
NOTAS TECNICAS

CONTROL DE LA RAZON AGUA CEMENTO POR SECADO

Vladimiro VALDES R.*

RESUMEN

Se propone el control de la razón agua cemento a partir del secado y tamizado húmedo de una muestra de hormigón fresco.

Se analizan algunos errores que se cometen al obtener el agua por secado y el cemento por lavado y se indican correcciones destinadas a lograr mayor precisión en los resultados.

Introduciendo un ensayo adicional, es posible reconstituir la composición, aproximada, del hormigón fresco compactado.

INTRODUCCION

El progreso tecnológico que ha experimentado el campo de la construcción ha significado, entre otras ventajas, mayor rapidez en la ejecución de las obras. Sin embargo, el cumplimiento de las especificaciones de resistencia de los hormigones aún se verifica mediante ensayos de compresión a 28 días de edad, con lo que los resultados se obtienen, muchas veces, cuando la obra se encuentra

* Investigador del IDIEM.

muy avanzada o terminada.

Para lograr una información más rápida, como primera estimación, se proporcionan resultados a 3 y 7 días y mediante aceleración del proceso de hidratación (curado acelerado), es posible obtener, a las 24 horas de edad, una resistencia que puede correlacionarse con la potencial a 28 días¹. Todos estos ensayos se realizan con el hormigón ya endurecido, lo que en la práctica dificulta cualquier enmienda que sea necesario efectuar.

Todo esto significa que es conveniente ir a la búsqueda de otro tipo de ensayos que proporcione información, en lo posible, del hormigón fresco.

Es un hecho reconocido, desde hace bastante tiempo, que la relación agua cemento, a/c , es el factor decisivo en las propiedades del hormigón endurecido, tales como resistencias mecánicas, impermeabilidad, durabilidad, etc. Los numerosos métodos gravimétricos, químicos, eléctricos y nucleares desarrollados para reconstituir la composición del hormigón fresco y determinar a/c se inspiran en ese hecho. Por otra parte, son muchas las obras en las que se especifican valores de a/c , especialmente, para los efectos de durabilidad del hormigón.

Según la ley de Abrams, se neutralizan recíprocamente los efectos de las cantidades de cemento y agua en el hormigón a tal punto que la resistencia a compresión del hormigón, si las demás condiciones permanecen constantes, depende solamente de la razón agua cemento. Es posible, por lo tanto, ya durante la elaboración del hormigón, obtener un anticipo de las resistencias esperadas y efectuar, de inmediato, las correcciones necesarias.

La norma alemana, DIN 1045, ha introducido el valor a/c como exigencia para verificar la calidad de hormigones de características especiales. Aunque con ciertas limitaciones, permite el reemplazo de probetas a compresión por la determinación de la razón agua cemento. La norma DIN 1048 indica procedimientos para efectuar los ensayos.

En nuestro país no se ha dado suficiente importancia al control de la razón agua cemento del hormigón fresco. Generalmente éste se hace *a priori*, es decir, se corrige la humedad de los áridos y se verifican las cantidades de los materiales antes que entren en la betonera.

Las normas chilenas INN tampoco mencionan el control de a/c .

MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS PARA EL ANÁLISIS DEL HORMIGÓN FRESCO

En Chile, y más precisamente en IDIEM, se han estudiado algunos métodos gravimétricos para analizar el hormigón fresco y obtener la razón agua cemento.

Uno de los trabajos² considera dos métodos: a) por pesada hidrostática del hormigón (método Dunagan) y b) por secado de la muestra. El primer procedimiento permite reconstituir la composición del hormigón y el segundo, solamente obtener la cantidad de agua.

Otro método propuesto es el denominado Thaulow modificado³, que obtiene experimentalmente el factor k (relación áridos cementos) de la igualdad indicada en la norma DIN 1048, a partir de dos ecuaciones.

Un tercer trabajo desarrollado es el que utiliza el aerómetro de presión y que obtiene directamente el agua de amasado por secado del hormigón. Este método exige gran precisión de las constantes y de los valores obtenidos en los ensayos para que no se produzcan errores groseros en los resultados de a/c , por lo que no tiene gran aplicación práctica.

En los métodos mencionados es necesario darse valores de varias constantes que, si no corresponden a las de los materiales del hormigón analizado, pueden inducir a una información falsa. Por este motivo se ha pensado en ensayos que determinen más directamente el agua y el cemento con un mínimo de datos a priori, aunque aquellos demanden mayor tiempo en su ejecución.

La norma DIN 1048, párrafo 3.4.1, describe un procedimiento para el control de la razón agua cemento por secado del hormigón. Pero el cemento se obtiene de la dosificación, con lo que pierde su valor como ensayo de control.

Para la reconstrucción de la composición del hormigón fresco, la norma DIN 52171 obtiene el contenido de agua por secado y el del cemento por tamizado de sendas muestras de 5 kg de hormigón fresco, las que forman parte de una porción mayor (40 kg). Con el sobrante se determina la densidad aparente del hormigón compactado.

En el presente trabajo se obtiene a/c de una sola muestra, a partir del secado y lavado posterior del hormigón.

Con ello se evitan los errores que pueden producirse al trabajar con dos muestras diferentes⁴. No es necesario determinar la densidad del hormigón si solamente se desea verificar la razón agua cemento.

EXPERIENCIAS

Para verificar la aplicación y exactitud del método, se desarrolló un trabajo experimental que se describe en las líneas siguientes.

Obtención del agua por secado

Registrada la masa de una muestra de hormigón fresco de composición conocida (7 a 8 kg), se obtiene el contenido de agua por evaporación secando la muestra en un mechero, Fig. 1. Ejerciendo una constante revoltura, para lograr un secado homogéneo y evitar el endurecimiento de la mezcla, se finaliza la operación cuando (según norma DIN 1048) ya no se observan partículas aglomeradas.

La cantidad de agua, obtenida por diferencia de pesadas entre el hormigón



Fig. 1. Secado del hormigón

fresco y seco, fue siempre mayor que la real. Esta diferencia se debe, principalmente, a la humedad que absorbe el cemento del ambiente⁵. En efecto, muestras de cemento sometidas a temperaturas de 110°C acusaron pérdidas de peso del 1.0 al 1.3%. A mayores temperaturas, el cemento continúa perdiendo peso, por lo que conviene tener presente este factor para no exagerar el secado o efectuar las correcciones necesarias.

Algunos autores⁶ señalan que el secado debe finalizar cuando los áridos se noten superficialmente secos (condición saturada superficie seca), pero los ensayos mostraron que ello no es posible porque, durante el secado, los áridos grueso y fino no alcanzan dicha condición al mismo tiempo. Posteriormente se observó que un buen índice para suspender el secado es que ya no aparezca humedad en la plana que se emplea para revolver el hormigón, al introducirla en la mezcla.

La operación dura alrededor de 25 minutos, dependiendo de la fuente de calor y la cantidad de agua a evaporar.

Después de enfriar la muestra se registra la masa del hormigón seco. Si el enfriamiento se prolonga mucho, el cemento absorbe nuevamente la humedad del ambiente. Por ello, es preferible apresurar el enfriamiento refrigerando la palangana con agua y corregir, posteriormente, la humedad del cemento*, con lo que se logra, además, disminuir la duración del ensayo.

* Se ha denominado humedad del cemento a la pérdida de peso que experimenta este material a 110°C.

Algunas experiencias efectuadas indicaron que el secado se puede realizar hasta 4 horas después de confeccionado el hormigón. Pero este aplazamiento perjudica el tamizado húmedo de la muestra, al quedar adheridas pequeñas capas de mortero fino en el árido grueso de textura más rugosa, que no se desprenden durante el lavado.

Tamizado húmedo del hormigón

Mediante lavado de la muestra, a través del tamiz ASTM N° 100, se elimina la fracción fina < 0.149 mm (cemento + finos). Para separar el árido grueso, se incorpora al ensayo un tamiz ASTM N° 4, Fig. 2. Después de un lavado cuidadoso y prolongado, los áridos gruesos (fracción > 4.76 mm) y fino (fracción $0.149/4.76$ mm) se secan separadamente y finalmente se registra su masa.

El contenido de finos de la fracción < 0.149 mm se determina en ensayo aparte, también por tamizado húmedo de una muestra de árido.



Fig. 2. Tamizado húmedo del hormigón.

Algunos autores^{9,10,11} recuperan la fracción fina separada por tamizado húmedo y por diversos procedimientos (físicos, químicos, etc.) separan el cemento de los finos. Estos métodos, de técnicas más sofisticadas, generalmente impiden un completo lavado del hormigón al restringir el agua para la operación y son poco aplicables al control de obras.

El tamizado húmedo dura alrededor de 15 minutos y al finalizar el lavado puede quedar retenida una fracción de cemento (0.1 a 0.3% de su peso) que no se considera en las correcciones. Ensayos de hormigones con áridos sin contenido de finos indicaron que el error que se comete

en el cálculo de a/c por este concepto es muy pequeño, sobre todo si se compara con los que resultan de pesadas defectuosas, pérdidas de material o tamizado incorrecto de los áridos grueso y fino por el tamiz N° 4.

En los ensayos con secado diferido en más de 2 horas, la cantidad de cemento obtenida resultó menor que la real debido al mortero fino adherido al árido más grueso.

Determinación de las constantes

Para el cálculo de la razón agua cemento se deben conocer algunas características de los materiales componentes del hormigón. La más importante de ellas, por

su influencia en los resultados y por ser la más inestable de las constantes que aquí se mencionan, es el contenido de finos < 0.149 mm de los áridos. El porcentaje de finos se determina utilizando el mismo equipo del ensayo y en la forma usual de lavado. Esta constante debe verificarse con cierta frecuencia, para evitar errores en la determinación de los áridos.

La absorción es una propiedad de los áridos, cuya determinación no exige mayores comentarios. Se aplican los mismos valores obtenidos para el diseño y fabricación del hormigón.

El porcentaje de humedad del cemento, referido a la muestra inicial (húmeda), se obtiene por secado a 105° - 110°C. No es necesario determinar periódicamente la humedad de las partidas almacenadas, porque el agua captada por el cemento aumenta muy levemente.

Cálculo de la razón agua cemento

La relación agua cemento a/c se obtiene a partir de las siguientes igualdades:

$$G_o = R_L / (1 - \bar{f}_R) + F_L / (1 - \bar{f}_F)$$

$$a_o = [R_L / (1 - \bar{f}_R)] \cdot \bar{a}_R + [F_L / (1 - \bar{f}_F)] \cdot \bar{a}_F$$

$$a/c = [P_h - P_o - h_c (P_h - G_o) - a_o (1 - h_c)] / (P_o - G_o)$$

En que:

G_o = árido total de la muestra, kg.

R_L y F_L = fracciones gruesas del árido > 4.76 mm y fina 0.149/4.76 mm, obtenidas por tamizado húmedo del hormigón, kg.

\bar{f}_R y \bar{f}_F = contenido de finos < 0.149 mm de los áridos grueso y fino, expresados como unidad.

a_o = agua de absorción del árido total, kg.

\bar{a}_R y \bar{a}_F = absorción de los áridos grueso y fino, expresadas como unidad.

h_c = humedad del cemento determinada a temperatura de 105° - 110°C.

P_h = masa de la muestra de hormigón fresco, kg.

P_o = masa de la muestra secada en mechero, kg.

Si se determina la razón agua cemento solamente para verificar el cumplimiento de especificaciones, es posible que la corrección por humedad del cemento no tenga mucha importancia. Si ella se omite, se obtienen valores mayores de a/c , o sea, se está por el lado de la seguridad.

Si no se efectúa dicha corrección se puede aplicar la igualdad 3, simplificada:

$$a/c = (P_h - P_o - a_o) / (P_o - G_o)$$

Resultados obtenidos

Se efectuaron ensayos con hormigones de composición conocida (incluyendo

contenido de finos), en los que se emplearon cementos de grados corriente y alta resistencia.

La razón agua cemento se obtuvo con un error de, aproximadamente, 0.02 y en ensayos diferidos de secado en más de 2 horas, el error fue mayor.

RECONSTITUCION DE LA COMPOSICION DEL HORMIGON

Si se conoce la densidad aparente ρ_a del hormigón fresco compactado, es posible obtener las cantidades aproximadas de sus componentes por m^3 de hormigón.

La composición del hormigón fresco compactado resulta de las siguientes expresiones:

$$C = \frac{P_o + h_c - G_o}{P_h} \cdot \rho_a \quad \text{o bien} \quad C = \frac{P_h - (G_o + a_o)}{(1 + a/c) P_h} \cdot \rho_a$$

$$A = C \cdot a/c$$

$$G = (G_o/P_h) \rho_a$$

Donde:

C = cantidad de cemento por m^3 de hormigón, kg.

A = agua de amasado por m^3 de hormigón, kg.

G = árido total por m^3 de hormigón, kg.

ρ_a = densidad aparente del hormigón fresco, kg/m^3 .

La densidad ρ_a puede obtenerse midiendo el volumen compactado de la muestra que se ensaya pero, por ventajas de operación y economía de tiempo, es preferible obtenerla de otra porción representativa del mismo hormigón.

CONCLUSIONES

Por secado y tamizado húmedo de una muestra de hormigón fresco se puede obtener la razón agua cemento con una precisión de 0.02. El ensayo dura, aproximadamente, una hora, tiempo que depende, principalmente, del tamaño de la muestra, equipo empleado y destreza del operador.

No es recomendable diferir el secado del hormigón en más de 2 horas, porque este aplazamiento perjudica el ensayo posterior de tamizado húmedo, al quedar mortero fino adherido al árido grueso de textura más rugosa.

El secado debe finalizar cuando se elimina la humedad de todos los componentes del hormigón. Un buen índice para interrumpir el secado, es que ya no aparece humedad en la plana, al introducirla en la mezcla.

Si no se corrige la pérdida de peso que experimenta el cemento durante el secado, se obtiene un valor mayor de a/c que el real. En algunos casos, p.ej. en el control de a/c para verificar cumplimiento de especificaciones, dicho error puede no tener importancia, porque está por el lado de la seguridad.

Para el cálculo de la razón agua cemento se necesita conocer algunas características de los materiales empleados. La más importante es el contenido de finos < 0.149 mm de los áridos. Esta constante, que se determina por tamizado húmedo en ensayo separado, debe comprobarse con cierta frecuencia.

Si se conoce la densidad aparente del hormigón fresco compactado, se puede reconstituir, en forma aproximada, su composición por m^3 .

Limitaciones: El método presenta inseguridad en su aplicación cuando se utilizan áridos que sufren desgaste o trituración durante el mezclado en la betonera o cuando éstos tienen mucho contenido de finos segregables.

Si para mejorar granulometrías se mezclan arenas de diferente contenido de finos, durante el ensayo no es posible separar dichos áridos, lo cual puede inducir a errores si la mezcla de las arenas fue aplicada incorrectamente.

No se confeccionaron hormigones con aditivos (plastificantes, fluidificantes, etc.). Por ello, se desconoce la validez de este método para dicho tipo de hormigones.

BIBLIOGRAFIA

1. LAMANA, A., ETEROVIC, D. y APARA, A. Ensayos acelerados del hormigón. *Revista del IDIEM*, vol. 11, n° 2 (1972), pp. 59-92.
2. MATULIC, M. *Análisis del hormigón fresco*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago 1975.
3. PAVEZ, W. *Estudio experimental del hormigón fresco. Control de la calidad del hormigón por medio del valor a/c* . Memoria para optar al título de Constructor Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago 1979.
4. BLISCHKE, W. Fehlermöglichkeiten beim Thaulow - Verfahren (Errores que se pueden cometer con el método Thaulow). *Beton* 6/1979 (junio 1979), pp. 215-216
5. OSSA, M. Influencia de la edad y del tipo de almacenamiento en los cementos chilenos. *Revista del IDIEM*, vol. 13, n° 2 (1974), pp. 83-104.
6. WALZ, K. Prüfung der Zusammensetzung des Frischbetons. Frischbetonanalyse (Determinación de la composición del hormigón fresco. Análisis del hormigón fresco). *Beton* 7/1977 (julio 1977), pp. 262-287.
7. WERSE, H-P. Vergleich verschiedener Verfahren zur Bestimmung des Wasserzementwertes (Comparación de diversos métodos para determinar la razón agua cemento). *Beton und Stahlbetonbau* 9/1970, pp. 222-226.
8. DUNAGAN, W.M. A method of determining the constituents of fresh concrete. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 26 (diciembre 1930), pp. 202-210.
9. RUIZ DE GAUNA, A. y CALLEJA, J. Métodos de análisis del hormigón fresco. *Monografía del Instituto Eduardo Torroja*, n° 320 (julio 1974).
10. BAVELJA, R. A rapid method for the wet analysis of fresh concrete. *Concrete*, vol. 4, n° 9 (septiembre 1979), pp. 351-353.
11. MURDOCK, L. The determination of the properties of concrete. *Cement and lime manufacture*, 21 (1948), n° 5, pp. 91-96.