

- 31 -

617-11 EXAMEN DEL ENDURECIMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND MEDIANTE EL MICROSCOPIO

(Examination of the Hardening of Portland Cement by an Electronic Microscope)

Boutet,

DE "CEMENT AND LIME MANUFACTURE", 41, mayo 1950.

El autor discute desde varios puntos de vista la naturaleza y propiedades del hormigón, en especial del hormigón de cemento portland. Según él, el hormigón de cemento no debe ser considerado como una mezcla bifásica, una de cuyas fases es continua y coherente (la matriz cementicia) mientras que la otra está formada por granos discontinuos de piedras, embebidos en la matriz. Las partículas de cemento son transformadas, por hidratación, en agujas y agrupaciones de cristales que parecen poseer afinidad reciproca en ciertos puntos. El Sr. Boutet sugiere la posibilidad de que, por dicha afinidad, muchos de los cristales anteriores se adhieran a las caras laterales de las piezas de árido. En realidad, esta afinidad árido-cristal de cemento, puede existir puesto que los agregados contienen uno o varios constituyentes idénticos a los componentes del cemento. Tal ocurre con la sílice, la alúmina y la cal. Es a causa de esta afinidad, medida por la adhesión entre el cemento y el árido, por lo que los mejores hormigones de portland son los que llevan piedras en las que predominen la sílice y la cal. En apoyo de su teoría, el autor expone numerosas fotografías de cementos portland, aluminosos, expansivos y otros, en varias etapas de su proceso de fraguado y endurecimiento.

Las fotografías que se dan a continuación y que se refieren solo al portland fueron tomadas con un microscopio electrónico en el Laboratorio de Caminos de Francia. El microscopio da unos 5.000 aumentos sobre la pantalla fluorescente y las fotografías de la imagen pueden ser ampliadas para lograr, finalmente, una resolución de 100.000 veces. Las figs. 3 a 10, se refieren a las distintas etapas del proceso de fraguado de un portland (pasta pura) y corresponden a un aumento lineal de 5.000 veces, es decir, el lado de cada cuadrá

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

do equivale a unas 10 micras. El tamaño de las partículas de cemento mostradas oscila entre 1 y 10 micras.

Antes de la hidratación y cristalización de los constituyentes hidratados, los granos de cemento parecen formar cadenas. A los 15 minutos de haber sido mezclado el polvo de cemento con el agua, el aspecto de la preparación es el presentado en la fig. 3. Las partículas que están agrupadas en cadena son muy finas (menos de 1 micra). En este estado, la hidratación casi no ha comenzado. Las cadenas se unen a las partículas más grandes y se adhieren a ellas lo mismo que podrían hacerlo a las partículas inertes de árido. En la fig. 4 se muestra el mismo cemento portland una hora después del amasado pudiendo verse las agrupaciones de partículas, tales como las de silicato dicálcico, que fraguan lentamente. Las figs. 5 y 6, corresponden a cadenas de granos mucho más finos, las cuales, al cabo de 65 días (fig. 6) muestran una tendencia a una reagrupación diferente. Los agregados de microcristales se agrupan en cadenas pero las partículas quedan adheridas firmemente en sus puntos de contacto.

Las figs. 7 y 8 dan una clara idea del fraguado del cemento portland a los 30 minutos y a una hora después del amasado. Aparecen, entre las partículas de un tamaño aproximado de una micra, finas agujas entremezcladas, cuyos extremos están unidos a las caras laterales de las partículas de mayor tamaño, de la misma forma que podrían haberse unido a los granos de árido. Las microfotografías apoyan la suposición de que en el cemento portland hay dos constituyentes muy diferentes a saber: el silicato tricálcico que es el que promueve el endurecimiento inicial y el silicato dicálcico responsable, a su vez, del incremento ulterior en el endurecimiento. Todas las preparaciones aquí expuestas corresponden al mismo cemento. Las diferencias existentes son debidas exclusivamente a la pequeñez de la muestra y a la dispersión de los cristales.

La cristalización progresiva resulta como consecuencia de la formación de más y más cristales en forma acicular en el seno de la fase continua y, como puede verse en las figs. 9 y 10 los entramados se hacen cada vez más densos. Estas figuras se refieren respectivamente, al a s p e c t o -

del cemento un día y 90 días después del amasado. La densidad de las mallas resultantes es una característica de la dilución del cemento. Unos cuantos gramos de cemento en un litro de agua, dan soluciones cuya dilución es aproximadamente mil veces mayor que la de los morteros de cemento conteniendo la cantidad mínima de agua de amasado.

Los cristales de aluminatos son, en general, láminas hexagonales aciculares y esféricas. Los cristales esféricos aparecen generalmente en aquellos portland en los cuales los primeros núcleos cristalinos son de yeso. En cuanto a la cal presente en los cementos, parece que produce cristales es féricos o en forma de agujas.

---