

algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado

CARLOS ARCOS d'HAINAUT, Investigador IDIEM

684 - 7

sinopsis

Se presenta una recapitulación de los hormigones con aire incorporado. Se resumen algunos puntos fundamentales de los mecanismos y factores que influyen en la incorporación de aire, así como sus principales efectos en las propiedades del hormigón.

INTRODUCCION

Hace ya cerca de cuarenta años se observó que algunas zonas de una carretera ubicada en un clima frío de los EE. UU. resistían en mejor forma que otras a la acción de la intemperie, particularmente a la desintegración producida por el congelamiento del agua en el hormigón endurecido. Fue un descubrimiento fortuito el que dio el primer paso a la investigación y posterior utilización racional de los hormigones con aire incorporado. Hoy día se conoce bien su técnica de fabricación, los

factores en los que influye y sus efectos. De todos los hormigones especiales, los que contienen aire incorporado se encuentran entre los más empleados; puede ser porque no varían fundamentalmente las condiciones de fabricación con respecto a la de los hormigones tradicionales, añadiéndoles una cualidad importantísima: la durabilidad.

En general, en casi todas las obras corrientes de hormigón puede emplearse hormigón con aire incorporado, como, por ejemplo, pavimentos de carreteras y aeropistas, obras viales, marítimas e industriales (aparte de considerar la acción química), hidráulicas y edificación en general. Su empleo es particularmente recomendable en todos los casos en que el hormigón va a estar sometido a la acción de la intemperie o climas artificiales fríos con temperatura extrema inferior a 4° C.

EL AIRE EN EL HORMIGON

El aire en el hormigón es un agregado que entra como componente del hormigón, además de los básicos cemento, agua y áridos. Este aire puede encontrarse como elemento accidental —aire atrapado— o como elemento intencional —aire incorporado—.

Todos los hormigones contienen cierta cantidad de aire

ocluido, el cual no aporta características favorables, sino que, por el contrario, desmejora el hormigón en algunos aspectos, ya que produce porosidades, canalículos y vacíos. Ellos pueden interconectarse entre sí, produciendo un hormigón más permeable y, por lo tanto, más propenso a ser destruido por ataque de agua, aguas agresivas y congelamiento del agua. La formación de estos vacíos puede ser influenciada por la forma del árido, la dosis de cemento, las proporciones de la mezcla, la razón agua-cemento y por los métodos de compactación (1), (2), (3), (4). Si confeccionamos un hormigón que cumpla con la condición de ser una mezcla aceptable, el aire ocluido puede ser eliminado en gran parte por una eficiente compactación, llegando a valores normales de alrededor de 1 % en volumen.

El aire adicionado intencionalmente participa en el hormigón como otro agregado de la mezcla, agregado que cambia las características tanto del hormigón fresco como del hormigón endurecido. La incorporación de aire parece tener mayores ventajas que desventajas. Es así como en países de tecnología avanzada casi no se conciben los hormigones sin aire incorporado.

El aire incorporado son burbujas de aire de tamaño pequeño y variable, aproximadamente de 25 a 250 μm , contenidas y repartidas uniformemente en la masa, que permanecen estables en el hormigón fresco y endurecido, proporcionando características definidas.

Estas burbujas se producen por disminución de la tensión superficial del agua mediante un agente que promueve su formación y permite su esta-

bilidad durante el proceso de fabricación, fraguado y endurecimiento (5), (6), (7).

Como agente incorporador de aire podemos añadir un aditivo durante la fabricación del hormigón. Podríamos pensar que para cumplir los requerimientos en cuanto a cantidad de aire basta sólo introducir el aditivo. Pero el problema no es tan simple. A diario podemos ver con cuántas dificultades se encuentra una obra de hormigón tradicional para cumplir las exigencias. En este caso el problema se agudiza, ya no son sólo los factores más conocidos los que nos hacen variar la calidad del hormigón. Ellos se han multiplicado. En todos los hormigones se exige, por una parte, resistencia, y ahora, por otra, cantidad de aire. Los factores de los cuales éstas dependen son muchos, algunos de los cuales trataremos de exponer.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CANTIDAD DE AIRE INCORPORADO

Aditivo

La naturaleza y composición del aditivo influye sobre la cantidad de aire incorporado, el tamaño de las burbujas, su espaciado, su estabilidad en la masa y su resistencia elástica para conservarse y permanecer en el hormigón. También puede ser más o menos sensible a reaccionar con alguno de los compuestos del cemento, con el agua, con los áridos, con otros aditivos, y aun con impurezas orgánicas presentes generalmente en los áridos.

Por otra parte la dosis de aditivo influye en forma directa y proporcional, con ciertos límites, en la cantidad de aire incorporado. Para una mezcla dada el aumento de la dosis de aditivo incorpora mayor cantidad de aire. Cada aditivo posee un límite máximo después del cual cualquier aumento en la dosis no refleja una mayor cantidad de aire incorporado (5), (7), (8), (9), (10), (11).

Cemento

Los cementos pueden tener diversas proporciones en sus componentes fundamentales y muy variadas características. Su naturaleza influye en la cantidad de aire incorporado

desde el punto de vista de los compuestos, como sulfatos, álcalis y puzolanas. La finura influye de tal modo que cementos más finos incorporan menos cantidad de aire. El aumento de la dosis de cemento incorpora también menor cantidad de aire porque el hormigón es entonces más cerrado y su porosidad disminuye (1), (2), (3), (5), (9), (12).

RAZON AGUA-CEMENTO

La relación agua-cemento influye no sólo en la cantidad de aire incorporado sino también en la distribución de las burbujas, su tamaño y su estabilidad en el hormigón. Su influencia está relacionada en forma directa y proporcional. A mayor relación agua-cemento, mayor es el contenido de aire incorporado, para un máximo en hormigones de consistencia blanda. En mezclas muy secas es más difícil incorporar aire, o más bien puede formarse aire accidental. En mezclas muy fluidas se obtendría aire incorporado inestable, las burbujas se distribuirían en forma irregular en la masa y la compactación facilitaría que éstas escaparan del hormigón (5), (6), (13), (14).

Aridos

Los áridos, ya sea fino o grueso, influyen de manera importante en la cantidad de aire incorporado.

El árido fino influye principalmente según su forma y granulometría. Algunas investigaciones (5) han demostrado que cierto tamaño de partículas son las que ayudan a incorporar más aire. Las arenas con grano muy fino se comportan en forma similar a un aglomerante haciendo que el hormigón resultante sea más compacto.

El comportamiento del árido grueso y su influencia es algo diferente.

Si pensamos que el aire está contenido en el mortero, y que para obtener una mezcla bien dosificada el hormigón debe contener cierta cantidad de mortero por m³ de hormigón elaborado, puede demostrarse que cuando aumenta el tamaño máximo del árido, mayor es su volumen compacto (de ahí el por qué se utiliza el mayor tamaño máximo posible para hacer más econó-

micas las mezclas) y, por lo tanto, menor será el contenido de mortero por m³ de hormigón y menor el contenido de aire del hormigón. Es la misma razón por la que las normas recomiendan cierto contenido de aire según sea el tamaño máximo del árido que se use.

Si la protección del hormigón confeccionado con áridos no porosos se consigue con burbujas de aire contenidas en el mortero, y a mayor proporción aire-mortero se obtiene mejor protección, se plantea por qué el aire incorporado se especifica en el hormigón. La explicación más obvia es que lo que se fabrica es el hormigón y resulta prácticamente difícil medir el aire incorporado del mortero del hormigón; se puede sí, conociendo la composición del hormigón, calcular el aire incorporado del mortero.

Si dos hormigones contienen la misma proporción de aire, es posible que uno de ellos sea más resistente a los agentes externos. Aún puede producirse el caso de que un hormigón contenga menos aire incorporado que otro y, en cambio, ofrezca mejor protección. La explicación está en que el hormigón que contiene menos aire incorporado posee una proporción aire-mortero que lo hace más resistente a los agentes externos.

También es falso suponer que disminuyendo el tamaño máximo del árido grueso se obtiene mejor protección por aumentar el contenido de aire del hormigón. Es cierto que aumenta este contenido de aire, pero eso no significa que haya aumentado el contenido de aire del mortero; aumentó sí la proporción mortero-hormigón.

Se puede concluir que el árido grueso se comporta solamente como desplazador de volumen en el hormigón; de ahí que, según sea el tamaño máximo del árido, se recomienda un contenido de aire incorporado mínimo en el hormigón para protegerlo suficientemente (3), (5), (15).

MEZCLADO Y COLOCACION

El modo, energía y tiempo de mezclado, el tipo de mezcladora y el volumen de hormigón amasado son algunos de los factores que pueden influir en el contenido de aire incorporado. La cantidad de burbujas debe variar durante el mezclado, tendiendo a desaparecer las más grandes. En el hormigón premezclado el contenido de aire puede disminuir después de cierto tiempo. Con las características fijas del mezclado puede determinarse el tiempo óptimo para obtener la mejor proporción de aire incorporado.

El tiempo transcurrido entre el amasado y la colocación influye en la cantidad de aire, ya que éste puede disminuir por disolución de las burbujas; lo mismo ocurre con el

tiempo de vibrado. Cuando es necesaria una vibración muy prolongada, las burbujas, especialmente las de tamaño mayor, tienden a escapar aumentando la densidad y disminuyendo la cantidad de aire incorporado (1), (5), (9), (13), (16).

EFFECTOS DEL AIRE INCORPORADO EN EL HORMIGON

Son diversos los efectos que produce el aire incorporado, tanto en el hormigón fresco como en el hormigón endurecido. Los principales actúan sobre la docilidad, la durabilidad y la resistencia. Otros son generalmente consecuencia de éstos (1), (4), (5), (9), (10), (11), (16), (18), (19).

Docilidad

El aire incorporado mejora la docilidad del hormigón fresco. Las burbujas se comportan como un agregado pétreo «elástico», reemplazando los granos de arena muy finos, o agregando dentro de la granulometría total de los componentes del hormigón cierto tamaño comprendido entre los granos de cemento y los de la arena. Esto permite, al trabajar hormigones con aire incorporado, una reducción en la cantidad de arena, un mejoramiento de las características reológicas del hormigón fresco, con lo cual es posible disminuir la demanda de agua para obtener igual trabajabilidad. También se reduce la exudación y la segregación. Su efecto es más significativo en mezclas pobres (1), (4). La consecuencia del aire incorporado sobre la docilidad es una coincidencia favorable, pero no la principal. El agregar un agente incorporador de aire no se debe hacer para

obtener un hormigón más trabajable; su efecto más importante es sobre sus características de durabilidad.

Durabilidad

El efecto del aire incorporado sobre la durabilidad está bastante comprobado (1), (5), (9), (17), (20), (21). Los hormigones con aire incorporado poseen mejor comportamiento a la acción producida por los ciclos de hielo y deshielo. Las burbujas de aire repartidas en la masa cortan la red de capilares actuando como cámaras de expansión, donde el agua al congelarse puede aumentar su volumen sin producir tensiones internas. Las burbujas mejoran la impermeabilidad, reducen la absorción y la ascensión capilar de los líquidos. La incorporación de aire permite trabajar con relaciones agua-cemento bajas, de manera que la permeabilidad disminuye ya que las burbujas distribuidas en el hormigón forman una red de canales estanca. Así, el mejoramiento de la impermeabilidad del hormigón hace aumentar la resistencia a las heladas y al ataque de aguas agresivas.

Resistencia

Comprobamos, por las numerosas investigaciones y por la infinidad de datos analizados en ellas, que la resistencia del hormigón varía en forma inversa con la relación agua-cemento.

Para una relación agua-cemento determinada, la resistencia del hormigón variará con el

porcentaje de aire incorporado. Cuando aumenta la cantidad de aire, decrece la resistencia del hormigón. La razón está dada por una disminución de la sección real producida por las burbujas de aire y por una concentración de tensiones en la zona de la burbuja. La magnitud del decre-

cimiento de la resistencia también depende de la forma de las burbujas, promoviendo para cierto tipo de burbuja la propagación de fisuras en el hormigón que reducirán su resistencia (17), (18).

El aire incorporado en el hormigón con dosis de cemento constante permite reducir la cantidad de agua, con lo que se reduce la relación agua-ce-

mento. Así es entonces cómo la reducción de resistencia producida por el aire incorporado es compensada en parte por el aumento de resistencia debido a la disminución de la relación agua-cemento.

1. AMMANN, A., «Le béton à air occlus». Revue Sika, núm. 14, junio 1952.
2. BUREAU OF RECLAMATION, «Manual Norteamericano del Hormigón», Dossat, Madrid, 1952.
3. HUMMEL, A., «Prontuario del hormigón». ETA, Barcelona, 1966.
4. DE LA PEÑA, C., «La docilidad del hormigón y su medida». Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1951.
5. VENUAT, M., «Adjuvants et traitement des mortier et bétons». Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques, París, 1971.
6. IBRACON, Instituto Brasileiro de Concreto, «Aditivos para concreto massa». Coloquio Paraguayo Brasileiro sobre tecnologia de concreto massa, julio 1974.
7. CALLEJA, J., «Aditivos para el hormigón». Instituto del Cemento Portland Argentino, serie R, núm. 57, 1971.
8. GONNERMAN, H. F., «Test of concrete containing air-entraining portland cement or air-entraining materials added to batch at mixer». Journal of ACI Proceeding, vol. 40, núm. 10, junio 1944.
9. COMMITTE ACI-212, «Guide for use of admixture in concrete». Journal of ACI Proceeding, volumen 68, núm. 9, septiembre 1971.
10. RILEM COLOQUE, «Adjuvants des mortiers et bétons». Matériaux et Constructions, volumen 1, núm. 2, abril-mayo 1968.
11. VARIOS AUTORES, «Origin, evolutions and effects of the air void system in concrete», partes 1, 2 y 3. Journal of ACI, vol. 30, 1958.
12. WALKER, S., «Studies of concrete containing entraining-air». Journal of ACI, vol. 17, núm. 6, junio 1946.
13. HIGGINSON, E., «Some effects of vibration and handling on concrete containing entraining-air». Journal of ACI, septiembre 1952.
14. SCRIPTURE, E., and LITWINOWICS, F., «Some factors affecting air entraining». Journal of ACI, febrero 1949.
15. COMMITTE ACI-613, «Recommended practice for selecting proportions for concrete». ACI Manual of Concrete Practice, parte 1, 1972.
16. INGENIERIA INTERNACIONAL CONSTRUCCION. «Empleo del hormigón con aire arrastrado». Informe especial, septiembre 1950.
17. POPOVICS, S., «Effects of porosity on the strength of concrete». Journal of Materials, vol. 4, núm. 2, junio 1969.
18. MARTIN, B., and HAYNES, R., «Theoretical analysis of the effects of air voids in concrete». Journal of ACI, vol. 68, núm. 1, enero 1971.
19. RILEM-ABEM, «Colloque international sur les adjuvants des mortiers et bétons». Simposio Rilem-Abem, Bruselas, 1957.
20. KLIEGER, P., «Studies of the effect of entraining air on the strength and durability of concrete made with various sizes of aggregate». Portland Cement Association, Bulletin núm. 40, octubre 1952.
21. PEREZ PAHISA, M., «Los aireantes y aeroplastificantes protegen al hormigón contra las heladas». Revista Afinidad, volumen XXXV, núm. 259, septiembre 1968.

résumé

Quelques aspects des bétons à air occlus

Carlos Arcos d'Hainaut

Il s'agit d'une récapitulation des bétons à air occlus. On résume quelques points fondamentaux des mécanismes et des facteurs qui influent sur l'occlusion de l'air, ainsi que ses principaux effets sur les propriétés du béton.

summary

Some aspects of concretes with air inclusion

Carlos Arcos d'Hainaut

A recapitulation of concretes with air inclusion is presented. The basic points of the mechanisms and factors that influence the air inclusion are summarized, as well as their main effects on the properties of concrete.

zusammenfassung

Einige Gesichtspunkte bezüglich Betone mit Lufteinschlüssung

Carlos Arcos d'Hainaut

Es wird eine kurze Wiederholung in Bezug auf Beton mit Lufteinschluss präsentiert. Die grundlegenden Punkte der Faktoren und der Getriebeanordnungen, die die Lufteinschlüssung beeinflussen, werden zusammengefasst, wie auch ihre Hauptwirkungen auf die Betoneigenschaften.