

siendo

$$v_1 = \frac{2h_1 + h_2}{3}; v_2 = \frac{h_1 + 2h_2}{3}; v_3 = \frac{1}{3l} [h_1(2l - a) + h_2(l + a)]$$

introduciendo la constante antes hallada

$$K = \frac{h_1 \cdot J_2}{s \cdot J_1}$$

tendremos de la ecuación anterior

$$M_1 = \frac{\eta}{2l} \times \frac{l(2+n) + a(n-1)}{K(1+n^3) + 1+n+n^2} \quad (-)$$

siendo

$$\eta = \frac{Pab}{l}$$

Como

$$M_2 = nM_1$$

Si $n = 1$, o sea para dintel horizontal

$$M_1 = M_2 = \frac{\eta}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2}{3} K}$$

Pórtico con dintel a dos vertientes

Otro caso de aplicación puede ser un pórtico con dintel a dos vertientes.

Siendo la cumbrera de éstas un punto de empotramiento elástico, puede estudiarse el diagrama de momentos de cada una de las vertientes.

La relación estática para el conjunto, llamando M_d el momento en la cumbrera del dintel, es

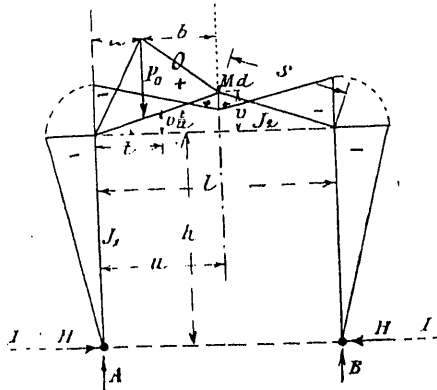


Fig. 9.ª

$$M_d = B \frac{l}{2} - H(h + v) \quad \text{pero } M_1 = -Hh \quad \text{y } Bl = Pa$$

luego

$$M_d = \frac{Pa}{2} - M_1 \frac{h + v}{h}$$

o también

$$M_d + M_1(1 + \alpha) = \frac{Pa}{2}$$

siendo

$$\alpha = \frac{v}{h}$$

Esta es la relación estática.

Aplicando el teorema de los momentos estáticos ficticios con relación al eje I, tendremos

$$-2 \frac{1}{2} M_1 h \cdot \frac{2}{3} h \frac{l}{J_1} + \frac{O}{J_2} \left(h + v \frac{l}{n} \right) + \left[-M_1 \left(h + \frac{v}{3} \right) + M_d \left(h + \frac{2v}{3} \right) \right] \frac{s}{J_2} = v$$

Para una carga P

$$O = \frac{1}{2} \eta s \quad \eta = \frac{Pab}{l} \quad n = \frac{l}{2} \quad t = \frac{n + a}{3}$$

y

$$M_1 = \frac{Pa}{4l^2} h \cdot \frac{6bhl + v(3l^2 - 4a^2)}{h^2(3 + K) + v(3h + v)} \quad (-)$$

Si la carga está en el centro del dintel

$$O = 0 \quad a = \frac{l}{2}$$

y

$$M_1 = \frac{Pl}{8} h \cdot \frac{3h + 2v}{h^2(3 + K) + v(3h - v)} \quad (-)$$

Arturo MONFORT
Ingeniero jefe de C., C. y P.

Revista de Revistas

Nuevos datos sobre la enfermedad de los hormigones de cemento fundido

Las conclusiones a que llegaron los ingenieros Freysiniet y Coyne, deducidas de las observaciones hechas en los hormigones de cemento aluminoso del gran puente en construcción de La Corde (Bretaña), y que figuran en el número de nuestra REVISTA correspondiente a 15 de abril de 1927, han sido combatidas por Feret, dando lugar a una polémica en la *Genie Civil*, números de 3 de marzo y 11 de agosto de 1928, que extractamos a continuación.

Según Feret, no existe la enfermedad de los hormigones de cemento fundido; las averías se deben al empleo de exceso de agua en el amasado o a la adición de

arena fina, que, en definitiva, representa reducción importante en la dosificación del cemento. No niega la influencia de los fenómenos térmicos sobre el fraguado y endurecimiento del hormigón de cemento fundido, pues sus experimentos le han suministrado muchos ejemplos; pero no ha podido provocar nunca la enfermedad únicamente por medio de temperaturas análogas a las de los materiales calentados por el sol. Por el contrario, empleando fuertes cantidades de agua en el amasado, ha obtenido casi siempre con cementos aluminosos el aspecto terroso característico de la enfermedad, que no se presenta nunca con otras clases de aglomerantes. Ciertamente la hipótesis de una temperatura crítica, variable según la procedencia del suministro, sería bastante cómoda para explicar los fenómenos en cuestión; pero en

el estado actual de los conocimientos rudimentarios existentes sobre un producto tan nuevo como es el cemento aluminoso, se hace preciso establecer las mayores reservas.

Reconociendo que quizás se ha mostrado demasiado exclusivo en cuanto a las causas posibles de la enfermedad, mantiene Feret que el exceso de agua de amasado debe evitarse, no solamente porque destruye en pura pérdida una parte de la energía del cemento y conduce a hormigones muy porosos, sino también a causa de las graves consecuencias a que puede conducir el hacer ciertos productos particularmente sensibles a diversas influencias perniciosas. Cita en su apoyo los experimentos de Bolomey con hormigones colados, que después de varias semanas se sometieron a temperaturas de 50 grados y perdieron de manera definitiva del 40 al 50 por 100 de la resistencia que habían adquirido.

Freyssinet y Coyne mantienen que en condiciones de empleo perfectamente correctas, pueden sobrevenir graves defectos de endurecimiento que ninguno de los ensayos admitidos actualmente para los cementos son capaces de prever, y que la práctica de los ensayos en caliente, muy sencillos, da indicaciones concluyentes. Las principales fábricas de cementos aluminosos emplean actualmente estos ensayos en caliente.

El calentamiento de los hormigones de cemento fundido, tanto los amasados con agua dulce como con agua del mar, a temperaturas variando de 38 a 18°, acusa variaciones de resistencia muy notables. En los mismos ensayos hechos por Feret se observan las disminuciones de resistencia, aunque no hayan sido tan notables como en otros experimentos. Se comprueba en el cuadro de Feret que las caídas de resistencia son menores en los hormigones fluidos que en los plásticos, contrariamente a las conclusiones de éste, debidas a un error material, que ha reconocido. Se demuestra, por tanto, que los accidentes debidos al calentamiento se combaten con un exceso de agua de amasado. Por otra parte, en los ensayos de Feret no se ha alcanzado la temperatura crítica o no se ha mantenido suficientemente.

Para dar al lector una idea completa, Freyssinet y Coyne dan algunos detalles complementarios sobre el origen de sus investigaciones referentes a la enfermedad de los hormigones de cemento aluminoso.

Al mismo tiempo que se adjudicó a la Sociedad Limousin (procedimientos Freyssinet) la construcción del puente de Plougastel, se hizo a otra empresa la adjudicación del puente de La Corde, que tiene un arco de 114 metros de luz; las propiedades extremadamente nocivas para el portland de las rías de Bretaña, comprobadas en muchos casos, y particularmente en el puente de Terenez, sobre la ría Châteaulin, dieron lugar a que los ingenieros proyectasen para las dos obras antedichas el empleo de cemento fundido hasta la cota (+ 10), a pesar del notable aumento de gasto que representaba. Este gasto estaba justificado, pues de emplear cemento portland se hubieran descompuesto rápidamente los hormigones mucho más que estando expuestos a las aguas marinas del litoral, como se ha puesto de manifiesto en numerosas ocasiones, aunque la explicación (quizás la temperatura, pues la composición química de las aguas es la misma) continúe siendo muy oscura.

En 1923 se hicieron los cimientos de los estribos del puente de La Corde aprovechando las horas de marea baja; el hormigón de cemento aluminoso tenía la dosificación de 350 kilogramos por metro cúbico de hormigón en obra, que ha sido la máxima empleada. El árido consistía en arenas y grava naturales de muy buena calidad, y cuya composición granulométrica parecía satisfactoria. El amasado se hizo con agua del mar y el hormigón quedaba cubierto por la marea al poco tiempo de colocarse en obra.

Se obtuvieron así hormigones irreprochables. Eran muy resistentes y de color gris muy oscuro.

Después de la colocación de la cimbra y de las armaduras, se procedió (en julio de 1926) al hormigonado de los estribos y bóveda, sin cambiar nada en ninguno de los factores aparentemente capaces de modificar la naturaleza de los hormigones. El árido que se empleó fué el mismo, así como los métodos de amasado y empleo, conservándose las dosificaciones y las cantidades de agua. La colocación en obra se hizo por el mismo personal, y el cemento era de apariencia idéntica al ya empleado. Como el tiempo era cálido y seco, no pudo haber aportación suplementaria de agua por estar húmeda la arena.

El personal encargado de la inspección apreció, desde luego, que el hormigón ejecutado no tenía a los dos días la resistencia habitual. Se tomaron muestras de hormigón de quince días que, retiradas de la influencia de las mareas, se hicieron pulverulentas en veinticuatro horas. Un mes después de colocado en obra el hormigón tenía muy poca resistencia: con martillo y aun a mano se sacaban trozos grandes; apenas en presencia del aire adquirían color terroso.

Únicamente los elementos de la obra de poco espesor, como los pilares de apoyo del tablero, hormigonados con mucha mayor cantidad de arena y agua, se encontraron al hacer la demolición en perfecto estado.

Se hizo la reconstrucción en tiempo frío y empleando agua dulce en volumen grande; los resultados han sido completamente satisfactorios.

Los fenómenos observados en los hormigones del puente de La Corde sentaban un precedente peligrosísimo para el de Plougastel, que se empezaba siguiendo procedimientos análogos, salvo que el amasado se hacía con agua dulce. Se buscaron, pues, las causas probables de la enfermedad en faltas técnicas, en mala calidad del cemento y en la influencia del agua del mar. Los hechos hicieron que se desecharan esas hipótesis. La observación constante de que todos los elementos enfermos se habían ejecutado en julio y agosto, con aguas del mar tibias y materiales violentamente calentados por el sol en espesores pequeños, atrajo la atención sobre la influencia de la temperatura. Con un saco de cemento se hicieron dos bloques, uno entre mediodía y la una de la tarde, con materiales tomados de los depósitos; el otro se hizo a la sombra, con agua dulce y con materiales que no habían sufrido el calentamiento. El primero presentó pronto síntomas de la enfermedad; el otro fraguó de manera completamente normal.

Conviene advertir que en el puente de La Corde únicamente los pequeños elementos que se ejecutan siempre en las obras con dosificaciones más fuertes en materiales finos y agua, habían quedado bien. Era, por tanto, preciso conceder importancia a la cantidad de agua en el amasado.

Resulta extraño que se pueda llegar por experimentos de laboratorio a conclusiones distintas a las que conduce la observación en obra. En el fondo no hay contradicción, pues es completamente distinto lo que se entiende por hormigón líquido para un bloque de ensayo de 20 x 20 centímetros, que para un estribo de 250 m.² de superficie colocado en obra por masadas de 500 litros, sucediéndose a razón de 20 por hora; la proporción de agua que se necesita en el primer caso para obtener la apariencia líquida es mucho mayor que en el segundo. Seguramente esta es una de las causas de las divergencias entre las apreciaciones de Feret y Freyssinet. Este último no aconseja forzar extraordinariamente la dosificación del agua, sino llegar solamente a 40 ó 50 litros por 100 kilogramos de cemento, que da apariencia de hormigones muy mojados con los áridos de tipo usual para el empleo en grandes masas.

Los hormigones del puente de Plougastel, ejecutados con arreglo a las ideas de Freyssinet, han resultado excelentes; las resistencias han llegado a ser muy elevadas y han crecido con gran regularidad.