

CONCEPTOS PETROLÓGICOS APLICADOS AL ESTUDIO DEL CONCRETO

Luis Humberto Chirif Rivera ¹ y Helen Beatriz Molina Barentzen ²

¹ Universidad Nacional de Ingeniería. Email: hchirif@hotmail.com;

² Email: cymperuart@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

El concreto es una roca artificial que se emplea en la industria de la construcción y que resulta del endurecimiento (fraguado) de la mezcla de cemento y agua con presencia de agregados. Según el tipo de construcción, el concreto debe cumplir con ciertos valores de resistencia física, química y peso específico, las cuales dependen a su vez básicamente de la relación agua/cemento, relación cemento/agregado, tipo de cemento y de la naturaleza y forma de los agregados.

El propósito de este trabajo es describir los componentes, las reacciones que se producen durante la hidratación y fraguado del cemento y las reacciones entre los agregados y la pasta de cemento, para luego mostrar los elementos petrográficos del concreto e identificar en ellos las características de su formación, aplicando los mismos conceptos petrológicos que utilizamos en el estudio de rocas naturales.

LOS REACTANTES

Los componentes de la mezcla fluida que por fraguado da origen al concreto son los agregados (60% al 75% del volumen del concreto), agua (15% a 22%), cemento (7% a 15%), aire (1% a 3%) y cantidades ínfimas de aditivos (PASQUEL, 1998).

AGREGADOS

Agregados o áridos son partículas de roca de diferentes tamaños que se mezclan con cemento y agua para formar morteros o concretos. Son los responsables en gran parte de su resistencia, por lo que deben ser elegidos con cuidado, teniendo en cuenta su potencial comportamiento físico y reactividad. Los agregados son tomados normalmente de la zona donde se realizará la obra; se extraen de las orillas de los ríos, quebradas o de canteras. Deben ser limpios; no pueden tener tierra, barro, carbón, madera, raíces, hojas, ni ningún material o residuo animal o vegetal.

Los tipos de roca a emplear como áridos son diversos, presentando en cada caso ciertas particularidades derivadas de su composición mineralógica o de su textura.

Por su granulometría los agregados se clasifican en finos y gruesos. Los finos tienen dimensiones variables entre 74 μm y 4.76 mm (arena muy fina hasta gravilla) y consisten en partículas resistentes como fragmentos de roca, cuarzo, feldspatos u otros minerales; micas, arcillas y minerales solubles no son convenientes. Los agregados gruesos tienen dimensiones variables entre 4.76 y 75 mm (grava y ripio), consisten en roca triturada y en casos excepcionales en escorias de altos hornos y otras partículas duras similares.

La granulometría del agregado influye en las proporciones relativas agua/cemento y de ello depende la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. La forma del agregado y la textura de su superficie son otros parámetros importantes que redundan en la trabajabilidad de la mezcla y resistencia del concreto. La forma se define por el grado de esfericidad, desde elongados hasta esféricos, y la textura de la superficie se clasifica en angulosa (o rugosa), subangulosa, subredondeada, o redondeada (lisa). Las mezclas con agregados elongados y angulosos requieren de más agua para ser trabajables, y en consecuencia, para mantener la relación agua-cemento, requieren también de mayor cantidad de cemento.

AGUA

Para la preparación de la mezcla se debe utilizar preferentemente agua potable limpia; sin embargo, en las zonas de construcción no siempre se dispone de esta y se utiliza aguas de diferentes tipos, lo cual se refleja en las propiedades del concreto. Las aguas turbias (con arcillas) y las aguas negras (con residuos orgánicos) pueden afectar considerablemente el tiempo de fraguado y la resistencia; las aguas cloruradas (agua de mar) generan eflorescencias en las superficies y corrosión de las varillas de refuerzo; las aguas carbonatadas originan reducción de la resistencia y las aguas sulfatadas generan reacciones expansivas y deterioros por ensanchamiento de las fracturas.

CEMENTO

El cemento Pórtland es un polvo fino de color gris, aglomerante hidráulico artificial, que se obtiene, en primer lugar, de la calcinación a 1500°C de una mezcla de calizas y lutitas pulverizadas, enfriada bruscamente (clinker), para luego ser nuevamente pulverizadas y batidas con yeso y otras adiciones (puzolanas, escorias de alto horno, cenizas volantes). Tiene la peculiaridad de fraguar al contacto con el agua y producir compuestos cohesionados y mecánicamente resistentes. Recibe el nombre de *cemento Pórtland* debido a la similitud con rocas de la isla inglesa del mismo nombre.

Está constituido en más de 90% en peso por las mismas fases metaestables del clinker (silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminio ferrito tetracálcico), además de yeso y otras adiciones (puzolana, cenizas, microsílíce, etc.) que desempeñan papeles importantes en el fraguado y que originan las variedades o tipos de cemento de cualidades especiales para usos específicos.

ADITIVOS

Son sustancias que se agregan a la mezcla de concreto en proporciones ínfimas (0.1 a 0.2%) y sirven para modificar de manera prevista y controlada una o varias de sus propiedades. Pueden ser de diferentes tipos siendo los principales los incorporadores de aire (retienen aire con el fin de aumentar la trabajabilidad, la resistencia al congelamiento del concreto y la impermeabilidad), reductores de agua, retardantes (retardan el fraguado con el fin de mantener el concreto trabajable por más tiempo), acelerantes (aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia del concreto a edad temprana), plastificantes (permiten disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia deseada del concreto; actúan como plastificantes y retardantes a la vez).

LA MEZCLA Y EL FRAGUADO

Se denomina mezcla a la mixtura dosificada y fluida de cemento, agua, agregados y aditivos, la cual se puede movilizar y adaptar al molde de la forma requerida (trabajabilidad). Para que la mezcla tenga la trabajabilidad deseada y el producto endurecido tenga la resistencia y durabilidad necesarias para el uso proyectado, se debe dosificar adecuadamente los componentes (diseño de mezcla).

El fraguado es el proceso mediante el cual la mezcla se endurece gradualmente y comienza a ganar resistencia. Es un proceso exotérmico largo que empieza a los pocos minutos del contacto del cemento con agua y continúa por varias semanas hasta la obtención de la resistencia deseada. Durante este proceso las fases metaestables de alta temperatura (componentes primarios del cemento) reaccionan con el agua y el yeso dando origen a diferentes fases que ligan el conjunto; mientras más finas las fases formadas mayor será la superficie ligada y mayor la resistencia del concreto.

En los primeros minutos se produce la reacción del aluminato tricálcico con el agua y yeso formando cristales de ettringita $[(Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O)]$ del orden de las 10 micras de largo y pocas horas después, como producto de la hidratación de los silicatos cálcicos, se forman grandes cristales prismáticos de Portlandita $[Ca(OH)_2]$ y un agregado de finísimos cristales fibrosos de silicato cálcico hidratado reconocibles sólo con microscopio electrónico, y que forma un sólido rígido muy poroso que llena los espacios vacíos y por ello es de gran importancia en la resistencia de la pasta (GUIRADO & CHINCHÓN, 2003).

LA MEZCLA ENDURECIDA Y SU DEGRADACIÓN

Después de fraguar y endurecerse la mezcla se convierte en una roca artificial a la que denominamos pasta si carece de agregados, mortero si los agregados son finos y concreto si son gruesos. El concreto tiene una apariencia similar a la de una brecha sedimentaria, sus elementos “petrográficos” son los agregados, la pasta de cemento hidratado, los poros, las fracturas y las varillas de refuerzo.

El concreto, al igual que las rocas naturales, sufre también procesos de degradación siendo sus principales causas la infiltración de soluciones ácidas a neutras y la consiguiente reacción con la pasta, con los agregados y hasta con las varillas de refuerzo.

Una de las reacciones más dañinas es la reacción álcali-sílice, la cual se produce por la inestabilidad de ciertos áridos en medios alcalinos. Los álcalis se incorporan a las soluciones de infiltración a partir de la pasta por donde circulan y luego reaccionan con áridos inestables en medios alcalinos (sílice amorfa, calcedonia, ópalo, obsidiana, alunita, vidrio volcánico ácido) formando un gel amorfo (denominado gel AS) compuesto por óxido doble de Na y K, óxido de silicio y agua en diferentes proporciones. El gel rellena las oquedades y fracturas generadas por el ataque de la solución tanto en la pasta como en los agregados, y se expande generando un creciente fracturamiento y disgregación del concreto.

PETROGRAFÍA DEL CONCRETO

La petrografía del concreto se ocupa de describir las características litológicas, morfológicas y texturales de sus constituyentes, estimar las proporciones entre ellos y la forma en que están relacionados. En base a ello, más los conocimientos teóricos sobre las reacciones que se producen durante el fraguado y degradación, se construyen las interpretaciones petrológicas, esto es la historia de la muestra, calidad de los componentes, calidad de la mezcla y hasta se puede determinar las causas de daños, generando así información valiosa para futuros diseños. En el cuadro 1 se sintetizan las observaciones que deben realizarse en cada uno de los elementos petrográficos del concreto.

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE

Cada vez es más frecuente realizar estimaciones del potencial de reacción álcali-sílice que pueda generar un agregado, existiendo la tendencia a que todas las canteras realicen regularmente dicho estudio. La estimación se realiza a través del estudio petrográfico de los agregados siguiendo la norma ASTM-C-295, la cual se centra en la metodología del muestreo y del análisis litológico y granulométrico; la estimación se obtiene del tratamiento estadístico de las diferentes litologías presentes en la muestra, dejando al criterio del petrógrafo la valoración del potencial de reacción AS que pueda tener cada tipo de roca constituyente de la muestra. En general las rocas más reactivas son aquellas ricas en vidrio volcánico ácido, como las riolitas, dacitas, obsidiana, pumita, tobas o ignimbritas (MEHTA, 1989).

A la fecha de presentación de este resumen se viene estudiando la litología de los agregados de la cantera Jicamarca por fracciones granulométricas con el objetivo de estimar el potencial de reacción AS de dicha cantera.

Con el propósito de afinar el método, se realizarán ensayos químicos y físicos de comparación sobre cubos de mortero preparados cada uno con agregados de la misma litología. A los 28 días de fraguado se someterá a las muestras a un ataque agresivo de Na(OH), para luego medir la expansión y analizar la presencia de gel AS mediante tratamiento del mortero con una solución de acetato de uranilo (el UO_2^{+2} reemplaza a los iones de Na^+ , K^+ , y Ca^{+2} en el gel haciéndolo visible bajo luz ultravioleta (NATESAIYER Y HOVER, 1989). Finalmente se elaborarán secciones delgadas de los morteros para observar los efectos de la reacción AS sobre cada litología.

Cuadro 1. Estudios petrográficos realizables en el concreto.

Aspecto	Observaciones
Aspectos generales	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciones volumétricas entre áridos y cemento. - Heterogeneidades producto de mezclado incompleto de constituyentes. - Distribución de los áridos. Segregación u orientación preferencial.
Pasta	<ul style="list-style-type: none"> - Textura, granulometría y porosidad de la pasta. - Rasgos de geles hidratados: Tamaño y disposición de los agregados del gel. - Granos de clinker remanentes en el cemento.
Áridos	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometría, forma y orientación de los áridos. - Proporción volumétrica entre áridos gruesos y finos. - Mineralogía, texturas y tipo de roca. - Grado de alteración, minerales alterados y alterables, microfracturamiento. - Textura superficial de los áridos. Presencia o ausencia de impurezas. - Tipo, forma, tamaño y proporciones volumétricas de los áridos artificiales o aditivos (escoria de alto horno, sílica fume, ceniza volante).
Evidencias de reacciones	<ul style="list-style-type: none"> - Evidencia y naturaleza de reacciones entre los áridos y la pasta. - Evidencias de reacción en superficie y microfracturas en los áridos. - Lixiviación de componentes. - Evidencias de carbonatación, ataque de sulfatos y reacción álcalis-sílice. - La corrosión de las varillas de refuerzo. - Evidencias de deterioro por congelamiento.
Poros	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones de los poros y porcentaje de porosidad. - Formas y distribución de los poros. - Origen probable de los poros (reacción, desecación u otros).
Fracturas	<ul style="list-style-type: none"> - Forma, dimensión y distribución de las microfracturas. - Ubicación de las fracturas (en la pasta, áridos, interfases). - Espesor de las microfracturas, porcentaje y naturaleza del relleno. - Origen probable de los fracturas (esfuerzos, desecación u otros).

REFERENCIAS

- Guirado, F. & Chinchón, J. (2003) Petrografía del hormigón. En: Melgarejo, J.C. (Ed) Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Edicions Universitat Barcelona, p. 417-431.
- Metha, P.K. (1989): Concrete. Structure, Properties and Materials. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey: 220-249.
- Natesaiyer, K.e., Hover, K.C. (1989): Further study of an in-situ identification method for the alkali-silica reaction products in concrete. Cement and Concrete research 19: 770-778.
- Pasquel, E. (1998) Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional, Lima, 380 p.