

CONCRETO HIDRÁULICO. *Capítulo*



Los orígenes del concreto se remontan a 2 siglos a. c. en Roma, cuando se utilizaron mezclas de caliza, tobas volcánicas y piedras, para construir algunas de las estructuras que hoy todavía están en pie como el Panteón o la iglesia de Santa María de los Mártires, cuya cúpula es de concreto simple, siglos después en Inglaterra John Smeaton lo utilizó para la reconstrucción del faro de Adystone en la costa sur, hoy en día y gracias a los avances tecnológicos las características del concreto son mejoradas (Cotera, 2000) .

En América el concreto también formó parte de grandes obras como la Presa Hoover que es una presa de concreto de arco-gravedad, ubicada en el curso del río Colorado, en la frontera entre los estados de Arizona y Nevada. Está situada a 48 kilómetros al sureste de Las Vegas. La construcción comenzó en 1931 y fue completada en 1936, dos años antes de lo previsto.

Durante el vertido del concreto y la parte de curación de la construcción, eran necesarios tubos de agua refrigerada en el concreto húmedo. Esto debía reducir el calor generado por las reacciones químicas de fraguado y endurecimiento del hormigón. Se calculó que de otra manera el endurecimiento y la curación de la masa de concreto podrían durar aproximadamente 120 años.

El primer vertido de concreto fue realizado en la presa el 6 de junio de 1933. Ninguna estructura de la magnitud de la Presa Hoover había sido construida antes. Muchos de los procedimientos usados en la construcción de la presa nunca habían sido probados. Uno de los problemas que afrontaron los diseñadores era la retracción del concreto en la presa. Más que como un bloque único de concreto, la presa fue construida como una serie de ménsulas trapezoidales para permitir disipar el enorme calor producido por el curado del concreto (Cotera, 2000).

2.1. El concreto y sus características

El concreto está formado por tres elementos, el cemento, agua y los agregados. Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas.

De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementos pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí. El cemento es de los ingredientes más importantes para fabricar concreto; sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo (Carvajal, 2007). Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro.

Al entrar en contacto con el agua se inicia una serie de reacciones físicas y químicas que en forma global se le conoce como el proceso de hidratación del cemento, estas reacciones inician con el fraguado para después culminar con el endurecimiento y la obtención de la resistencia mecánica.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto, puede decirse que la composición química de un cemento portland se define mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento portland:

- Silicato tricálcico C3S
- Silicato dicálcico C2S
- Aluminato tricálcico C3A
- Aluminoferrito tetracálcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_4\text{AF}$

En términos prácticos se sabe que los silicatos de calcio (silicato tricálcico y dicálcico) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el silicato tricálcico aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el silicato dicálcico a mediano y largo plazo, es decir, se complementan para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida (Carvajal, 2007).

El aluminato tricálcico es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

2.2. Agua en el concreto.

El agua puede proporcionar dos aplicaciones, se utiliza como ingrediente en la elaboración del concreto, así como para el curado de las estructuras recién construidas, como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera.

Esto le proporciona una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos negativos en el concreto.

Una práctica común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esto no se cumple, porque hay aguas potables que contienen citratos o pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto.

Refiriéndose a las características físico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. (Carvajal, 2007).

Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo, la presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

2.3. Agregados en el concreto

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del concreto.

Los agregados gruesos denominados gravas, consisten de materiales extraídos de rocas de cantera, triturados o procesados, piedra bola o canto rodado, cuyas partículas comprenden tamaños desde 4.75 mm hasta 6 pulgadas, para los fragmentos más grandes. La norma NMX-C-111 norma que deben cumplir los agregados de un concreto, es adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de concretos en México.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

Existen varias clasificaciones de gravas, por ejemplo:

- Grava sello triturado 3/8" (De 5 a 10 mm)
Este tipo de grava se encuentra en rocas de tipo andesítico.
Aplicaciones: Blocks y elementos prefabricados.
- Grava triturada 1/2"- 3/4" (De 12 a 20 mm)
Este tipo de grava se encuentra en rocas de tipo caliza dolomítica, andesíta y basalto andesítico. Es la grava que se utiliza más comúnmente.
Aplicaciones: Concretos de resistencias normales a la compresión y en la fabricación de elementos prefabricados.
- Grava triturada de 1" – 1 1/2" (De 20 a 40 mm)
Se encuentra en rocas de tipo caliza dolomítica, andesítico y basalto andesítico.
Aplicaciones: Concretos de resistencias altas y concretos especiales de resistencia a la flexión. Se utiliza como balastro para la construcción de vías de ferrocarril.

Los agregados finos o arenas consisten en arena natural extraída de los ríos, los lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales, esto es, que han sido trituradas. Estos agregados abarcan normalmente tamaño de partículas entre 4.75 y 0.075 mm.

- Arena Natural 0-3 (De 0 a 3 mm de tamaño máximo)
Se pueden encontrar en el tipo de rocas andesítico. Se utiliza en la elaboración de concretos, morteros y en mezclas para fabricación de tubos bloques y elementos prefabricados.
- Arena Natural de 0 – 5 (De 0 a 5 mm de tamaño máximo)
Se pueden encontrar en el tipo de rocas andesítico. Se utiliza en la elaboración de concretos, morteros y en mezclas para fabricación de tubos bloques y elementos prefabricados.
- Arena Triturada de 0 – 5 (De 0 a 5 mm de tamaño máximo)
Se pueden encontrar en el tipo de rocas andesítico y basalto andesítico. Se utiliza en la elaboración de concretos, mezclas asfálticas y en mezclas para fabricación de tubos bloques y elementos prefabricados.

2.4. Concreto con cemento y puzolana.

Desde hace algunas décadas, las investigaciones sobre puzolanas se han incrementado de manera importante, como lo demuestran los artículos, patentes y libros que sobre ellas se publican anualmente.

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión, y el tiempo de residencia del material.

Si la temperatura de combustión está en el rango entre 400-760 °C, hay garantía de que la sílice se forma en fases amorfas, de mucha reactividad. Para temperaturas superiores comienzan a formarse fases cristalinas de sílice, poco reactivas a temperatura ambiente.

La adaptación de un concreto a las exigencias tecnológicas particulares de cada aplicación tiene un límite. Cuando ya no se puede jugar con la elección de los materiales, del cemento y de la proporción de mezcla, se recurre a productos que aportan la mejora de las características o propiedades deseadas para cada aplicación particular o la adaptación deseada. Estos productos son las adiciones minerales y los aditivos.

La sustitución de una parte del clinker por otros constituyentes minerales ha sido investigada desde hace mucho tiempo por razones económicas y ecológicas. Estos constituyentes, calificados como secundarios, pueden ser casi inertes, como la caliza o la sílice, o reactivos, como las puzolanas naturales, las cenizas volantes, las escorias de horno alto, etc.

En Europa se usa gran cantidad de cemento portland con adiciones puzolánicas o cementantes, mientras que en Estados Unidos y Canadá estos materiales secundarios se añaden, no en la fábrica de cemento, sino en la planta de preparación del concreto. Esto se debe a que el uso de adiciones directamente en el mismo ofrece un mejor control de la propiedad o característica deseada (resistencia mecánica, calor de hidratación, aire atrapado, etc.).

Cuando una puzolana se usa en combinación con el cemento portland durante su hidratación, es la fuente de hidróxido cálcico que reacciona con los aluminosilicatos presentes en la puzolana para formar compuestos cementantes (Ayllón, 2002). Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, de tres características de reacción:

La primera es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento por lo que la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos.

La segunda es una reacción que consume hidróxido de calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.

La tercera es que al producirse en un tiempo posterior los productos de reacción rellenan, de forma muy eficiente, los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento. Así se mejora la impermeabilidad y la resistencia mecánicas del sistema.

En el diagrama ternario de Rankine de la figura 2.1 se encuentran situadas varios tipos de materiales. Entre las adiciones minerales, podemos diferenciar las adiciones minerales activas e inactivas, donde las primeras presentan la capacidad de formar productos de hidratación similares a los que se producen durante la hidratación del clinker pòrtland, mientras que las inactivas, si bien no presentan esta capacidad, suelen mejorar otras propiedades como la trabajabilidad y la resistencia temprana.



Figura 2.1. Diagrama ternario de Rankine

Estos materiales se utilizan tanto en la industria cementera como en el concreto.

Entre las adiciones minerales activas, se encuentran las adiciones puzolánicas entre las que podemos nombrar las puzolanas naturales, las cenizas volantes (fly ash), microsilice (silica fume) o arcillas, etc. El uso de la puzolana en el concreto puede favorecer ciertas propiedades en el diseño de las mezclas, como:

- Un reemplazo parcial del cemento. En este caso, la actividad puzolánica permite esperar las mismas características mecánicas al cabo de seis meses a un año.
- Un reemplazo parcial de áridos. En este caso, se juega con el afino de la curva de distribución granulométrica, que permite una mejora de las características mecánicas por efecto.

2.5. Concreto con cal y puzolana.

Es la aptitud de un material pulverizado que, no siendo hidráulico por sí mismo o siéndolo en muy baja magnitud, se combina con la cal en presencia del agua y a temperatura ordinaria, formando compuestos que poseen propiedades hidráulicas. El CP-40 es un aglomerante hidráulico, producido por la mezcla íntima de un material conocido como puzolana y el Hidrato de Cal, finamente molidos. Este aglomerante alcanza baja resistencia mecánica, y su fraguado es algo más lento que el del cemento Portland (Ayllón, 2002).

Por esta razón, puede ser considerado como un cemento para aplicaciones de albañilería. Los aglomerantes cal-puzolana tienen su origen reconocido en las construcciones hechas por los romanos. Hoy en día se conservan aún las ruinas de los grandes edificios construidos con este material. El descubrimiento del cemento cal-puzolana en la antigüedad logro cambios radicales en la construcción, mejorando la resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

El costo de los materiales de construcción de viviendas, en países subdesarrollados constituye la partida más importante del monto total de una vivienda, por ello la utilización de materiales de construcción con un menor costo económico y ecológico (el denominado eco material) aporta una serie de ventajas muy significativas sobre los materiales de construcción convencionales.