

# INSISTIENDO EN LAS IDEAS FUNDAMENTALES QUE PRESIDEN LA APLICACION PRACTICA DEL HORMIGON AIREADO

Por ANTONIO GETE-ALONSO DE YLERA,  
Ingeniero de Caminos.

*Presenta el autor un completo y documentado estudio sobre el hormigón aireado y sobre su empleo en la actualidad, precisando muchos datos de interés y abogando por la generalización de su empleo en nuestras obras.*

En mi último artículo sobre el hormigón aireado "La importancia del empleo del hormigón aireado en las obras en general", aparecido en la *Revista Ribagorzana* núm. 18, iniciaba una serie de trabajos, tendentes a ir dando a conocer a los técnicos de la construcción los artículos y estudios efectuados sobre el tema por diversos y eminentes ingenieros y especialistas extranjeros.

En el presente trabajo me complace hacer referencia y resumir gran parte de la conferencia dada en el Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics por M. Baroin, Ingeniero de Ponts et Chaussées, especialista en asuntos relacionados con la incorporación de aire al hormigón, principalmente encaminada a la utilización práctica del hormigón aireado.

Aun cuando se trata, fundamentalmente, de las ideas generales ya conocidas, que responden a la técnica bien definida del hormigón aireado, totalmente de acuerdo con nuestros escritos y publicaciones, creemos conveniente volver a insistir sobre las mismas, ya que apreciamos en España algún confusio-nismo a este respecto, fomentado por la propaganda exclusivamente comercial de algunos vendedores de agentes aireantes y productos de adición al hormigón.

A este mismo respecto, acabamos de leer un artículo aparecido en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de marzo último. "Los productos químicos de adición en hormigones de presas de embalse", firmado por el Ingeniero de Caminos D. José Martínez Rayón y el Ingeniero Diplomado de Zürich D. Willy Paul Hinneu, en el que se hacen afirmaciones categóricas sobre los agentes aireantes, totalmente en desacuerdo con la técnica conocida y experimentada del hormigón aireado, por lo que queremos salir a su paso, para evitar el error y la confusión que pudieran producir, máxime partiendo de una publicación de la solvencia técnica de nuestra REVISTA. El hormigón aireado ya tiene su experiencia en España de más de cinco años, y si no se ha extendido más ha sido por la inercia de nuestros técnicos y constructores a introducir inno-

vaciones, por lo que es preciso poner las cosas en su sitio y no echar por tierra los agentes aireantes para justificar el empleo de los plastificantes o aireantes-plastificantes que, si bien en algunos casos pueden tener aplicación concreta interesante, no entran claramente dentro de la técnica perfecta y definida de los agentes aireantes puros, siendo difícil satisfacer, en su mayor parte, las condiciones claras y bien concretas que se piden al hormigón aireado. Por consiguiente, en este estudio, y en su última parte, nos permitiremos comentar y rebatir aquellos datos dados en el artículo citado de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, que están en desacuerdo con la tan citada técnica y fundamentos del hormigón aireado.

Y pasamos a la conferencia de M. Baroin, siguiendo la misma ordenación en la exposición por él hecha, que tomamos del núm. 54 de los *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*.

## Algunas precisiones.

1.º Los resultados obtenidos por la adición de un agente aireante son debidos al aire mismo, a su forma (bolas) y a su repartición uniforme. En principio, son independientes del producto empleado, que no es más que el medio.

No obstante, la limitación exigida en la elección de los agentes aireantes proviene de la manera de obtener los resultados apetecidos, de una manera más o menos fácil, más o menos regular, y con una mayor o menor seguridad en su empleo industrial.

2.º Es necesario distinguir los tres siguientes tipos de productos: "aireantes", "plastificantes" y "mojantes".

Cuando hablamos de "aireantes", nos referimos claramente a la técnica de la incorporación de aire. Entre otras propiedades de estos productos está la de plastificar el hormigón, y por lo tanto, son también "plastificantes".

Los "plastificantes" tienen por finalidad hacer el hormigón más manejable, independientemente de

otras propiedades. Con frecuencia existen plastificantes que no son incorporadores de aire.

Por último, los "mojantes" permiten disminuir la tensión superficial del hormigón en su fase líquida. Con frecuencia incorporan aire y plastifican el hormigón, aun cuando no sean sus propiedades fundamentales.

Con frecuencia se confunden las ideas sobre los "aireantes", "plastificantes" y "mojantes".

Desde el momento que un producto ocasione la incorporación de aire en el hormigón, los métodos de empleo deberán ser los mismos.

Existe un aspecto, el relativo a la resistencia a la acción del hielo y deshielo, en el que no bastará incorporar al hormigón un 4 % de aire, ya que existen variaciones según la naturaleza del agente aireante que se emplee.

En una palabra, puede decirse que en materia de una mayor durabilidad, resistencia al hielo y deshielo, impermeabilidad, no higroscopicidad, etc., la incorporación de aire es una condición necesaria pero no suficiente. En materia de plasticidad, es una condición suficiente, pero no necesaria, pues hay plastificantes que no son incorporadores de aire.

3.<sup>a</sup> La incorporación de aire en el hormigón no debe considerarse como una panacea universal, capaz de ser la única solución a un problema dado.

Se puede, técnicamente, resolver una dificultad cualquiera (hormigón impermeable, utilizar el transporte con bomba, etc.) sin recurrir a la incorporación de aire; ahora bien, la incorporación de aire permitirá resolver el problema de una manera más económica.

También es preciso no exagerar la cuestión: un hormigón malo seguirá siendo malo con aire incorporado. No debe considerarse la incorporación de aire como una excusa para trabajar mal.

### **Recuerdo de las propiedades esenciales del hormigón aireado.**

Con vistas a su aplicación práctica, forman parte de dos grupos.

Las que interesan al hormigón fresco son: en la zona de reposo, la posibilidad de transporte sin segregación y la menor tendencia a la exudación, y en la zona de trabajo, la mayor facilidad de colocación.

Las que corresponden al hormigón endurecido son: menor higroscopicidad (el hormigón es menos susceptible de ser penetrado por el agua), menor permeabilidad (consecuencia del empleo de menor cantidad de agua y de la obtención de un hormigón más homogéneo), mayor estanqueidad (menos expuesto a la fisuración) y menor heladicidad.

### **Condiciones *a priori* que aconsejan el empleo del hormigón aireado.**

El proyecto de una obra de hormigón debe ser presidido por la idea de que "únicamente la resis-

tencia del hormigón no es un índice cierto de duración". Esta idea se impone actualmente cada vez más: la resistencia de un hormigón a los siete días, a los veintiocho o hasta los noventa, no tiene ninguna significación cierta en cuanto a su duración, a su resistencia a los ataques ulteriores. Es bastante inútil, y en todos los casos verdaderamente costoso, aumentar indefinidamente la resistencia, no contentándose simplemente con la resistencia definida en el proyecto, en la esperanza, mal fundada, de ganar a la vez en todas sus cualidades.

1.<sup>a</sup> *Resistencia a ciertos ataques del medio ambiente.* — En obras expuestas a la intemperie, construidas en terrenos agresivos, de alta montaña, sometidas al hielo, etc., el hormigón aireado puede ser una solución muy interesante.

2.<sup>a</sup> *Composición más económica.* — El ideal es responder a las exigencias del proyecto con el menor coste del hormigón. Con frecuencia, la consideración del empleo del hormigón aireado permite aprovechar agregados menos caros, más fáciles de obtener localmente.

3.<sup>a</sup> *Procedimiento de ejecución más económico.* Con frecuencia, la consideración del empleo del hormigón aireado en una organización de obras permite obtener algunas ventajas. Así, por ejemplo, el hormigón aireado puede fabricarse en una central y distribuirse sin segregación, por camión ordinario, a los distintos centros de trabajo. En un hormigonado de galerías puede fabricarse el hormigón aireado al exterior y luego distribuirse con vagonetas.

4.<sup>a</sup> *Solución de las dificultades de ejecución.* — A veces, con todos los materiales y características fijadas, se presentan dificultades porque el hormigón es poco manejable.

Desde luego, la incorporación de aire dará la manejabilidad conveniente, evitando la segregación.

Esto sucede en los casos de un hormigón fuertemente armado, de un transporte de hormigón, de un hormigonado con bomba, de desear obtener una mejora de rendimiento en las máquinas de que se dispone, etc.

5.<sup>a</sup> *Busca sistemática de la economía.* — Se presenta, a veces, el caso de que la obra marche perfectamente, no habiendo ninguna causa que haga indispensable el empleo del hormigón aireado. No obstante, se desea buscar la mayor economía.

Es, entonces, la suma de una serie de circunstancias (tiempo empleado en la puesta en obra del hormigón, gastos en potencia de vibración, desgaste del material, rendimiento de los materiales, etc.) las que producen una economía.

Según los países y la relación entre el coste del trabajo y del agente aireante, el interés económico de la utilización del hormigón aireado es mayor o menor. Esta es una de las razones por las que la difusión de esta técnica es tan grande en los Estados Unidos; en Europa forzosamente hemos de aproximarnos a una situación análoga.

## Condiciones generales de puesta a punto del hormigón aireado.

Es necesario admitir que las propiedades del hormigón aireado no están sujetas a discusión: se han establecido y han sido comprobadas por multitud de ensayos de laboratorio y experiencias prácticas de obras. El problema no es volverlas a descubrir, sino obtenerlas para aprovecharlas.

Gran número de autores indican que para hacer estudios de resistencia con garantía es preciso romper 24 cubos a cada edad, siendo conveniente dar gran importancia a los trabajos de laboratorio.

En la obra es preciso prolongar los ensayos bastante tiempo para juzgar debidamente las características del hormigón y eliminar la influencia de las irregularidades debidas al azar.

### Estudio de la composición del hormigón.

El llamado quinto ingrediente del hormigón influye en la necesidad de cambiar la composición del hormigón clásico. Es preciso estudiar esta composición con cuidado, para conseguir las mejores condiciones.

#### 1.ª FIJACIÓN DEL PORCENTAJE DE AIRE.

Vamos a indicar un cierto número de resultados de ensayos que muestran la influencia de la cantidad de aire incorporado en las diferentes propiedades del hormigón:

a) *Trabajabilidad*. — Aumenta notablemente con el porcentaje de aire incorporado, siendo mucho mayor el efecto con áridos de machaqueo que con áridos naturales.

b) *Permeabilidad*. — A medida que el % de aire incorporado aumenta, la relación agua/cemento disminuye. Cuanto menor es ésta, menor es la permeabilidad del hormigón.

c) *Heladicidad*. — La resistencia al hielo y deshielo se considera normalmente como un índice de la longevidad.

Dicha resistencia aumenta en el hormigón al aumentar el % del aire incorporado, hasta llegar a un máximo, que oscila alrededor del 4 % en los hormigones buenos y a mayor % en los peores.

d) *Resistencia*. — Como resultado de la experiencia de gran número de ensayos en numerosos laboratorios, se puede, por término medio, para un hormigón correctamente dosificado, comprobar la siguiente influencia de la incorporación de aire.

Para un hormigón fuertemente dosificado, con 400 Kg. de cemento, la pérdida de resistencia de un 2.5 % para cada 1 % de aire (10 % para 4 % de aire incorporado, aumentado en mayor proporción a partir de este porcentaje).

Para dosificación de 350 Kg. de cemento, una

pérdida de 1.25 % por cada 1 % de aire (5 % para 4 % de aire incorporado, aumentando en mayor proporción a partir de este porcentaje).

Para 300 Kg. de cemento, prácticamente se mantiene la resistencia del hormigón (a partir del 4 % de aire incorporado ya empieza a disminuir la resistencia).

Para dosificación de 250 Kg. de cemento, aumenta la resistencia en un 1.5 % por cada 1 % de aire (5 % para 4 % de aire incorporado, empezando a bajar el aumento para mayores porcentajes de aire, y disminuyendo la resistencia a partir del 7 % de aire), y

Para 200 Kg. de cemento por m.<sup>3</sup> de hormigón, la resistencia aumenta un 2.5 % por cada 1 % de aire incorporado (10 % para 4 % de aire, bajando dicho aumento para mayor porcentaje de aire y disminuyendo la resistencia a partir de un 8 %).

En consecuencia, y dentro del límite normal del 4 % de aire incorporado que se pretende alcanzar, se puede indicar que para dosificaciones de cemento de 300 Kg. o menos no es necesario tener en cuenta ninguna variación de la resistencia.

c) *Nota*. — En suma, el porcentaje óptimo del aire incorporado es siempre próximo al 4 %. Para el hormigón armado y la edificación será suficiente 3 a 3.5 %; para los hormigones no armados corrientes, y también en el caso en que se desee obtener resistencia al hielo y deshielo, se tomará un 4 %; en grandes masas (presas) y en los hormigones magros se podrá llegar hasta 5 a 6 %. En general, se necesita un mínimo del 2.5 % de aire para que aparezcan las propiedades características del hormigón aireado.

#### 2.ª COMPOSICIÓN ÓPTIMA.

Si en un hormigón de composición determinada (cemento, aire + arena, grava y agua), con una resistencia, asentamiento y trabajabilidad dadas, introducimos un 4 % de aire, en un m.<sup>3</sup> del hormigón aireado que se obtiene (téngase en cuenta que un metro cúbico del hormigón corriente se convertirá en 1.042 m.<sup>3</sup> de hormigón aireado) se tendrá las variaciones siguientes: la dosificación de cemento, disminuida en un 4 %; la proporción en mortero (cemento + agua + arena + aire), aumentada en un 4 % del volumen absoluto de la grava, y la proporción de ésta, disminuida; la resistencia, disminuida en un 4 % por cada 1 % de aire; el asentamiento, aumentado, y la trabajabilidad, muy aumentada.

Ahora bien, dentro de las diversas correcciones que podrían hacerse en el hormigón tipo empleado, la experiencia enseña que la mejor se obtiene disminuyendo la arena y el agua (lo mayor posible de agua y el complemento de arena), de forma que se mantenga constante la dosificación en cemento, la proporción en mortero y el asentamiento. La granulometría quedará un poco modificada (ya que el aire forma una especie de arena suplementaria), la resis-

tencia se conservará sensiblemente (en la mayoría de los casos), y la trabajabilidad aumentará.

En aquellos casos en que el hormigón tipo tuviese un exceso de resistencia sobre la exigida en el Pliego de Condiciones de la obra (por ejemplo, un 25 % ó más), resulta ventajoso no efectuar ninguna corrección en su composición, al introducir el 4 % de aire. Se gana un poco en cada componente, y principalmente sobre el cemento, y la resistencia, aunque más débil, sigue siendo suficiente.

*Notas sobre la trabajabilidad.* — M. Baroin trata aquí el interesante asunto de la diferenciación de "asentamiento" y "trabajabilidad".

El Cono de Abrams y la Mesa de Sacudidas, corrientemente empleados para apreciar la consistencia de un hormigón, dan indicaciones faltas de precisión. No se puede con ellos comparar dos hormigones de consistencia próxima en su aspecto relativo a la trabajabilidad.

Particularmente, en lo que a los hormigones aireados se refiere, se ha podido apreciar, después de gran número de observaciones, que a igual asentamiento un hormigón aireado es mucho más manejable que un hormigón corriente.

Para resolver dicha dificultad, l'Electricité de France preparó un nuevo aparato (que empleó para el control de los hormigones de la presa de Tignes), que llamamos Plasticímetro de M. Meynier, basado en el principio de los vasos comunicantes, y que permite apreciar perfectamente las diferencias de trabajabilidad entre dos hormigones de características muy parecidas.

### 3.ª DOSIFICACIÓN DEL AGENTE AIREANTE.

No se insistirá nunca bastante sobre que la *dosificación del agente aireante no puede fijarse más que experimentalmente*. Numerosos factores influyen en la cantidad de aire incorporado para una dosificación dada de agente aireante. Los vamos a descomponer en tres grupos: los materiales empleados y la composición del hormigón, las condiciones de trabajo, y la dosificación del agente aireante.

a) *Materiales y composición.* — La cantidad de aire incorporado depende de la naturaleza y granulometría de la arena; la arena que se presta menos a la incorporación de aire es la procedente de machaqueo y con polvo.

El autor representa y estudia diversas curvas granulométricas de la arena, comprobando que los tiempos menores de colocación del hormigón (manejabilidad) corresponden a la arena mediana, necesitando las arenas gruesas y muy finas mayores tiempos.

Es también dependiente de la dosificación de cemento: un hormigón rico en cemento necesita más cantidad de agente aireante, por unidad de peso de cemento, que un hormigón pobre, para incorporar la misma cantidad de aire.

Y también, cuanto más fluido es el hormigón, mayor cantidad de aire incorpora.

A continuación transcribimos los resultados de los ensayos efectuados por M. Meynier, en el laboratorio de Bourg-Saint Maurice, de l'Electricité de France, para el hormigón de la presa de Tignes.

*Cuadro de ensayo de distintos hormigones.*

Particularidades granulométricas — Por 100	*Dosifica- ción cemento polvo — Kg.	Agente aireante	Agua — Litros	Plasticidad	C — λ	Aire incorpo- rado — Por 100	90 días agua		100 ciclos hielo	
							Resistencia flexión	Resistencia compresión	Resistencia flexión	Resistencia compresión
							Kg./cm. <sup>2</sup>	Kg./cm. <sup>2</sup>	Kg./cm. <sup>2</sup>	Kg./cm. <sup>2</sup>
0 — 3:41	357	0	180,7	1,05	1,96	1,7	35,3	418	1,5	66
0 — 3:41	357	0,6	180,7	1,05	1,96	2,5	34,3	376	1,5	146
0 — 3:41	357	1	180,7	1,05	1,96	2,4	35,9	398	17,9	311
0,1 — 3:41	357	0,6	180,7	1,10	1,96	3,6	33,1	364	30,2	306
0,1 — 3:41	357	0,6	155,9	1,04	2,29	2,7	41,5	497	42,8	419
0,2 — 3:41	357	0,6	155,9	1,04	2,29	2,7	40,3	455	31,3	426
0 — 0,1: 1,2	357	0,6	155,9	1,04	2,29	1,9	41,5	475	35,6	435
0 — 0,1: 1,2	357	0,6	180,7	1,10	1,96	2,8	35,4	439	34,0	339
0 — 0,1: 1,2	357	1,2	180,7	1,10	1,96	6,6	30,8	290	27,0	267
0 — 0,1: 2	357	1,2	180,7	1,10	1,96	5	36,6	373	32,2	345
0 — 0,1: 4	357	1,2	180,7	1,04	1,96	2,8	36,6	396	28,1	346

Se estudiaron once hormigones diferentes (correspondientes a los hormigones de 250 mm. de tamaño máximo de áridos), de los que se había eliminado los elementos superiores a 50 mm. Los áridos procedían de piedra caliza machacada, de igual granulometría

discontinua, comprendiendo 59 %, de 15/50 mm. y 41 % de 0/3 mm. (en cuya parte se ha hecho variar la proporción de polvo en la forma que se indica en la primera columna del cuadro).

En dicho cuadro, salvo algunas anomalías, propias

de la dispersión y de los numerosos elementos de incertidumbre de todo ensayo, se comprueba todo cuanto acabamos de indicar. Fundamentalmente apreciamos lo siguiente:

La incorporación de aire, sin modificación de la composición del hormigón, disminuye la resistencia mecánica y aumenta la resistencia a las alternancias de hielo y deshielo.

La supresión del polvo en la arena (elementos inferiores a 0.1 mm.) aumenta el porcentaje de aire incorporado, para una misma cantidad de agente aireante, y con ello la plasticidad, y viceversa.

La disminución de agua (hormigón más seco) da menos aire incorporado (la misma plasticidad que en el hormigón tipo), mejorando la resistencia mecánica, que es superior a la del hormigón base no aireado, y también la resistencia al hielo y deshielo, que es excelente.

El llevar la supresión de los finos en la arena hasta 0.2 mm. no reporta ninguna mejora apreciable.

Una nota interesante, común a todos los resultados de la tabla, es el hecho de que la incorporación de aire es siempre menos desfavorable, o más favorable, a la resistencia a flexión que a la resistencia a compresión.

b) *Condiciones de trabajo.* — Influyen en el porcentaje de aire incorporado, para una misma cantidad de agente aireante:

El tipo y la capacidad de la hormigonera. El laboratorio, por esta causa, no puede con precisión indicar a la obra la dosificación de agente aireante a emplear.

El tiempo de batido puede también intervenir. A este respecto conviene exigir un agente aireante que sea insensible a la duración del batido, y

La temperatura, que tiene menos importancia. Cuando aumenta, la cantidad de aire disminuye.

c) *Dosificación del agente aireante.* — Deberá requerirse del agente aireante que sea poco sensible a los errores de dosificación. No deberá admitirse que la cantidad de aire incorporado sea proporcional a la cantidad de agente, dado el riesgo considerable que supondría un grave error de dosificación. Podrá resultar, en consecuencia, que un buen agente aireante no pueda utilizarse para preparar hormigón celular (30 % ó más de aire incorporado).

### Procedimientos de medida del aire incorporado.

Como resultado de todo lo indicado, se ve es fundamental conocer la cantidad de aire incorporado, y su medida es indispensable.

Existen prácticamente tres métodos para su determinación, que explica M. Baroin, y que no vamos a detallar por ser sobradamente conocidos, limitándonos a hacer un ligero comentario de los mismos.

*Método gravimétrico.* — Es solamente empleado en los laboratorios, ya que presenta ciertos inconvenientes, por tener que conocer muy exactamente el

volumen de las probetas y el peso específico de los componentes.

Con la sola observación del ejemplo que expone, se nota que un hormigón aireado con composición corregida es más pesado con un porcentaje igual de aire, que el no corregido. Las densidades comparadas son las siguientes:

Hormigón tipo, 2.4 Tm./m.<sup>3</sup>.

Hormigón con 4 % de aire corregido, 2.33 Tm./metro cúbico.

Hormigón con 4 % de aire, sin corregir, 2.304 toneladas/m.<sup>3</sup>.

*Método de presión.* — Basado en la ley de Boyle-Mariotte, es el más sencillo y práctico y es el más empleado. Existen para su medida diversos aparatos, que no difieren más que en los detalles de su construcción.

*Método volumétrico.* — Consiste en diluir un volumen conocido de hormigón fresco en agua y hacer escapar completamente el aire incorporado. Es un procedimiento complicado y no práctico, existiendo en Estados Unidos diversos modelos, de un aparato poco útil en obra, para su aplicación.

*Caso en que la medida sea prácticamente imposible.* — Para hormigones aireados extremadamente secos, relación C/A, superior a 2.5, más vale abandonar la idea de medir el aire incorporado, fiándose en gran parte del golpe de vista y de la costumbre de los técnicos.

### Prácticas operatorias y dificultades.

#### ENSAYOS DE LABORATORIO.

La dificultad, además de los diversos factores que influyen en el aire incorporado, viene también debida a que las reducciones de agua y arena pueden jugar en forma de retrasar la obtención del asentamiento deseado.

Prácticamente, así como es poco frecuente que se llegue con el primer ensayo al resultado buscado, es muy raro que se tengan que hacer más de tres amasadas.

#### ENSAYOS EN OBRA.

Se procederá, según los casos, con o sin corrección aproximativa.

Para fijar la dosificación de agente aireante, bastará añadir cantidades del mismo progresivamente crecientes. De esta forma, nunca tendremos más aire del deseado, y la marcha de la obra puede seguir durante los ensayos.

*Modo y lugar de adición del agente aireante.* — Suministrado normalmente en forma líquida, el agente aireante se añadirá a la amasada bien con el agua (es el mejor procedimiento), bien directamente en la hormigonera, o bien sobre la misma arena, midiendo la cantidad con una probeta graduada.

Estos productos se difunden muy rápidamente en la masa del hormigón.

*Medios de control.* — El control es indispensable y deberá hacerse con cuidado, siendo lo mejor emplear uno de los aparatos utilizados en el método de presión.

### Criterios de juicio.

Es muy importante definir los criterios sobre los que se juzgará el hormigón.

a) *Criterios técnicos.* — Son relativamente fáciles de fijar.

#### 1.º JUICIO DE CALIDAD.

Cuando se juzga la resistencia al hielo, la impermeabilidad, etc., hay que recurrir a ensayos de laboratorio, con probetas de hormigón de composición óptima, comparando los resultados con los obtenidos anteriormente en otros laboratorios. El resultado se expresará siempre cuantitativamente.

#### 2.º JUICIO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO.

En este caso es la obra quien juzga. Sin ser cuantitativa la conclusión, no por eso es menos cierta. En estos ensayos es preciso tener también la composición óptima del hormigón y haberlos hecho durante un tiempo suficiente.

b) *Criterios económicos.* — Son mucho más difíciles de evaluar, ya que sería necesario poder fijar los elementos del precio resultante.

Se compara el precio del agente incorporador de aire necesario con la suma de todos los beneficios que el mismo permita conseguir. Se tendrá en cuenta, por consiguiente, el rendimiento de los materiales (la mejora será en la arena únicamente o en el conjunto de los componentes del hormigón), el rendimiento de la mano de obra (en la colocación, acabado, etc.), la potencia consumida y los gastos de conservación de los equipos (vibradores, bombas, cubas de bloques, etc.).

Todos estos elementos son aisladamente muy difíciles de definir, por lo que, normalmente, no es posible apreciar el beneficio hasta terminar una obra o una parte de la misma. Normalmente se tiene una impresión de conjunto que permite convencerse del beneficio conseguido, aun cuando no pueda precisarse con exactitud.

El hormigón aireado no es una panacea universal, y siempre no es posible ganar en todo a la vez (resistencia, longevidad, trabajabilidad y precio de coste). Ahora bien, el resultado al que se llegará, por una apreciación más científica de las posibilidades ofrecidas por el aire incorporado, será, en definitiva, a una disminución del precio de coste de la construcción.

### Conclusión.

Los autores americanos consideran la incorporación de aire como un progreso sensacional; el mayor progreso realizado por la técnica del hormigón desde hace muchos años. Estiman que con la misma se pueden obtener propiedades en el hormigón que sería imposible conseguir de otra forma. Esto, desde luego, es una exageración.

Ahora bien, en toda obra que requiera un hormigón capaz de cumplir unas condiciones previamente fijadas, el objetivo principal es conseguirlas de la manera más económica. La longevidad de una obra puede también considerarse un elemento muy importante, y mejorarla no representará un inconveniente, en cuanto no suponga ningún gasto adicional. En cambio, hacer un hormigón más resistente de lo que sea preciso, lo que desde luego es costoso, y teniendo en cuenta que la resistencia no es el criterio absoluto de todas las cualidades, es, por descontado, inútil.

En definitiva, el mayor interés de la incorporación de aire, sin pretender en ningún caso que tenga el carácter de técnica irremplazable, es *permitir disminuir el precio de coste de la construcción, sin repercusión sensible en la resistencia mecánica del hormigón y mejorando su longevidad.*

Con esto damos por terminada la traducción y resumen sobre la interesante conferencia de M. Barroin, y vamos a pasar a comentar el artículo publicado en esta REVISTA por los Sres. Martínez Rayón y Paul Hinneu.

Los términos expuestos y consecuencias que se obtienen en dicha conferencia, totalmente de acuerdo con la técnica del hormigón aireado, creemos sirven bastante de base para el citado comentario, por lo que nos ha parecido oportuno relacionarlos, aun cuando ya con anterioridad teníamos preparado un artículo exclusivamente basado en aquella conferencia.

### Agentes aireadores puros en las presas de embalse.

Los agentes aireantes disminuyen directamente la higroscopicidad e indirectamente la permeabilidad, pero no podemos decir, de ninguna forma, que permiten la ejecución de los hormigones totalmente impermeables. En consecuencia, tampoco creemos puedan suprimirse en las grandes presas de gravedad las pantallas de paramento mejor dosificadas, los drenajes, etc.

Se habla de hormigones más ligeros, en obras en que se introduce un 2 a 3 % de aire, lo que, como máximo, supondría un aumento de aire de 1,96 a 2,91 % por m.<sup>3</sup> de hormigón producido, o sea una disminución de densidad de 2 a 3 %. Esta disminución solamente sería en el caso de no corregir el hormigón tipo, y ya hemos indicado que el caso más frecuente es reducir la arena y el agua, para que se conserve constante la dosificación de cemento, la

proporción en mortero y el asentamiento, con lo que aquella pequeña baja de densidad queda compensada total o parcialmente; además, la mayor compacidad y homogeneidad del hormigón aireado mejora aún dicha densidad, por lo que, en algunos casos comprobados, sacando probetas directamente de la obra endurecida, se logra alcanzar valores superiores a los del hormigón sin airear.

También se dice que sus resistencias mecánicas son más bajas. Esto tampoco es cierto, en hormigones aireados convenientemente dosificados, para sacar de ellos el mejor partido y con dosificaciones de cemento que no llegan a los 250 Kg./m.<sup>3</sup>, de acuerdo con lo que indicamos en este estudio y en las distintas publicaciones sobre este asunto.

Las especificaciones o criterios de aceptabilidad de los agentes aireantes a emplear en el hormigón, establecidas por la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.), no hablan para nada de que el volumen del hormigón aireado no sobrepasará en más del 10 por 100 al del hormigón normal, ni podrían hablar. La disminución de dicho volumen, como acabamos de indicar, es proporcional al % de aire incorporado (salvo en caso de ajuste de la mezcla), y ello supondría la incorporación de un 9.09 % de aire, que se sale fuera de las proporciones y límites de aplicación de los agentes aireantes.

Dichas especificaciones fijan que "el cambio de volumen por secado (retracción) del hormigón conteniendo el agente aireante objeto del ensayo, debería no ser mayor que el 110 % del correspondiente al hormigón sin aireante, en todas las edades".

Como consecuencia de dichas apreciaciones, se afirma categóricamente en el artículo que comentamos: "Podemos, pues, admitir como cosa experimentada y comprobada que el uso de aireadores reduce en un 10 % las resistencias mecánicas y también del orden del 10 % las densidades de los hormigones."

Una vez fijadas dichas premisas, se lanzan alegremente a calcular el encarecimiento que produciría, en una presa de gravedad de características establecidas, lo que llaman "el uso correcto del aireador puro". Basta analizar lo que indicamos anteriormente, y hasta en realidad conocer verdaderamente la técnica de la incorporación intencional de aire al hormigón, para que dichos cálculos queden sin fundamento alguno. No obstante, no queremos dejar de hacer algún nuevo comentario sobre los mismos.

Aun en presas de gravedad de alturas excepcionales (muy superiores a las del ejemplo), en que las cargas máximas de trabajo se hallen, con los coeficientes de seguridad convenientes, próximas o en los límites de la resistencia de los hormigones normales, son de empleo los hormigones aireados, y con más razón en el caso citado, en que las cargas máximas de trabajo a compresión son de 15.50 Kg./cm.<sup>2</sup>, lo que supondría un coeficiente de seguridad de 10 para hormigones de resistencia de 155 Kg./cm.<sup>2</sup>, valor

fácilmente alcanzable y rebasable. Es más, en dicho caso, y conforme se indica en la conferencia de M. Baroin, resultaría ventajoso no efectuar ninguna corrección en la composición del hormigón tipo: se ganaría, con ello, un poco en cada uno de sus componentes, y principalmente sobre el cemento.

A este mismo respecto, quiero indicar que en una presa de gravedad española de 125 m. de altura, con paramento de aguas arriba con talud de 0.05 y de aguas abajo de 0.70, y calculada para construir con hormigón normal, a pesar de su perfil algo atrevido y sin ninguna variación en el mismo, se ejecutó con hormigón aireado, empleando un agente aireante nacional que introducía un 2 a un 2.5 % de aire. En gran parte del cuerpo de la presa estaba prevista una dosificación de 180 Kg. de cemento Portland por metro cúbico de hormigón: pues bien, se mejoró sensiblemente la calidad del hormigón y se bajó la dosificación de cemento a 170 Kg., y el Ingeniero encargado, en algún caso en que se quería sin agente aireante, ponía en los partes, muy completos y detallados, de la marcha de la obra que enviaba diariamente a la Dirección: "Hemos de emplear 10 Kg. más de cemento por falta de aireante".

No creo que sean necesarios más comentarios a este respecto, ni al último párrafo de este apartado, del artículo que comentamos, en el que se dice que la utilización de aireadores puros representa un incremento del coste de la obra de un 8 %.

Las razones básicas indicadas hacen que se pueda emplear perfectamente el hormigón aireado en las presas que llaman estructurales. Si se emplea el hormigón aireado en estructuras, vigas de alternadores y elementos sometidos a elevadas cargas de trabajo, ¿cómo no se va a poder emplear en presas de cualquier tipo que sean? Es más, en las presas de pequeños espesores (comparadas con las de gravedad), resulta más interesante mejorar la impermeabilidad, la compacidad, la resistencia al hielo y deshielo, etcétera, condiciones que se consiguen con el hormigón aireado.

#### **Agentes plastificadores. — Aireadores en las presas de embalse.**

Fijada la conveniencia del empleo de los agentes aireantes puros en las presas de embalse, creemos no tiene ninguna justificación, salvo en algún caso especial, la utilización de los plastificantes-aireantes que resultan mucho más caros. Además, conforme hemos expresado en diversos artículos, y últimamente en el citado de la Revista *Ribaigorzana*, no creemos justificada la unión de dos productos con finalidades distintas.

Si es preciso llegar a un determinado tanto por ciento de aire incorporado, para aprovecharse de las ventajas particulares del hormigón aireado (mejora de la impermeabilidad, de la resistencia al hielo y deshielo, etc.), se necesita con frecuencia cantidades muy

elevadas de los agentes aireantes-plastificantes, a veces con escaso poder aireante. La introducción de dicho tanto por ciento de aire ha de producir, forzosamente, una casi fija pérdida de resistencia, aunque luego quede compensada por otras circunstancias (como sucede en el hormigón con agente aireante puro).

Además, antes de decidir la elección de un agente de carácter compuesto, deberán extremarse las precauciones, asegurándose de que el producto de que se trata no perjudica la calidad general del hormigón. En mi citado artículo ya indicaba, copiando frases del eminente Ingeniero Civil D. Alberto S. C. Fava, perteneciente a la Dirección del Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigaciones Tecnológicas (I.E.M.I.T.) del Ministerio de Obras Públicas de la República Argentina, que el hecho de la incorporación de aire es exclusivamente de carácter físico, sin la más mínima modificación de carácter químico en la estructura de la pasta, lo que sí sucederá cuando se agreguen productos plastificantes, aireantes-plastificantes u otros compuestos de carácter químico, que deberán estudiarse con cuidado.

Por todas estas circunstancias, vemos muy difícil asegurar que pueda conseguirse una economía nada menos que de 50 Kg. de cemento por m.<sup>3</sup> de hormigón, y aun así, en dosificaciones pequeñas como las que se emplean en las presas de embalse, muy aventurado el llegar a valores de 130 Kg. de cemento por m.<sup>3</sup> de hormigón (en un caso muy normal, como el que citábamos anteriormente de 180 Kg. de cemento). Y de no poderse obtener esta economía de cemento, el coste del agente aireante-plastificante encarecería enormemente la obra.

#### **Actualidad del empleo de los hormigones aireados.**

Con este mismo título encabezaba una de las últimas partes de mi citado artículo, "La importancia del empleo del hormigón aireado en las obras en general", aparecido en la Revista *Ribagorzana*, y el penúltimo párrafo del artículo de los Sres. Martínez Rayón y Paul Hinneu me obliga a volver a tratar el tema, reproduciendo alguna de sus partes, aunque lo más extractado posible.

En primer lugar comentemos la afirmación de "podemos asegurar que ha pasado ya la época de los aireadores puros en la construcción de las presas de embalse y estamos en la época de los plastificadores-aireadores".

La técnica de los hormigones aireados es tan clara y definida, obteniéndose unas mejoras tan concretas, que no vemos cómo puede asegurarse que los aireantes puros han pasado de moda. Cuando se nos demuestre que existen otros productos que hagan exactamente el papel de los mismos, con alguna mejora más y en condiciones más económicas, entonces será el momento de poder ir reemplazando el empleo de los aireantes puros.

La generalización del empleo de los hormigones aireados es grande en la mayoría de los países. En Estados Unidos de América, desde el año 1938, se han empleado y siguen utilizando en toda clase de zonas y climas, en obras de todo género y en millones de metros cúbicos de hormigón, en presas, diques, pavimentos y estructuras diversas, construidos por los principales organismos oficiales (Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Bureau of Reclamation, Puerto de Nueva York, etc.). En Argentina hay una serie importante de obras, construidas también a base de hormigón aireado. Y lo mismo en Suiza, Italia, Francia, España, etc.

En los Pliegos de Condiciones de las bases aéreas que construyen en España los americanos, se incluye un artículo en el que se indica que: "Todos los pavimentos de los campos de aviación deberán ser de hormigón aireado. El contenido de aire de la mezcla fresca no deberá ser inferior a 3 ni mayor de 6 %, cuando se le mide de acuerdo con los métodos de A.S.T.M. núm. C 138, C 173 ó C 231."

Conforme indicaba en el citado artículo de la Revista *Ribagorzana*, últimamente, en vista de la propaganda de los técnicos especialistas de algunas casas favorable a la eliminación de los agentes aireantes puros y al empleo de aireantes-plastificantes, solicité información a diversos países, que no hicieron más que confirmar "que los agentes puramente aireantes son los que se emplean de una manera general, y solamente en algunos casos particulares se utilizan productos plastificantes, mezclas de aireantes y plastificantes u otras combinaciones".

A mayor abundamiento, solicité información en agosto pasado al "American Concrete Institute", de los Estados Unidos, institución de gran prestigio mundial en materia de hormigones. En el artículo de la Revista *Ribagorzana* se copia textualmente la correspondencia cruzada. A mi pregunta sobre si los aireantes tipos habían quedado desplazados por otros, mezcla de aireantes y plastificantes, la contestación de Mr. Paul F. Rice, Director Técnico del citado Instituto, es la siguiente:

"Es cierto que algunos propietarios de productos intentan combinar agentes aireantes con materiales, a veces puzolánicos, finamente molidos, con el fin de plastificar una mezcla de hormigón. Además, algunos de dichos productos incluyen también combinaciones varias de retardadores y aceleradores. Es siempre posible que la mezcla de hormigón producida por un grupo dado de materiales para un proyecto determinado requiera la adición de la combinación de mezclas ofrecida precisamente por uno u otro de aquellos productos. En general, sin embargo, esto no es cierto. En la mayoría de los casos, un agente de único efecto es suficiente. No es cierto que aquellas mezclas multi-efecto hayan reemplazado el empleo de los agentes aireantes, tal como indica en su carta. Le interesará saber que los únicos productos para los



que la "American Society for Testing Materials" ha fijado normas son: 1.º, agentes aireantes; 2.º, *fly ash*. Las normas para la incorporación de aire son completamente generales, simplemente asegurando que las demás propiedades deseables del hormigón no son perjudicadas indebidamente por la incorporación de aire. *Fly ash* es un producto derivado de la combustión que actúa como un plastificante y, en suma, es ligeramente puzolánico en su reacción con el cemento. Las normas para el *fly ash* contienen a la vez limitaciones químicas y físicas y requisitos en el material propuesto para tal uso."

También, en el V Congreso de Grandes Presas, celebrado el pasado año en París, y del que daba cuenta nuestro ilustre compañero D. Enrique Becerril, Profesor de la Escuela de Caminos, en el número de esta REVISTA de agosto de 1955, quedó claramente definida la necesidad del empleo de los agentes aireantes puros en las obras importantes que se construyan de dicho tipo. Indicaba la gran importancia que se daba a la reducción del contenido de cemento, y agregaba: "Se consiguen estos resultados gracias a las mejoras de los cementos y mediante técnicas muy perfectas de dosificación de los áridos, especialmente por debajo de 1 mm., y simultáneo empleo de aireadores, cuyo uso puede decirse que se ha hecho general: en cambio no es frecuente el uso de otros productos ni el empleo de *sand cement*". La cantidad de aire solía oscilar entre el 1 y el 3 %.

Para terminar, y haciendo referencia al párrafo del artículo de los Sres. Martínez Rayón y Paul Hinneu, continuación del que acabamos de comentar, "al decir esto nos referimos a la situación fuera de España, pues dentro de nuestro país, por el retraso en los avances de la técnica, consecuencia del aislamiento comercial internacional que hemos padecido en los últimos años, puede decirse que estamos ahora en los balbuceos de los aireadores puros", manifestamos totalmente nuestra disconformidad y disgusto.

No admitimos, de ninguna forma, en los momentos actuales, hablar de un retraso en la técnica del empleo del hormigón aireado en España. Se han efectuado publicaciones en Revistas técnicas desde hace bastantes años; existe el *Manual del Hormigón*, publicado por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (traducido al castellano por D. Angel Sáenz de Heredia el año 1952), en el que se estudia el hormigón aireado, y en el año 1953, el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento editó su Monografía núm. 139, "Hormigones, morteros y pastas puras aireados. Características, condiciones particulares y aplicación práctica", redactada por el Ingeniero de Caminos autor del presente artículo. Existen agentes aireantes puros, de fabricación nacional, que se vienen empleando desde hace más de cinco años con resultados perfectos en las principales obras de hormigón, pudiéndose dar una extensa referencia de presas en las que se han utilizado, y de otras muchas obras, así como también de su utilización para la preparación de los hormigones celulares. Se conoce perfectamente la técnica de los agentes plastificantes y de los aireantes-plastificantes. Luego ¿dónde están los balbuceos? Como indicamos al principio de este artículo, si no está más generalizado el empleo de los hormigones aireados es por la resistencia de nuestros técnicos y constructores a variar la rutina de la dosificación que hacen desde hace muchos años.

Es preciso, en bien de la técnica y de las obras, que intentemos generalizar el empleo del hormigón aireado, pero no confundir a los que todavía no lo han empezado a utilizar y no profundizan mucho en estos estudios, limitándose a que la propaganda comercial se lo dé todo hecho.

No quiero terminar sin indicar lamentaría mucho molestar a nadie con este artículo, pero me he visto precisado a escribirle para evitar un posible confu-sionismo.