

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

684 - 23. HORMIGONES AIREADOS.

(Air-entrained concrete)

T. Heilmann

De: "C.A.C.A. LIBRARY TRANSLATIONS", nº 45

- - -

Los hormigones aireados han despertado un enorme interés en los Estados Unidos desde su introducción en la construcción hace algo más de diez años. La razón fundamental es que, aparentemente, el aireado eliminaba de un modo radical las dificultades que los efectos de la helada planteaban al empleo del hormigón, muy particularmente en la construcción de carreteras. Por diversas razones, la industria europea del hormigón ha sido afectada mucho menos por este tipo de dificultades, y, por ejemplo, las carreteras de hormigón bien fabricado están generalmente exentas de daños causados por la acción de la helada. Por este motivo, los hormigones aireados van ganando terreno en los mercados europeos con mayor lentitud.

En un principio se utilizó exclusivamente como agente aireante la llamada resina Vinsol, que se fabrica refinando resina corriente de pino. Después han surgido otros muchos productos que tienen el mismo efecto.\*

---

\*) Véase Ultimos Avances en Materiales de Construcción, nº 20, - pág. 36 y 38, y pág. 45 de este número.

Los agentes aireantes disminuyen la tensión superficial del agua de amasado o de la pasta de cemento, con el resultado de que el aire que queda ocluido en el seno del hormigón durante el mezclado, queda distribuido en un número enorme de diminutas burbujas. Generalmente, se trata de conseguir un contenido de aire - de alrededor del 5%, referido al volumen de hormigón, pero en el caso de mezclas pobres puede ser algo inferior.

La diferencia entre el contenido de aire de un hormigón ordinario y el de un hormigón aireado es relativamente pequeña, - del orden del 2,5%, pero el tamaño de las burbujas es mucho menor, con lo que su número aumenta considerablemente. Puede fijarse el tamaño medio de estas burbujas en  $1/4$  mm. aproximadamente. Existen algunas mayores, pero hay muchas bastante menores. Suponiendo el mencionado tamaño medio de  $1/4$  mm., y un contenido de aire del 5%, habrá alrededor de 5 millones de burbujas de aire por litro - de hormigón, y la distancia media entre las mismas vendrá a ser - de  $3/4$  mm. En realidad, las burbujas se encuentran algo más próximas entre sí, pues hay que restar el volumen del árido.

A continuación, el autor estudia con mayor detalle el - efecto de las diminutas burbujas de aire, formadas por la acción de los agentes aireantes, sobre las distintas propiedades del hormigón, así como la influencia, sobre la cantidad de aire que queda ocluido, de distintos factores, como son: tiempo de amasado, vibración y otros tipos de compactación, temperatura del hormigón, etc.

Ya hemos indicado que los agentes aireantes aumentan la resistencia a la helada del hormigón. En el transcurso del tiempo se han dado varias explicaciones, más o menos complicadas, de cómo

la presencia de una multitud de diminutas burbujas de aire puede mejorar la resistencia a la helada. Aunque aun no se ha llegado a una opinión unánime, probablemente es correcta la siguiente hipótesis: el agua añadida durante el amasado estará presente en el hormigón, en parte, combinada químicamente en los diversos productos de hidratación del cemento, y, en parte, sin combinar. Solamente el agua que permanece libre es susceptible de congelarse, y, por lo tanto, es la única que supone un peligro para la resistencia a la helada del hormigón. Confirma esta afirmación el hecho de que, cuanto mayor es la relación agua/cemento, tanto peor es la resistencia a la helada del hormigón. Más aún, dicha resistencia aumenta con la edad del hormigón, esto es, según avanza gradualmente la hidratación del cemento, ya que esto significa una menor cantidad de agua libre.

Al congelarse el agua libre presente en el hormigón, se forman pequeños cristales de hielo que, en razón del aumento de volumen que suponen, originan unas tensiones de compresión de magnitud tal que dan lugar a la formación de pequeñas grietas locales. Cuando el hielo funde, estas grietas se llenan de agua, que cuando vuelve a helarse tiende a abrir más y más aquéllas.

En los hormigones aireados, las pequeñas burbujas de aire absorben y distribuyen las tensiones internas de compresión que se originan al congelarse el agua. La razón es que el aire contenido en las burbujas es bastante compresible en comparación con los restantes componentes del hormigón; esto quiere decir que pueden experimentar deformaciones considerables sin que aumente la presión en su interior. Por otra parte, se ha observado que penetra agua en las burbujas cuando se congela el hormigón.

Se comprende, pues, la importancia, no sólo de que existan burbujas de aire en el seno del hormigón, sino, especialmente, de que estén distribuidas de un modo regular, en un número enorme y relativamente próximas unas a otras; unas pocas burbujas grandes no tendrían efecto alguno. Cuanto menores son las burbujas - tanto mejor es el efecto de protección contra la helada que produce una determinada cantidad de aire.

El resultado de las investigaciones experimentales realizadas en los Estados Unidos a fin de determinar la resistencia a la helada de los hormigones aireados es sorprendente. Se comparó el comportamiento de placas de hormigón normal y de hormigón aireado, colocadas alternadamente en carreteras sometidas a la acción de la helada. Al cabo de seis años, el 36% de las placas de hormigón normal presentaba desconchados, mientras que ninguna de las 1.667 placas ensayadas de hormigón aireado presentaba desperfecto alguno.

El aireado mejora también considerablemente la docilidad del hormigón recién preparado, pues las pequeñas burbujas de aire actúan como un fino árido elástico de un tamaño medio de grano comprendido entre 0,1 y 1 mm. Estas burbujas son esféricas, es decir, poseen la forma más favorable para la docilidad. Poseen, además, una considerable elasticidad por razón de la tensión superficial, como si fueran pequeñas bolas de goma. Actúan, por consiguiente, como una especie de cojinete de bolas en el deslizamiento que tiene lugar entre los granos del árido durante la compactación del hormigón. Puede decirse que las burbujas de aire reducen el rozamiento interno del hormigón, esto es, disminuyen la fuerza precisa para mover unos granos respecto de otros.

La consecuencia práctica es que es posible disminuir - la relación agua/cemento, o emplear áridos más gruesos, sin que se reduzca la docilidad.

La tendencia del hormigón a exudar sobre su superficie una capa lechosa (bleeding), que consta principalmente de agua y pasta de cemento, y es mucho más rica en cemento y agua que el resto del hormigón, resulta bastante menor en los hormigones aireados. Esto se debe probablemente al hecho de que las burbujas de aire retienen de algún modo parte del agua sin combinar, de modo que ésta presenta una menor movilidad. Se supone en general que la tendencia a la formación de exudaciones reduce entre el 25 y el 50% respecto al hormigón ordinario. Esto supone generalmente una ventaja, pues disminuye el peligro de formación de grietas capilares. Pero debe tenerse presente que, al mismo tiempo, se evapora el agua en exceso que frecuentemente se presenta sobre la superficie del hormigón, y, por consiguiente, tiene una gran importancia proteger el hormigón aireado de una desecación excesiva durante el período inicial de endurecimiento. Esta menor tendencia a la exudación de los hormigones aireados puede dar lugar a dificultades cuando se emplean encofrados deslizantes, al faltar el efecto lubricante de dichas exudaciones.

El hormigón aireado tiene también una menor tendencia a la segregación. Así, puede ser transportado en camiones ordinarios a lo largo de unos cuantos kilómetros.

Hasta aquí hemos mencionado efectos beneficiosos del aireado sobre las propiedades del hormigón. Pero tiene un efecto contrario sobre una propiedad esencial: la resistencia. En igualdad de condiciones, el aireado reduce considerablemente la resistencia del hormigón. Como regla general, puede suponerse que ca-

da unidad por ciento de aire por encima del 2 ó el 3%, que es el porcentaje que contiene el hormigón ordinario, hace descender la resistencia en un 4 o un 5% aproximadamente. O sea, un hormigón aireado con un contenido de aire del 5% tendrá una resistencia entre el 10 y el 20% inferior a la del hormigón ordinario. Claro que este efecto perjudicial puede contrarrestarse. Por ejemplo, puede reducirse la cantidad de agua en un tercio de litro por litro de aire incluido en el hormigón, conservándose la misma docilidad. Puede también reducirse la cantidad de arena en 1,3 volúmenes por volumen de aire contenido en el hormigón. De este modo, parece posible conseguir un hormigón aireado con una resistencia de aproximadamente el 95% de la alcanzada en el hormigón ordinario en análogas condiciones.

En cuanto a la influencia del aireado sobre la adherencia del hormigón sobre la armadura se ha discutido mucho. Hay técnicos que afirman que permanece invariable, mientras que otros opinan que el aireado disminuye algo la adherencia. Debe tenerse presente que, por una parte, los hormigones aireados tienen una menor tendencia a la formación de exudados, lo que favorece la adherencia, pero, por otra parte, las burbujas que se encuentran en la interfase acero-hormigón la disminuyen.

Parece ser que la impermeabilidad del hormigón no es afectada por el aireado. Esto no es extraño, ya que las burbujas son pequeñas, discontinuas y esféricas. Por otra parte, el profesor Suenson ha demostrado que el flujo de agua a través de una masa de hormigón puede considerarse proporcional a la cuarta potencia del diámetro de los poros. De este modo, aunque el hormigón ordinario sólo contiene un 2 o un 3% de aire, y el hormigón aireado un 5%, como el diámetro medio de los poros en

éste es de  $1/4$  mm., y en aquél de alrededor de 1 mm., no resulta una diferencia apreciable en la permeabilidad.

Se supone en general que la retracción de los hormigones aireados es algo menor que la del hormigón ordinario, probablemente porque aquellos contienen, en igualdad de las restantes condiciones, una menor cantidad de agua.

Considera después el autor algunos factores que pueden afectar el contenido de aire del hormigón. Un gran número de experiencias parecen demostrar que el contenido de aire del hormigón fresco aumenta algo con el tiempo de amasado durante un período de hasta 5-10 minutos. Si se prolonga más el amasado, se reduce ligeramente el contenido de aire. Que el aumento de éste no sea indefinido se explica sencillamente porque llega un momento en que se agota el agente aireante y ya no pueden formarse más burbujas. El contenido de aire disminuye también algo con la vibración. Se supone que con los tiempos de vibración corrientes se escapa del hormigón de 0,5 a 1% de aire. Se resuelve esta dificultad aumentando el contenido inicial de aire del hormigón antes de someterlo a vibración. Al aumentar la temperatura disminuye en general el contenido de aire del hormigón, si bien debiera aumentar, ya que la tensión superficial del agua desciende al crecer la temperatura. Pero es que al mismo tiempo disminuye la viscosidad del agua, y el aire puede escapar del hormigón con mayor facilidad durante el amasado. Finalmente, influye también sobre el contenido de aire alcanzado la marca de cemento que se emplea, pero no está claro qué propiedades del cemento tienen importancia en este sentido; así, pues, la cantidad de agente aireante a utilizar debe ser determinada experimentalmente en cada caso.

En los Estados Unidos los hormigones aireados han encontrado un amplio campo de aplicación. Ya hemos mencionado su empleo en carreteras expuestas a la acción de la helada. También es interesante su utilización en presas y obras análogas de hormigón en masa. Como es sabido, en estas construcciones debe prestarse una especial atención a las tensiones que pueden originarse en el hormigón como consecuencia del calor generado durante el endurecimiento del cemento. Así, puede resultar extremadamente ventajoso que el hormigón contenga poros de aire que puedan amortiguar las tensiones originadas. Además, la mejor docilidad de los hormigones aireados permite emplear áridos relativamente gruesos, con lo que puede disminuirse la cantidad de cemento y, con ello, el calor engendrado. También se emplean con éxito los agentes aireantes en la fabricación de hormigones ligeros, que con frecuencia son difíciles de trabajar, y en la manufactura de hormigón premezclado (ready-mixed), disminuyendo de este modo el riesgo de segregación durante el transporte.

Los agentes aireantes pueden adicionarse por dos procedimientos: añadiéndolos directamente al hormigón en la hormigonera, o bien utilizando un cemento que se ha molido junto con el agente aireante. Los técnicos tienen distintas opiniones respecto a qué método es preferible.

Por una parte, parece más ventajoso el primer sistema, ya que cada tipo de trabajo requiere una proporción distinta de agente aireante. La cantidad óptima depende de los áridos, de la dosificación y de los productos a fabricar. Además, si se muele el cemento junto con el agente aireante, en determinadas circunstancias puede evaporarse éste a causa de la elevada temperatura que se establece en el molino. Pero, por otro lado, la adición del ai-

reante en la hormigonera exige un control bastante exacto, que si bien puede realizarse automáticamente, siempre supone una cierta complicación. En resumen, ambos procedimientos son válidos, y en cada caso particular deberá adoptarse el más adecuado a las circunstancias.

La cantidad de agente aireante que debe añadirse al cemento o al hormigón es del orden de 0,1 a 0,2 por mil, referido al peso del cemento, esto es, de 100 a 200 g. por tonelada de cemento.

El contenido de aire en el hormigón fresco puede determinarse por dos métodos: uno indirecto y otro directo.

En el método indirecto se determina la densidad del hormigón recién amasado. Es posible entonces calcular el contenido de aire a partir de las proporciones de la mezcla y del peso específico del árido.

La determinación directa del contenido de aire del hormigón se basa en el empleo de distintos aparatos, más o menos complicados (véase a este respecto Ultimos Avances en Materiales de Construcción, nº 13, pág. 64).

Debe tenerse en cuenta también que el empleo de los agentes aireantes resulta económico, y que su coste probablemente queda compensado por la cantidad de arena que se economiza.

Podría parecer que el tema que nos ocupa ha sido completamente investigado. No es así, sin embargo; faltan por estudiar más a fondo muchos puntos, y, sobre todo, se hace sentir la necesidad de lo que podría llamarse una "investigación básica".

No debe pensarse tampoco que la aireación es un remedio

mágico que permite prescindir de todo control en la fabricación del hormigón. Por el contrario. Si se desea aprovechar plenamente las ventajas que suponen los hormigones aireados, debe observarse un riguroso control de la naturaleza de los áridos, de las proporciones de la mezcla y de la relación agua/cemento.

L. S. C.

- - -