

Instrucción revisada sobre el uso estructural del cemento aluminoso ⁽¹⁾

Revised guidance on structural use of high-alumina cement ⁽¹⁾

A. NEVILLE
A & M Neville Engineering

REINO UNIDO

En mi artículo publicado en *CONCRETE*, julio/agosto de 2003 (1), analizaba el Draft British Standards BS EN 14647:20003 *Calcium aluminate cement composition, specifications and conformity criteria* (2)⁽²⁾. *Calcium aluminate cement* es una nueva denominación, introducida por los fabricantes, para el hormigón de cemento aluminoso (HCA) (“high-alumina cement (HAC)”) término éste que adquirió notoriedad debido a una serie de fallos estructurales en viguetas en la década de los 70. En ese artículo remarcaba determinadas incorrecciones de la terminología empleada y -lo que es más importante- criticaba la inclusión de un anejo sobre la utilización del HCA en estructuras.

Composición del Comité de Normalización

Esperaba alguna contestación escrita al artículo en el que criticaba la BS EN 1467:2003: no hubo ninguna. He quedado un tanto sorprendido por el silencio de los fabricantes del HCA o de aquellas personas implicadas en la redacción de la Norma. Tengo suficientes años y recuerdo el dicho de que *quien calla otorga*. Me preocupa seriamente que los miembros del Comité de Normalización permanezcan amparados por el anonimato. Lo que me interesaba no eran sus nombres, sino su profesión y actividad. Mi interés no se refería a ningún tipo de información sobre la composición del Comité que redactó la Norma, en la que se incluía un Anejo promoviendo el uso estructural del HCA.

Como contraste a aquella situación, cuando yo formaba parte de la Comisión que redactó el código estructural BS CP110:1972 *Code of practice for the structural use of concrete* (3) y del BS 8110:1997 *Structural use of concrete* (4), los nombres de todos los miembros de la Comisión se incluyeron en el texto. Sé que esta práctica no se mantuvo, como medida de protección para los miembros del Comité, ya que podría darse el caso de ser de-

nunciados judicialmente alegando daños producidos por la aplicación de las Normas. Semejante situación es engañosa y peligrosa, e inaceptable en otros aspectos. En otros comités, como el del Banco de Inglaterra, que fija los valores del Banco, publica el sentido del voto de cada miembro del comité y también informa de los argumentos que tiene para decidir el sentido de su voto. Los jueces pueden ser víctimas de la venganza de aquéllos que han sido condenados por ellos, pero no por ello acuden a los tribunales encapuchados. La aplicación de las Normas determina la calidad de los materiales y la adopción de los métodos y procedimientos correctos de construcción. Sin embargo, si los responsables de esas Normativas son anónimos, no se consideraría responsable a nadie y podría haber interferencia de miles de factores.

Se dice que la justicia no solamente se ha de cumplir, sino que también hay que hacer ver que se cumple. Si me dispusiera a ejercer un determinado arbitraje, habría de saber que no es suficiente ser independiente sino que también es imperativo conocer quienes están implicados en el tema, tales como, por ejemplo, empresas subsidiarias. Por ejemplo, un juez cuya independencia se ponía en duda por el hecho de que su esposa tenía 20 acciones en una empresa implicada en un pleito, comentó: “Sé que cada hombre tiene un precio, pero me ofende que se piense que el mío sea tan bajo”.

Anejo revisado sobre uso estructural

La respuesta a la llamada para comentarios sobre la BS EN 14647:2003 (3) llevó a una revisión significativa, que

⁽¹⁾ En la traducción del presente trabajo, se atribuye la denominación en español “cemento aluminoso” a la correspondiente inglesa del texto “high-alumina cement”.

⁽²⁾ MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, en su número 273, de 2004 reprodujo en español dicho artículo.

debe recoger la versión definitiva. Ahora en la introducción se reconoce que HAC no es una denominación obsoleta, sino una alternativa aceptable. Por cierto, la antigua denominación alemana "Tonerdzement" (cemento aluminoso) ha permanecido inalterable.

No fueron aceptados los argumentos que remití al *Drafting Committee* respecto a que en el anejo que trataba de la utilización estructural del hormigón no se ha de incluir en una Norma de Cementos. Sin embargo, el título del anejo se cambió, sustituyendo "Fundamentos esenciales" ["*Essential principles*"], que implica una normativa de naturaleza obligatoria, por "Instrucciones de uso" ["*Guidance for the use*"]. Esto todavía se ha de confirmar. Por otra parte, en el anejo se han realizado numerosos cambios de signo positivo.

En la introducción al anejo A.1, se establece de forma explícita que "es esencial tener en cuenta el fenómeno de la conversión". Además, en la sección que trata de las características específicas del cemento, se indica que "la conversión es inevitable e irreversible" y también, que "la conversión completa puede tardar años en tener lugar, a 20 °C de temperatura...". Tal interpretación de la conversión es correcta pero supone un cambio radical del punto de vista mantenido tozudamente durante muchos años; por ejemplo la discusión de mi artículo que hacía referencia a este aspecto, por la Institución de Ingenieros Civiles (5). En relación a mi trabajo publicado en el año 1963, el empresario J. Sykes, afirmaba que "*In Great Britain, at any rate, conversion rarely occurred*" (nunca según la experiencia de Mr. Sykes).

De la misma forma, O. Masterman, un fabricante de hormigón pretensado indica que, "no está de acuerdo con la declaración dada en el párrafo 37 del trabajo de Neville, respecto a que a la temperatura ordinaria en Inglaterra, la conversión tiene lugar de forma espontánea". Además, Masterman afirma que "el cemento aluminoso no precisa ningún cuidado si se elabora y utiliza en condiciones adecuadas".

Además, en la introducción del anejo al BS EN 14647:2003 (2) se omiten las especiales características del HAC, tales como "resistencia a la temperatura, a la fatiga y a la corrosión". Esto es lo correcto y estoy de acuerdo con ello. En la sección A.3.4 del anejo, que trata sobre "Desarrollo de resistencias" se reconoce expresamente que "con el tiempo, a causa de la evolución del fenómeno de la conversión, la resistencia disminuirá hasta un mínimo estable...". También se dice "para propósitos de diseño, sólo se debe tener en cuenta la mínima resistencia alcanzada después de la conversión". Es correcto considerar que "la resistencia del hormigón convertido no puede deducirse a partir de la resistencia del hormigón antes de la conversión, ya que la relación entre las dos no es constante". La necesidad de considerar ex-

plícitamente la resistencia después de la conversión fue denegada en el pasado pero ha sido incluida en el "Documento Aprobado" ["*Approved Document*"] incorporado en 1999 *Amendment to Building Regulations*, el cual exige que se demuestre que "las características finales del material, incluyendo las correspondientes estructurales, pueden ser definidas previamente en el proyecto" (6)

Es conveniente recordar que los proyectos realizados, considerando futuras resistencia mínimas, no eran aceptados por diferentes proyectistas. Así, por ejemplo, refiriéndose a mi artículo de 1963, T. Akroyd, un ingeniero consultor, escribió: "proyectar teniendo en cuenta la conversión es como proyectar para fallos; es una mala práctica". Dijo de ello algo parecido a que "ese camino es peligroso...".

Durabilidad

En la Sección A.3.5. del anejo sobre la resistencia al ataque químico, hay una rápida revisión y una escasa explicación del efecto sobre "las buenas características de los morteros y hormigones de cemento aluminoso elaborados de acuerdo con el anejo y su resistencia al ataque químico". Esta cuestión se desarrolla en la Sección A.6.3, que indica "una resistencia muy superior a la del cemento Portland frente a numerosos agresivos..." y relaciona varios de éstos, incluyendo el agua de mar. En algunos casos la aportación es válida, aunque el hormigón de cemento Portland se comporta bien frente al agua de mar. No se informa sobre el hecho de que el HCA sea siempre vulnerable a los álcalis transportados en agua. La revisión incorpora una advertencia útil que dice: "debido al riesgo de migración de álcalis, las construcciones realizadas con cemento Portland no deben ser reparadas con HAC en ambientes con humedad relativa superior al 80%". Esta advertencia es vital ya que con frecuencia el HAC se recomienda como material de reparación.

Lamentablemente, el anejo no contiene advertencia alguna sobre el riesgo de corrosión de armaduras utilizadas en hormigones de HAC. Esto se ha remarcado en numerosas publicaciones del Building Research Establishment (BRE). En 1993 una publicación (7) indicaba que "la corrosión potencial para un futuro será probablemente más elevada (para el hormigón de HAC) que para cualquier otro tipo de hormigón". Esto no supone un descubrimiento nuevo, ya que en 1963, Rüschi escribió que "el hormigón elaborado con cemento aluminoso no ofrece al acero tan buena protección contra la corrosión como el del cemento Portland, ya que la basicidad del primero es bastante baja" (8). Este aspecto lo corrobora Gomà, quien indica que un pH de 11,8 en la disolución que rellena la porosidad del hormigón de cemento aluminoso es demasiado bajo para protegerle de la corrosión" (9). Además, el aumento de la porosidad en el hormigón como conse-

cuencia de la conversión, facilita el proceso de carbonatación.

En la Sección A.6.2 del anejo, *Concreting in hot weather*, la optimista afirmación de que “el hormigón en ambiente cálido no comporta riesgo alguno “with no risk” se modificó eliminando las palabras “with no risk” (2). También la afirmación de que es posible realizar el curado con agua fría al “hormigón a temperaturas de unos 40 °C” ha sido reemplazado por la recomendación de usar un aditivo “para asegurar un tiempo de trabajo suficientemente largo cuando se elabora el hormigón a temperatura elevada”. Esto no es erróneo, pero tal aseveración puede dar la sensación de falsa seguridad.

Resistencia final

Una nota que se incluye en la Sección A.7.1., respecto a un método rápido para la determinación de la “resistencia mínima” después de la conversión, ha sido eliminado, pero en el BS EN 1467:2003 (2) aún se mantiene el postulado de conservar el hormigón a 38 °C durante cinco días para deducir la resistencia mínima que se conseguirá a largo plazo. Personalmente dudo de la validez de ese principio. La Sección A.7.1. no nos dice si el hormigón ha de conservarse húmedo o seco. Sin embargo, Collins y Gutt dicen que el hormigón en húmedo a 20 °C, o a causa de estar expuesto a ambiente húmedo, puede sufrir una disminución en su resistencia de 10 a 15 MPa respecto a cuando se conserva en seco. También influye la temperatura inmediatamente después de su colocación (10). No está claro que no influya la humedad a 38 °C. Además los mismos autores indican a continuación la pérdida de resistencia, incluso en el hormigón que sufrió de forma mayoritaria el proceso de conversión, con una relación agua/cemento tan baja de 0,25 y ciertamente de 0,4. Eso es crucial para la determinación de ‘las propiedades residuales finales’ exigidas por el Building Regulations. Cumplir con estas exigencias es esencial para el empleo de HCA como hormigón estructural (6).

Influencia de relación agua/cemento sobre resistencia

Desde casi cien años sabemos que una aumento de la relación agua/cemento produce una reducción en la resistencia del hormigón de cemento Portland. Lo mismo sucede en el caso del HCA. Sin embargo hay diferencias, ya que después de la conversión la disminución es mayor que si es anterior a la conversión. Esto se discute en el trabajo “*Properties of concrete*” (11).

Es cierto que en el anejo se estipula un máximo de 0,40 para la relación agua/cemento, pero se debe reconocer que en la realidad, en la construcción, las cosas ocurren de diferente forma que en el laboratorio, ya que se suele superar dicha relación. Por ello, es importante conocer

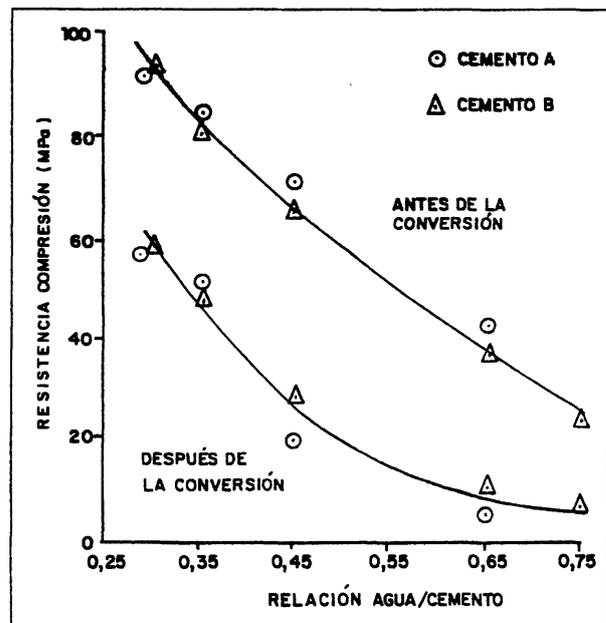


Figura 1.- Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento antes y después de la conversión.

el efecto que tiene un exceso de la relación a/c. En el anejo se incluye tal información, utilizando para ello un gráfico que refleja la resistencia a compresión de probetas cúbicas, frente a la relación agua/cemento. Los datos de ese gráfico provienen de dos fuentes: una de ellas un trabajo publicado en 1990 (12) de George, químico de los fabricantes, y la otra la cuarta edición del trabajo “*Properties of concrete*” (11).

De hecho, la Tabla de “*Properties of concrete*” es una versión exacta de la incluida en mi trabajo de 1963, en aquel tiempo severamente criticado por Lafarge (5). El resultado de los ensayos se da en la Figura 1. A pesar de todo, me alegro de que la versión revisada del BS EN 14647:2003 (2) recoja el hecho de que un incremento de la relación agua/cemento da lugar a una importante pérdida de resistencias.

Es de interés el gráfico que muestra la influencia de la relación agua/cemento sobre la resistencia una vez ha transcurrido la conversión, que se cita en “*Properties of concrete*” y que fue asumido por George para sus propios datos, así que ahora Cementos Lafarge y yo confiamos en los resultados obtenidos por los ensayos Lafarge. Me alegra de que esta situación haya sido solucionada y que se recoja alguno de mis trabajos sobre el HAC en una referencia adicional en el BS EN 14647: 2003 (2) revisado.

Hay una cuestión de menor importancia respecto a la definición de la relación agua/cemento: en el BS EN 14647:2003, emplea el total. Sin embargo, en los últimos 20 años se utiliza la relación agua/cemento efectiva, sin considerar el agua en la superficie del árido, que es adi-

cional a la condición de saturación con superficie seca. El método de relación efectiva es preferible ya que la cantidad de agua sobre la superficie es variable.

La exigencia exacta de una relación máxima de agua/cemento de 0,40 es útil pero no “histórica”, como se explica en la introducción del anejo. También en 1961, el manual del fabricante de cemento indica que una mezcla 1:2:4 “normalmente requiere una relación agua cemento de 0,5-0,6.” La necesidad de emplear una relación mucho más baja se reconoció solamente con posterioridad a los fallos, en la década de los 70.

Yo sé que los hechos que se contemplan a posteriori facilitan un mejor conocimiento de un proceso determinado, pero ello no implica que las advertencias previas deban ser ignoradas. En la discusión de mi trabajo de 1963, Crossthwaite escribió que “los ingenieros en este sector han... quedado con la impresión... de que si se toman las debidas precauciones el hormigón elaborado... no ha de padecer pérdidas de resistencias”. Además, “debería ahora ser evidente para todos que la bajada de resistencias debe ser prevista casi siempre” (5). Diez años antes de los fallos de los años 70, Crossthwaite escribió que “era inquietante que los fabricantes recomendaran HCA en hormigón pretensado sin advertencia sobre los riesgos.

Observaciones finales

Ante todo, deben reconocerse las considerables mejoras de la versión revisada BS EN14647:2003 (2). No obstante, la inclusión de un anejo conteniendo una Instrucción de utilización del HCA en las obras estructurales es inapropiado e inusual para una Norma de cemento. Éste es el caso específico de los pliegos de ejecución de estructuras, en países donde el HCA no se contempla.

En estas circunstancias, es facilitado por el *Building Regulations* un procedimiento para la utilización del HAC en estructuras, a través de un *Approved Document* de la *Secretary of State* en el que el HCA se menciona en un ejemplo (6). Este *Approved Document* requiere “un comportamiento satisfactorio en ensayos de idoneidad efectuados en diferentes circunstancias”. La prueba está basada en “las propiedades finales residuales, incluyendo las propiedades estructurales... estimadas en el proyecto inicial”

Es importante observar la utilización del término (“*final residual properties*”) “*propiedades finales residuales, incluso propiedades estructurales*”, no unicamente la resistencia propiamente dicha y los requisitos necesarios durante “la esperanza de vida de la construcción” (6).

Mientras que la versión revisada BS EN 14647:2003 (2) es de utilidad para la estimación de la resistencia residual, da una información escasa de la pérdida de durabilidad causada por la conversión. Se ha añadido, expresamente, una figura que muestra la elevadísima porosidad que se alcanza después de la conversión (doble con una relación agua/cemento de 0,5 y casi doble a 0,4; en comparación con la que se poseía antes del proceso de conversión) pero las consecuencias no se indican o no se dan explícitamente.

A pesar de todo, se debe dar la bienvenida al inequívoco reconocimiento de que la conversión es inevitable sea cual sea las condiciones de exposición. Sin embargo, la utilización estructural del HAC debería considerarse siguiendo el *Building Regulations*.

En resumen, pienso que los comentarios expuestos sobre el BS EN 14647:2003 deben de haber ayudado a generar una Norma mejor. Una misión de los técnicos de prestigio es colaborar en la mejora de Normas escritas por miembros anónimos de un Comité. La importancia de generar Normas lo más perfectas posibles no puede ser sobreestimada.

Referencias

- (1) Neville, A. *Draft standard for high-alumina cement: should it tell us how to make concrete?* Concrete, Vol. 37, No. 7, july/august, 2003, pp. 44-45.
- (2) British Standards Institution. BS EN 14647:2003. *Calcium aluminat cement: composition, specifications and conformity criteria*.
- (3) British Standards Institution. BS CP110: 1972. *Code of practice for the structural use of concrete*.
- (4) British Standards Institution. BS 8110: 1997. *Structural use of concrete*.
- (5) Neville, A. *A study of deterioration of structural concrete made with high-alumina cement*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 25, july 1963, pp. 287-324, and Discussion Vol. 28, may 1964, pp. 57-84.
- (6) Office of the Deputy Prime Minister. *Approved Document to support Regulation 7*, HMSO, 1999.
- (7) Crammond, N. J. and Currie, R. J. *Survey of condition of pre-cast high-alumina cement concrete components in internal locations in 14 existing buildings*, Magazine of Concrete Research, Vol. 45, No. 165, 1993, pp. 275-279.
- (8) Rüsçh, H. *Letter to the author*, 1963.
- (9) Gomà, F. *Personal communication*, 2004.
- (10) Collins, R. J. and Gutt, W. *Research on long-term properties of high alumina cement concrete*, Magazine of Concrete Research, Vol. 40, No. 145, 1988, pp. 195-208.
- (11) Neville, A. *Properties of concrete*, Longman, 1995, 844 pp.
- (12) George, C. *Manufacture and performance of aluminous cement: a new perspective (in) Calcium aluminat cements* (ed) Mangabai, R.E & F.N. Spon, 1990, pp. 181-207.

* * *