

680 - 15 NUEVOS PUNTOS DE VISTA SOBRE EL FRAGUADO DEL CEMENTO Y LA NATURALEZA DEL HORMIGÓN

(A New View of the Setting of Cement and the Nature of Concrete)

M. Freyssinet

De: "CEMENT AND LIME MANUFACTURE", 1 Enero 1952

- - - - -

Los ensayos sobre estructuras de hormigón dan resultados que, en muchos casos, no concuerdan con aquellos derivados de los cálculos basados en las teorías generalmente aceptadas. Para explicar estas variaciones es para lo que el Sr. Freyssinet pone de manifiesto unas nuevas ideas según las cuales se considera al hormigón como un sistema complejo con sus fases sólida, líquida y vapor, sus leyes etc.

Veamos algunos puntos salientes de la teoría Freyssinet. En primer lugar, el agua utilizada para el amasado del mortero ó del hormigón disuelve ligeramente al cemento finamente molido. Se forman entonces iones salinos que se distribuyen al azar en el líquido y que, cuando la solución es suficientemente concentrada, forman con las moléculas de agua cristales hidratados relativamente estables. Los cristales de mayor tamaño son menos solubles y tienden a absorber a los más pequeños impidiendo, al mismo tiempo, la formación de estos cristales pequeños reduciendo la concentración de la disolución. Por otra parte, un cristal puede crecer si existen iones que alcanzan su superficie, para lo cual tiene que pasar a través del líquido por canales que son cada vez más estrechos y sinuosos a medida que el número de cristales formados aumenta. Se com -

prende que los iones tienen muchas ocasiones de agruparse formando nuevos cristales, siempre y cuando que la solución sea suficientemente concentrada. El tamaño medio de los cristales será tanto más pequeño cuanto que la circulación de los iones se haga más lenta y difícil. El número de cristales depende esencialmente de la circulación rápida de los iones en la pasta durante el fraguado. Es evidente que tal circulación se hará mas difícil comprimiendo la pasta y reduciendo la cantidad de agua de amasado.

Cuando la pasta de cemento no fraguada se calienta, el fraguado se acelera al mismo tiempo que se eleva la temperatura pero - la estructura de la pasta fraguada es mucho más grosera a causa de la formación de cristales grandes. La resistencia es menor. Es necesario, por tanto, limitar la temperatura. Ahora bien, es posible reducir el tamaño de los cristales que se forman aplicando presión a la pasta durante el fraguado. Mediante ésta técnica se hace factible trabajar a 100°C y obtener estructuras cristalinas finas con una gran resistencia. Ya se comprende que esta técnica puede prestar servicios en la fabricación de piezas de hormigón de alta resistencia, combinando los tratamientos de calor y presión.

Los constituyentes de un hormigón, después de transcurrido un cierto tiempo a partir del fraguado, son los siguientes: Partículas de árido, de diversos tamaños, que poseen un módulo elástico elevado; granos de cemento sin disolver rodeados por cristales - parcialmente hidratados, que impiden la continuación de la disolución; cristales hidratados los cuales, al menos en presencia de un gran exceso de agua, se encuentran en forma de agujas cuyo grosor es un múltiplo del diámetro de las moléculas de agua (vienen a tener - una milésima de micrón); cristales que forman una malla cuyos intersticios están parcialmente ocupados por agua.

El equilibrio relativo de la masa resulta de un equilibrio local imperfecto. Los granos de cemento dejan de estar en disolución solo cuando el agua que está en contacto con ellos se encuentra saturada. Por la misma razón los cristales hidratados están en equilibrio con el agua que los rodea y dejan de crecer a causa de que solo muy pocos iones llegan a ellos. Se ha demostrado que una extensión plástica del hormigón lleva consigo una disminución de la presión del líquido intersticial y con ello una reducción en la solubilidad de los hidratos. Por el contrario, una compresión mecánica excesiva origina la compresión del líquido intersticial y la puesta en solución de algunos hidratos.

Estas acciones tienen gran importancia porque afectan a la relación de resistencias (compresión y tensión) que es 10:1 para el hormigón. No solamente las deformaciones plásticas sino casi todas las deformaciones del hormigón dependen de las propiedades de los espacios que quedan en la malla formada por los hidratos. Estos huecos se rellenan en parte con agua y en parte con vapor, encontrándose separadas estas fases por un menisco sometido a una tensión constante -la tensión capilar- la cual da lugar a una tensión hidrostática en la fase líquida, equilibrada por la compresión en la fase sólida. Así, si un hormigón contiene una cierta cantidad de agua, este agua rellena los espacios superficiales y, para un tiempo dado y un estado higrométrico del aire también dado, el hormigón se encuentra en equilibrio y no tienen lugar cambios entre éste y la atmósfera.

Si el estado higrométrico del hormigón, que resulta del equilibrio, es superior ó inferior al atmosférico, habrá una transferencia de moléculas de agua de hormigón al aire ó viceversa, incrementándose la presión hidrostática a que hemos aludido anteriormente. El conocido fenómeno de la retracción del hormigón no es más

que una simple deformación debida a una triple compresión dependiente del volumen de los canales de la pasta que estan llenos de agua. Por un mecanismo parecido puede explicarse la deformación diferida, por compresión, encontrada en los hormigones.

Además de los anteriores hay otros fenómenos derivados de la naturaleza física heterogénea del hormigón. Estos son los que se refieren a los esfuerzos tangenciales, de cizalla, de deslizamiento y otros, que pueden experimentar las partículas de árido de formas no regulares.