

- 3 -

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

611-18 EL FALSO FRAGUADO DEL PORTLAND

(False Set in Portland Cement)

R.F. Blanke y J.L. Gilliland

De: "J. AMER. CONCRETE INSTITUTE", 517, Marzo, 1951.

El fraguado falso del cemento, también conocido como endurecimiento gomoso, se manifiesta por una marcada pérdida de fluidez durante ó inmediatamente después del amasado. En casos extremos, este endurecimiento prematuro puede tener lugar dentro de la hormigonera en forma tal que es preciso extraer la pasta de la máquina con la ayuda de palas, cucharas o instrumentos análogos. No es preciso mencionar que, en estos casos, será totalmente imposible poner en obra el hormigón. Frecuentemente, sin embargo, la cosa no llega a estos extremos y el falso fraguado se pone de manifiesto por la necesidad de prolongar el amasado, añadir más agua, ú otros efectos parecidos. En todo caso, el falso fraguado es de temer, aún después de puesto en obra el hormigón, por los efectos secundarios a que dicho fenómeno puede dar lugar.

El pseudo fraguado es muy difícil de prever porque viene afectado por numerosos factores. En primer lugar, los cementos difieren ampliamente en cuanto a su grado de falso fraguado. Las condiciones de trabajo tales como temperatura, tiempo de amasado y agitación, sistema de transporte de la pasta, carácter del agua de amasado y tipo de árido empleado, ejercen una considerable influencia sobre el fraguado.

Respecto a los efectos de un fraguado prematuro, merecen citarse, como más importantes, los siguientes: Exigencia de mayor can-

· tidad de agua de amasado; baja resistencia; poca adherencia entre la matriz cementicia y los áridos; quebradicia y tendencia al agrietamiento; baja resistencia frente a las heladas y deshielos; características anormales de aireado. Cuando el hormigón endurece en la obra, - el fraguado anormal lleva consigo retrasos en la construcción, ocasiona una segregación excesiva, incrementa los gastos de mano de obra para la manipulación y puesta en obra y, en suma, hace prácticamente imposible el logro de un hormigón de calidad uniforme.

Veamos algo sobre las teorías acerca del falso fraguado. - Hay dos tipos muy diferentes de fraguado inicial: un fraguado verdadero, rápido, francamente exotérmico y un pseudo fraguado durante el cual el desprendimiento de calor^o es muy pequeño. El primer fraguado no indica más que el cemento no ha sido suficientemente retardado. Generalmente, esta circunstancia puede corregirse sin más que añadir el ingrediente correspondiente.

Muchas veces, el falso fraguado puede destruirse prolongando el tiempo de amasado o sometiendo la pasta a un reamasado. Otras, sin embargo, el defecto es inherente a la calidad misma del cemento y es imposible actuar contra esto.

Existen numerosas hipótesis para tratar de explicar el falso fraguado, tales como las de Meade, Brandenburg, Mehta, Anzlovar, - Koyanagi, Whitworth, Davis y Lea y Desch. En la reunión de Estocolmo de 1938, Forsén presentó un interesante trabajo sobre el falso fraguado del cemento que provocó amplias discusiones. El Dr. Bogue presentó dos causas posibles que podían originar el fraguado. Una de ellas es la deshidratación total o parcial del yeso que se añade como retrasador del fraguado, por calentamiento del cemento en los molinos. Otra podría ser la carbonatación de los álcalis si las condiciones de almacenaje no son adecuadas. El mecanismo de la carbonatación de los álcalis se explica como una interacción entre los carbonatos alcalinos y -

el hidróxido cálcico, dando como resultado una precipitación de carbonato cálcico y, por tanto, un defecto de cal disponible. Forsén propuso, como mecanismo del fraguado falso, la formación del compuesto $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31,5\text{H}_2\text{O}$, trisulfato que no forma películas protectoras y que anula por tanto el mecanismo de retraso de fraguado. Por otra parte, el monosulfato, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, no podía formarse como película insoluble en presencia de cal y yeso y, por tanto, no ejercía su efecto de retrasador. Si esto fuese verdad, los cementos exentos de álcalis deberían ser más susceptibles al falso fraguado puesto que, como Lea demostró, el trisulfato se formaba a 25 °C en soluciones de yeso y aluminato tricálcico exentas de álcalis, mientras que el monosulfato se formaba en presencia de hidróxido sódico. Esto está en oposición con la teoría de Forsén.

Los estudios de Lerch en 1946 y los más recientes de Hansen y Hunt sobre el papel del yeso y la anhidrita en el fraguado del cemento, parecen confirmar que el falso fraguado es debido a la presencia de yeso inestable en el cemento, formado por excesivo recalentamiento de la mezcla yeso-clinker durante la molturación. Claro es que esta inestabilidad del yeso puede provenir también de unas condiciones de ensilado anormales, (temperatura, humedad, aireado etc.).

Lo que parece que está perfectamente claro es que si se enfrían convenientemente los molinos de cemento, el pseudo fraguado desaparece por completo. Así pues, el defecto que estudiamos debe, en la inmensa mayoría de los casos, ser corregido en fábrica, es decir, durante el proceso de manufactura del cemento. Se puede aducir que existen instalaciones en las cuales la temperatura alcanzada por los molinos de clinker es muy elevada y sin embargo no se presenta el fraguado falso. Esto puede explicarse por la conversión del yeso en anhidrita

insoluble. Los últimos trabajos de Stadtfeld y Barona (1949 y 1950) parecen confirmar las teorías anteriormente expuestas.

Los autores mencionan, a continuación, algunos ejemplos de construcción de presas (del Bureau of Reclamation) y canales, en los cuales se hicieron patentes defectos de falso fraguado que entorpecían las obras, por la dificultad, muchas veces insuperable, de sacar el hormigón de las vagonetas o volquetes y de hacerlo fluir por tolvas y canaletas. Ya en obra, podían apreciarse graves defectos de fisuración o agrietamiento. En una obra reciente, la dificultad era de otro orden, a saber, una baja resistencia del hormigón a los 7 días y a edades superiores, y una falta de adherencia entre cemento (pasta) y áridos. Este defecto es de mucha consideración pues, como demuestran los autores incluso con fotografías, ello lleva a una disgregación progresiva del hormigón. Respecto a los efectos secundarios sobre falta de resistencia frente a las condiciones climáticas extremas y la imposibilidad de lograr hormigón de calidad uniforme, podemos afirmar, de modo análogo, que el empleo de esta clase de cementos es altamente perjudicial. Desde el punto de vista del contratista, el remedio es obvio: comprar cemento en otra fábrica que ofrezca un portland desprovisto de fraguado falso.

En realidad, las dificultades del falso fraguado se explican con cierta facilidad si consideramos que el producto empleado como retrasador de fraguado del portland -el yeso- es un compuesto extremadamente complicado dentro de su sencillez. Después de 40 años de investigaciones sobre un cuerpo tan sencillo como el sulfato de calcio, no puede decirse todavía que el sistema SO_4Ca-H_2O haya sido bien comprendido. En cierto modo, esta confusión nace de las dificultades para identificar el estado en que se encuentra una determinada forma de yeso, aún cuando se opere sobre sulfato de calcio completamente puro. Kelley, Southard y Anderson han aceptado seis formas distintas de sulfato cálcico: Yeso o dihidrato, alfa-

hemihidrato, beta-hemihidrato, alfa-anhidrita soluble, beta-anhidrita soluble y anhidrita insoluble. (Ver, para más detalles, Ultimos Avances, nº 16, pág. 43). Parece lógico entonces que, puesto que el yeso es el responsable de mantener el retraso del fraguado del portland, las distintas formas mencionadas de sulfato cálcico influyan diferentemente en dicho proceso de fraguado. Por ejemplo, para Riddell, el beta-hemihidrato requiere para el amasado hasta pasta normal, 2,5 veces más agua en la forma alfa.

Las solubilidades de las diferentes formas de yeso también son distintas, lo cual influye considerablemente sobre todo en los primeros momentos del amasado en los cuales la cantidad de agua presente permite hablar de disolución verdadera. Estas solubilidades que, a su vez, resultan alteradas por los demás compuestos en presencia -hidróxido cálcico, sales solubles, álcalis etc., existentes en una pasta de cemento, así como por la temperatura, que es dependiente, -asimismo, del calor desprendido durante el amasado (y por tanto de la composición del cemento), alteran profundamente las condiciones de fraguado.

Ya se comprende ahora que la cuestión del papel del yeso en el fraguado del cemento -aún suponiendo que este compuesto fuese el verdadero causante del falso fraguado- no es tan sencilla como parece a primera vista. El número de variables que entran en juego en un sistema tan complejo como el formado por: componentes del cemento; distintas formas de yeso; agua, hacen extromadamente difícil el estudio del problema.

En el laboratorio, es posible verificar ensayos previos para detectar el falso fraguado de un cemento efectuando determinaciones de principio y fin de fraguado. Copiamos, por su interés, - las líneas sustanciales de la forma de realizar este ensayo, descrito en la Especificación Federal SS-C-158b, párrafos F-46 y F-47. - "Cinco gramos del cemento problema se amasan con la cantidad de agua

mencionada en la especificación, durante 3 minutos exactamente. Con las manos enguantadas se hace una bola con la pasta, lanzándola 6 veces de una mano a otra, estando colocadas ambas manos a una distancia de 15 cm. La bola de pasta, que queda en la palma de la mano, deberá ser introducida a presión por el extremo ancho de un anillo cónico G (Fig. 3 de SS-C-158b), de tal modo que el anillo quede completamente relleno con la pasta. Se enrasa el extremo más ancho del anillo mediante un simple movimiento de la mano y se coloca el cono de Vicat sobre la placa de vidrio. Luego, con una espátula se enrasa el extremo más estrecho y se alisa, si es preciso, con unas cuantas pasadas de espátula. Se lleva la pasta al aparato de Vicat y se coloca la sonda justamente rozando con la superficie de la pasta. Al medio minuto exactamente del amasado se suelta la aguja y se observa la penetración. Esta ha de ser de 35 ± 2 mm. en 30 segundos. Si no es así se modifica la proporción de agua de amasado hasta que lo sea. Una vez determinada esta, se hace el ensayo de la misma forma, pero esperando 5 minutos entre la terminación del amasado y la introducción de la sonda. Una pasta que no permita la introducción de más de 10 mm. de sonda en 30 segundos debe considerarse como fabricada con un cemento de fraguado prematuro".

Volviendo sobre las posibles causas del falso fraguado, y supuesto que hemos de culpar al yeso de dicho fenómeno, queda por ver el mecanismo del fraguado prematuro. La primera posibilidad que se ofrece es la de que, al ser parcial o totalmente deshidratado el yeso durante la molturación, y convertido en hemihidrato, éste, en el amasado, absorberá agua para transformarse en dihidrato, sacando la pasta. Pero si pensamos en un cemento que contenga 5 % de hemihidrato requiere menos de 1 % de agua para hidratar el yeso, ya se comprende que el efecto de esto secado sobre la pasta ha de ser imperceptible, cosa que no se ajusta a la realidad del falso fraguado.

Para Brandenburg, la causa sería la conversión del yeso en

anhidrita durante la molturación (ó por cualquier otra causa), resultando un producto que no tendría eficacia como retrasador de fraguado. Los ensayos realizados por diversos investigadores muestran de una forma clara que esta falta de eficacia no puede ser la causa del fraguado falso. Las hipótesis de Forsén sobre las acciones de los mono y tri-sulfatos de trialuminato cálcico, resultan interesantes, pero no convincentes, según Lerch.

No hay ninguna duda de que el yeso puede fraguar -y muy de prisa- en el seno de las pastas, morteros ó hormigones. Esto puede probarse fabricando una pasta de pumicita y yeso, para prescindir de cualquier posible efecto de la hidratación del portland. Una parte de esta mezcla se amasa y ensaya. Otra porción se calienta antes para convertir el dihidrato en semihidrato. Los ensayos de penetración y extracción verificados con estas pastas son análogos a los realizados con el cemento en forma idéntica. Un hormigón fabricado con la mezcla yeso-pumicita, que había sido previamente calentada, mostró un aumento en la cantidad de agua requerida para el amasado, pérdida de plasticidad y asiento y, en definitiva, todas las características de un cemento con falso fraguado.

Si bien lo anteriormente expuesto es incontrovertible, hay una gran diversidad de opiniones sobre si dicho fraguado del yeso puede o no explicar todos los casos de endurecimiento prematuro. Se ha examinado la teoría de Bogue sobre la carbonatación de los álcalis, por medio de ensayos de penetración y extracción sobre cementos en los cuales se había provocado el falso fraguado por aireación. En este caso se halló que, después del aireado, cuando ya fallaba el ensayo de penetración, el contenido en SO_3 del extracto dejaba ver una considerable sobresaturación en yeso. Al mismo tiempo, cuando se calentaba a $349^{\circ}C$ este cemento aireado, las características de endurecimiento desaparecían. A dicha temperatura no hay temor de que se descompongan los carbonatos de sodio y potasio, así que hay que supo

ner que el hemihidrato se convierte en anhidrita insoluble.

La acción del agua es más difícil de explicar. El caso descrito por Blank sobre un falso fraguado atribuible al empleo de un clinker húmedo, ha sido confirmado por otros químicos. Por otra parte, Hansen y Hunt sugieren que puede paliarse la deshidratación del yeso en los molinos por adicción de pequeñas cantidades de agua en los mismos. Estamos pues ante dos extremos contrapuestos. La solución del problema sería posible si se pudiesen medir las presiones de vapor de agua en los molinos y silos, relacionándolas con la forma en que el sulfato cálcico se encuentre en el cemento.

Hay diversos métodos para combatir el falso fraguado de un cemento, todos igualmente malos. En algunos cementos, la adicción de un 2 % de yeso en la hormigonera puede resolver la cuestión. Otras veces, es bueno agregar un 0,2 % de RDA (una sustancia que se emplea generalmente como coadyuvante de molturación en los molinos para crudo. Mecánicamente, también es posible combatir el endurecimiento prematuro mediante un amasado prolongado o por un reamasado después de un periodo de reposo. Según Davis la adicción de un 0,1 % de aceite mineral ha sido utilizada con éxito en ciertos cementos puzolánicos empleados en algunas presas.

En realidad, el falso fraguado debe corregirse en fábrica. El fabricante es el responsable, en la mayoría de los casos, del mal comportamiento del yeso añadido a los portlands. También incumbe alguna responsabilidad a los almacenistas si los cementos se dejan mucho tiempo expuestos al aire o a la intemperie. Pero esto tiene muchísima menos importancia que lo referido antes sobre la fabricación.

En algunos casos, se utiliza anhidrita natural en sustitución del yeso, como retrasador de fraguado. Se ha demostrado que esto no va bien con todos los tipos de cemento, lo cual debe ser tenido muy en cuenta por el fabricante. Todo esto revela que, aun en el caso

de que el yeso sea el "único" factor del falso fraguado, la cuestión a resolver es sumamente complicada aunque es de esperar que las nuevas aportaciones sobre la química del sulfato de calcio contribuyan a un mejor conocimiento del papel del yeso en el cemento. (Se incluyen 38 referencias bibliográficas).

* * *