3) estudió el efecto del paso de una corriente a través de una pasta de cemento y supuso que el fraguado comenzaba al ob-

---

(1) Y. Shimizu, Concrete Coments, mayo 1928, pág. 111; mayo 1929, pág. 109.

(2) R.H. Bogue, The Chemistry of Portland Coment, New York 1947, pág. 472.

(3) G. Bairo, Rev. Mat. Const., 272, 182, (1932)

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

servarse un gran descenso en la lectura de un amperímetro. Los resultados no son exactos, ya que por este procedimiento el fraguado se acelera por el calor debido al efecto Joulo.

Micholsen (4) intentó determinar el comienzo y fín del fraguado teniendo en cuenta las corrientes galvánicas que se engendran entre dos electrodos de metales diferentes introducidos en la pasta. En las curvas tensión-tiempo el comienzo viene dado por el punto en el cual principia a elevarse la tensión después de una zona de constancia, y el final por el punto de máxima tensión.

Kleinlogel y Hajnal-Kónyi (5) opinan que los métodos fundados en el empleo de la aguja de Vicat o la de Gillmore son insuficientes y aportan buenas razones para adoptar otros basados en la medida del calor desprendido y en el trazado de las curvas temperatura-tiempo durante el fraguado.

Josser (6) considera el fraguado y endurecimiento como un fenómeno electrostático y estudia la fuerza electromotriz de elementos galvánicos en cementos portland, Sorel y aluminosos, en relación con la naturaleza coloidal y las transformaciones de las pastas.

Finalmente Chisholm (7) ha aportado nuevos datos acerca de la insuficiencia del clásico método de Vicat cuando se aplica a ciertos tipos de cementos, y ha insistido en la necesidad de crear nuevas técnicas que sustituyan a aquel.

---

(4) S. Micholsen, Zement, 22, 457, (1933)
(5) A. Kleinlogel y K. Hajnal-Kónyi, Zement, 22, 2, (1933)
(6) L. Josser, Zement, 23, 514, (1934); 23, 665, (1934)
(7) H. E. Chisholm, A.S.T.M. Bull, nº 154, 37, (1948)

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

PARTE EXPERIMENTAL

Técnica Utilizada

El método de trabajo definitivamente adoptado es el resultado de algunas modificaciones introducidas en los primeros ensayos hechos para medir la resistencia eléctrica de una pasta de cemento de cemento durante su fraguado. Estas modificaciones han afectado tanto a las condiciones de las probetas como al sistema de medida de la resistencia.

Las experiencias de fraguado se han efectuado siempre al aire, si bien el método permite estudiar el fenómeno cuando tiene lugar bajo agua. Las probetas eran de una masa relativamente grande y no se trabajó en condiciones isotérmicas. Por el contrario, teniendo en cuenta que el fenómeno de fraguado no puede ser isotérmico en la práctica, puesto que las reacciones que tienen lugar en él son exotérmicas, las experiencias se han realizado en condiciones casi adiabáticas que, dada la escasa conductividad térmica de la pasta, son más o menos las que rigen prácticamente en gran número de tipos de obra. En todos los casos, simultáneamente a las variaciones de resistencia eléctrica, se han estudiado también las de la temperatura.

La medida de la resistencia eléctrica se efectuó, en las primeras experiencias, teniendo en cuenta la diferencia de potencial aplicada en cada momento a dos electrodos introducidos en la pasta, y la intensidad de la corriente que pasaba a través de ella. Se utilizó corriente alterna simétrica para evitar efectos electrolíticos y de polarización, y la intensidad que se hacía pasar era de pocos miliamperios y sólo en el momento de hacer las medidas, a fín de impedir calentamientos por efecto Joule.

La pasta amasada con la cantidad de agua fijada en cada ca

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

so (generalmente la precisa para alcanzar la consistencia normal), se colocaba en un molde metálico cúbico de 7 cm. de arista, apoyado sobre una placa de vidrio. El molde servía como electrodo, siendo el otro un tubo de hierro de paredes delgadas conteniendo mercurio, introducido en el centro de la masa. En el tubo se colocaba un termómetro de décimas para seguir el curso de la temperatura. No se adoptaron en este caso precauciones especiales para asegurar condiciones casi adiabáticas. El dispositivo en conjunto, incluyendo el esquema eléctrico, es el indicado en la parte superior de la fig. 5.

El método definitivamente adoptado, después de las modificaciones introducidas, incluye un artificio para asegurar las citadas condiciones casi adiabáticas durante el proceso de fraguado, y se describe a continuación.

El recipiente que contiene el molde con la pasta de cemento mientras fragua es una caja de madera de dobles paredes con el espacio entre ellas relleno de viruta de corcho u otro material aislante de forma tal que éste pueda rodear por completo a la probeta. Las tapas de las cajas interior y exterior van provistas de los orificios 1, 2 y 3 a través de los cuales pasan los conductores eléctricos y el termómetro o los alambres del termopar en cada caso. El contacto eléctrico puede hacerse desde el exterior, una vez se ha colocado el molde con la pasta en la caja interna, por medio de dos bananas BB suficientemente largas, las cuales pasan con facilidad a través del aislante térmico por medio de los tubos TT de corcho o cartón sujetos a la tapa de dicha caja. Esta tapa, por su parte inferior, permite unir mediante pinzas los terminales de las bananas con los electrodos introducidos en la masa.

El molde con la pasta preparada de antemano se coloca sobre un soporte que puede ser suspendido por medio de cuatro tirantes en la forma indicada en la parte inferior de la figura 5, una vez que se han hecho todos los contactos internos. Esto facilita la colocación y

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

separación del conjunto en el interior de la caja.

Los moldes utilizados en estas experiencias son de forma troncocónica y de material aislante. Los electrodos son dos placas rectangulares de hierro, de tamaño adecuado, colocadas frente a frente a conveniente distancia. Esta, así como la altura de aquellos dentro de la pasta se mantienen invariables fijando los electrodos por medio de un disco de corcho del mismo diámetro que el molde. La parte inferior de este disco está hueco de forma que la pasta que rebosa del molde cuando se introducen en él los electrodos y demás accesorios, tenga espacio suficiente para desplazarse. El disco sirve también de sujeción al tubo de hierro con mercurio en el cual se introduce un termómetro que permite apreciar 0,05º C.

Las medidas de resistencia se hicieron mediante puentes de conductividad Philips tipos G.M. 4140 y G.M. 4144 ("Philoscop" I y II) provistos de ojo mágico como instrumento de cero. Con ellos se trabajó utilizando como corriente de alimentación, alterna de 50 o de 1000 periodos. En este último caso se empleó como generador de la corriente de alimentación del puente, un oscilador de baja frecuencia Philips G.M. 4260. Se ha observado la conveniencia de trabajar con una frecuencia de 1000 periodos, lo que proporciona una mayor sensibilidad en la medida. Esto es así porque, además de la resistencia óhmica de la pasta contenida entre las placas metálicas, hay que contar con la capacidad de un condensador en el que éstas actuan como tales y aquella como dieléctrico. En todo caso, a efectos de las medidas, nos encontramos frente a una resistencia montada en paralelo con un condensador (condensador con pérdidas). En un sistema tal, la capacidad perturba la medida de la resistencia, siendo eliminada esta perturbación, al menos parcialmente, cuando se trabaja en las condiciones citadas.

Los resultados están de acuerdo con los obtenidos por el método descrito en primer lugar, pero las medidas son más exactas cuando se hacen con los "Philoscop", puesto que entonces la sensibilidad

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

puede adaptarse a la necesaria en cada momento. Las medidas hechas - con el montaje potenciométrico exigen la lectura simultánea en dos - aparatos, siendo esto otra de las causas de la mayor exactitud encontrada en las medidas realizadas con los puentes Philips. El dispositivo en conjunto puede apreciarse en la parte inferior de la fig. 5. (Continuará).

* * *

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es

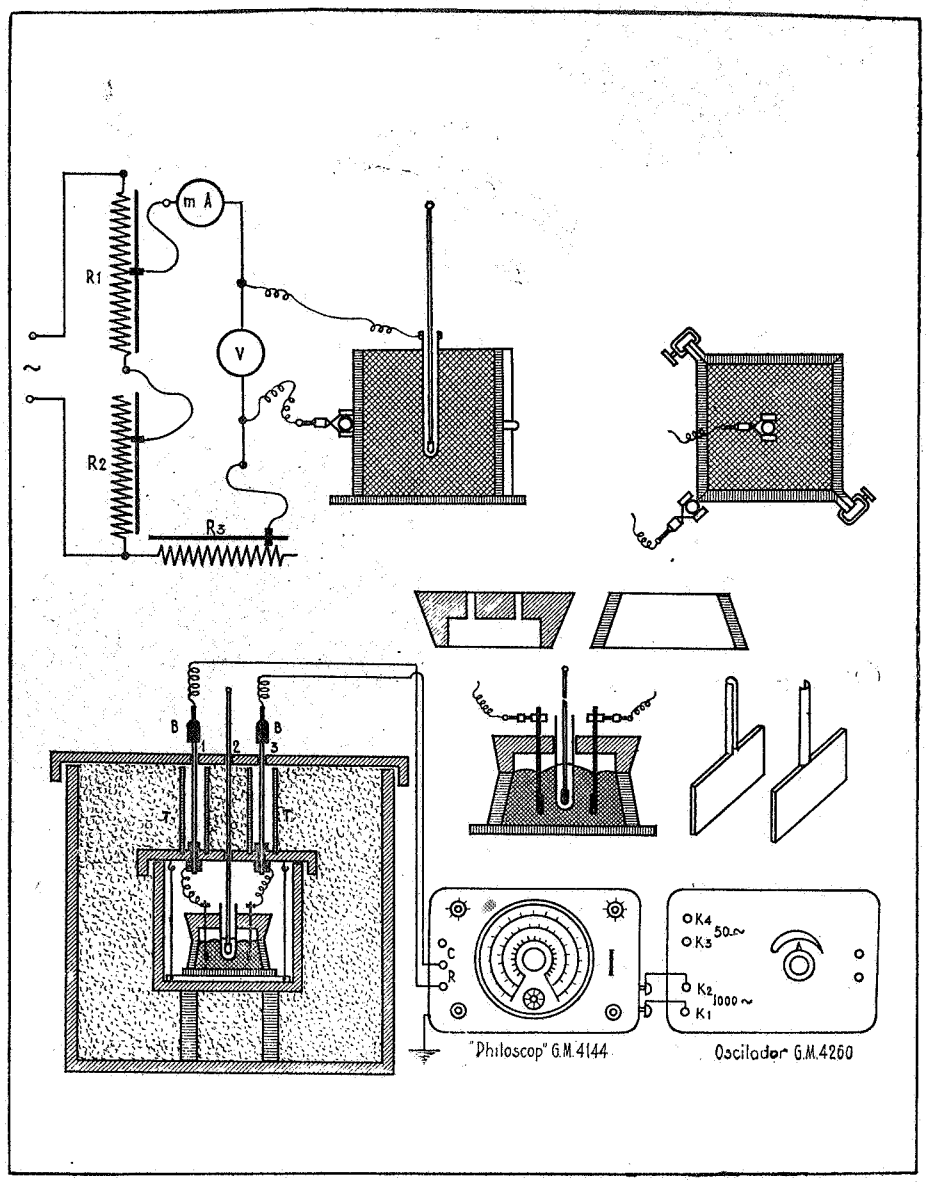

Fig 5.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons
Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
https://materconstrucc.revistas.csic.es