

LOS HORMIGONES CON PRODUCTOS QUIMICOS DE ADICION, EN LAS OBRAS

Por JOSE MARTINEZ RAYON

Ingeniero de Caminos

y GUIDO GEYMAYR,

Ingeniero Químico.

Se refiere este interesante artículo a la utilización de productos aireadores y plastificadores en la fabricación de hormigón, exponiendo los autores su punto de vista sobre las respectivas ventajas e inconvenientes.

En nuestro anterior artículo, referente a productos químicos de adición a morteros y hormigones, que titulábamos "Nueva técnica en la preparación de morteros y hormigones", aparecido en el número del mes de enero de esta REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, definíamos los dos tipos fundamentales de tales productos: los plastificadores y los aireadores. Los primeros con actuación físico-química en relación con el cemento, y los segundos, que actúan tan sólo por proceso físico en relación con los áridos (particularmente con las arenas finas).

Dábamos allí una explicación sucinta de tal actuación y señalábamos, en líneas generales, las características fundamentales que comunicaban a los hormigones.

Vamos ahora a estudiar, ya con más detalle, estas características de los hormigones tratados con productos químicos de adición, deduciendo de ellas los tipos de obras en que, en la práctica, son de más adecuada utilización.

I. Plastificadores.

Los plastificadores a que nos estamos refiriendo no tienen nada que ver con los productos a que antiguamente se daba, a veces, el mismo nombre, tales como Kieselgühr, cal grasa, puzolanas molidas, bentonita, etc., cuya actuación en los hormigones y morteros es de tipo físico, si bien enteramente distinto a la de los aireadores. Los plastificadores modernos son productos químicos orgánicos, de molécula larga, cuya actuación estudiamos en nuestro anterior artículo.

Al hacerse la elección, dentro de esta clase de productos, de los destinados a plastificadores de hormigones, deben de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

El producto plastificante debe tener una completa tolerancia al ion calcio. Es sabido que, al fraguar el cemento Portland, siempre pone en libertad una proporción mayor o menor de cal, y de no existir

la tolerancia al ion calcio, podrían producirse reacciones internas que no solamente anularán los efectos del plastificador sino que motivarían otros perjudiciales al hormigón fabricado.

Por la misma razón, no conviene que el producto elegido sea de naturaleza de catión, pues podría reaccionar con los iones alcalinos liberados que, en general, se encuentran en el agua de amasado, con parecidos efectos perjudiciales a los indicados anteriormente.

El retraso del fraguado, causado por la adsorción de las moléculas del plastificante a la superficie del grano de cemento, no debe ser excesivo y el proceso de hidratación debe desarrollarse completamente.

Finalmente, a estas consideraciones de tipo teórico se ha de sumar una de orden práctico. El producto ha de ser lo más económico posible, de tal manera que, habida cuenta de la dosificación que se requiera, su coste total por metro cúbico de hormigón fabricado esté en relación con las ventajas de todo orden que comunique al hormigón.

Admitido que el producto cumple con las condiciones indicadas, veamos cuáles son las características fundamentales que comunica a los hormigones en cuya composición entra.

De estas características, unas podemos llamar "genéricas", puesto que son comunes a los dos tipos de productos de adición que estamos estudiando (plastificadores y aireadores), y son las siguientes:

A) Aumento acusado de la plasticidad de las mezclas.

B) Gran disminución de la tendencia a la segregación de los áridos gruesos durante el transporte del hormigón.

C) Mayor trabajabilidad y consiguiente facilidad de puesta en obra, siempre muy interesante, pero particularmente en los hormigones fuertemente armados.

D) Posibilidad de reducir el agua de amasado para la misma docilidad.

Las características particulares que los productos plastificadores comunican a los hormigones son:

a) Aumento de las resistencias mecánicas, tanto a la flexión como a la compresión.

b) Extraordinario incremento de la adherencia del hormigón a las armaduras, no sólo por la mayor trabajabilidad, sino por la deflocuación de los granos de cemento y perfección del fraguado.

c) Gran dureza superficial y resistencia a los efectos de abrasión por las razones indicadas.

d) Aumento de la densidad del hormigón.

Tienen otra particularidad los productos plastificadores que, en ciertas circunstancias, puede considerarse como una ventaja, aun cuando en otras no lo sea; es que, como ya dijimos, retrasa, si bien muy ligeramentemente, el fraguado del hormigón. Si se ha de hormigonar en épocas calurosas, esto es indudablemente una ventaja, pues al aumentarse algo el tiempo de fraguado, disminuye la elevación de temperatura y con ello la retracción y posible formación de fisuras; por el contrario, si se hormigona en tiempo de bajas temperaturas, se suman los efectos retardadores del producto y del frío, y aun cuando no por ello el hormigón resultante sea peor (ya demostramos que puede ser mejor que el fabricado en verano), requerirá un plazo algo mayor para proceder al desencofrado, y esto, en cierto tipo de obras, puede no interesar.

Las características totales del hormigón fabricado con un producto plastificador eficaz y debidamente dosificado, le hacen particularmente indicado para estructuras de hormigón armado, en las cuales se precisen elevadas resistencias mecánicas, pero que no requieran impermeabilidad. También son de aplicación indiscutible en obras en que sea de tener efectos de desgaste y abrasión, sea por causas hidráulicas o mecánicas.

II. Aireadores.

Los aireadores, mucho más conocidos actualmente en España que los plastificadores, son también productos orgánicos, en general del tipo resinas o aceites sulfonados, que, al ser batidos enérgicamente con los restantes componentes del hormigón durante el amasado, crean una masa de aire en forma de pequeñísimas burbujas que quedan aprisionadas en la masa del hormigón y uniformemente distribuidas en la misma.

Por el proceso físico de lubricante elástico, de todos conocido, comunican a los hormigones las características "genéricas" que hemos enumerado al hablar de los plastificantes, y las particulares siguientes:

a) Impermeabilidad absoluta del hormigón.

b) Inalterabilidad a la acción de los agentes agresivos o corrosivos.

c) Posibilidad de soportar sin dislocación los efectos de alternancias de hielo y deshielo.

d) Disminución de la evaporación del agua del hormigón en curso de endurecimiento y del hormigón fresco colocado en obra.

Junto a estas ventajas, indiscutibles e interesantísimas, presenta como inconvenientes: por una parte, que disminuye la densidad de los hormigones y sus resistencias mecánicas tanto a la flexión como a la compresión, para hormigones dosificados con más de 170 Kg. de cemento por metro cúbico; por otra parte, como la cantidad de aire producido y ocluido en el hormigón no depende exclusivamente de la composición del producto, sino también de causas ajenas (calidad y granulometría de las arenas, amasado, etc.), se precisa hacer con mucha frecuencia la medición del porcentaje de aire del hormigón fabricado, para asegurarse que está dentro de los límites admitidos (3 a 6 %) para que no se produzcan efectos perjudiciales.

Las características de los hormigones aireados les hace específicamente indicados para hormigones en grandes masas en que se requiera fundamentalmente impermeabilidad y que queden expuestos a frecuentes heladas o a la acción de aguas agresivas; pero en los cuales las resistencias mecánicas tengan una importancia de segundo orden.

Los agentes aireadores puros se han utilizado, tanto en España como en el extranjero, con bastante frecuencia, en la construcción de presas de embalse del tipo gravedad. Existe en esto, indudablemente, un contrasentido: en las presas de gravedad, la estabilidad estática y elástica está confiada a dos únicos elementos, que son el peso unitario de la fábrica y los coeficientes de trabajo de la misma, habida cuenta de sus cargas de rotura y el coeficiente de seguridad aceptado; el ejecutar, por tanto, hormigones más ligeros y menos resistentes que los corrientes tenidos en cuenta en el cálculo, es una manifiesta contradicción. Bien es verdad que esta contradicción es más de principio que real, puesto que las reducciones de densidad y de resistencias mecánicas que se producen por la utilización del agente aireador, son de poca importancia relativa; sin embargo, procede hacer, previos los ensayos oportunos con el aireante, una determinación de la densidad y las cargas de trabajo reales, y, reajustando el cálculo, fijar las dimensiones definitivas de la sección transversal del muro, que, naturalmente, serán algo mayores que las del proyecto. Con la nueva cubicación se deberá comprobar que el aumento de volumen de la obra y el coste del productor aireador necesario, quedan compensados con las economías en mano de obra que se derivan de la mayor trabajabilidad del hormigón y facilidad de colocación.

De no hacerlo en tal forma, se corre el evidente riesgo de, o ejecutar una obra impermeable pero que no se ajusta a las hipótesis de cálculo del proyecto, o bien construir una presa impermeable y perfectamente dimensionada, pero con un coste superior al

que hubiera representado conseguir la impermeabilidad por otros procedimientos.

III. Asociación de plastificadores y aireadores.

De lo que llevamos dicho se desprende: por una parte, que con el uso de plastificadores y aireadores puros tenemos hormigones adecuados para estructuras de hormigón armado que no precisan impermeabilidad y para hormigones en grandes masas que deban ser impermeables; por otra parte, que ambos productos de adición comunican a los hormigones características, unas comunes y otras particulares, pero todas ellas independientes, por ser enteramente diferentes las causas que las producen.

La lógica más elemental conduce inmediatamente a la idea de asociarlos para producir hormigones en los cuales las características comunes estén incrementadas por su adición y tengan todas las características particulares correspondientes a los dos productos; esto es seguro poderlo conseguir, siempre y cuando que ambos productos se toleren mutuamente, coexistiendo en las mezclas desde el primer momento y que no reaccionen en absoluto entre sí, tanto durante el amasado como posteriormente en el fraguado, endurecimiento y curado de los hormigones.

Conseguida esta coexistencia, podremos a voluntad producir los hormigones que deseemos, forzando la proporción de uno u otro producto en la medida en que queramos acusar las propiedades fundamentales de impermeabilidad o resistencias mecánicas, ya que las restantes propiedades particulares debidas a cada producto son paralelas o consecuencia de éstas.

La posibilidad de esta coexistencia de los plastificadores y los aireadores en los hormigones ha sido comprobada, para algunos de los productos del mercado mundial, por M. Duriez, en los cuidadosos ensayos realizados con este objeto en el Laboratorio Central de Ensayos de Ponts et Chaussées de París, publicados en los *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*. Por su gran interés damos a continuación una ligera reseña de tales experiencias y de los principales resultados a que se ha llegado, perfectamente comprobados y garantizados por la solvencia de tales Laboratorios y la personalidad de M. Duriez en estos estudios.

Los ensayos tenían por objeto comparar las compacidades y las resistencias mecánicas de diversos hormigones: unos, confeccionados normalmente y conservados en aire húmedo; otros, confeccionados con adición de un plastificador-aireador, y otros, con aireador puro simplemente. Los productos adicionales se mezclaron a los hormigones a través del agua de amasado, sin ninguna precaución especial.

La dosificación de los hormigones, determinada según el método Vallete, fueron, por metro cúbico de hormigón asentado en mesa vibrante de frecuencia 3 000 r. p. m. y amplitud de 0,8 cm., las siguientes:

Hormigón de referencia:

Portland artificial CPB 250/315 Lafarge...	300 Kg.
Diorita de la Meilleraie 20/40	1 430 »
Arena del Sena 0/6	735 »
Agua	125 litros.

Hormigón con plastificador-aireador:

La misma dosificación de cemento y áridos, agregando 3 Kg. de plastificador-aireador (a razón de 1 % en peso del cemento), lo que permitió reducir la dosificación de agua a 105 litros con la misma manejabilidad.

Hormigón con aireador puro:

Se conservó la dosificación de cemento y áridos, sustituyendo el plastificador-aireador por un aireador puro, a razón de 450 gr./m.³ de hormigón (1,5 % del peso del cemento). El agua se redujo a 115 litros, conservando la misma manejabilidad.

Se confeccionaron, entre otras, las siguientes series:

Serie T-1: Hormigón de referencia conservado en aire húmedo (higrometría de 80 a 100 %; $t = 15$ a 18° C.).

Serie P-A: Hormigón con plastificador-aireador, definido anteriormente y conservado en las mismas condiciones.

Serie A: Hormigón con aireador puro, con las dosificaciones indicadas y la misma conservación.

Para cada serie se confeccionaron las siguientes probetas:

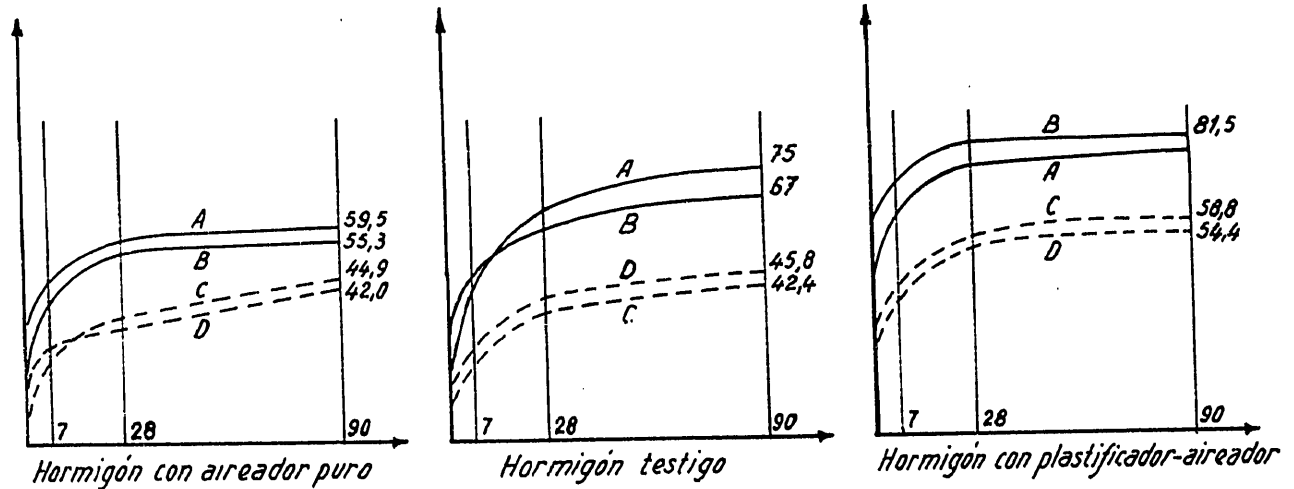
- Nueve probetas cúbicas de 0,20 cm. de arista.
- Idem id. id. de 0,30 cm. de arista.
- Idem id. prismáticas de $16 \times 16 \times 50$ cm.
- Idem id. prismáticas de $20 \times 20 \times 60$ cm.

Todas estas probetas fueron pesadas inmediatamente después de fabricadas para determinar la densidad real del hormigón fresco y su compacidad. Conservadas en la forma indicada, fueron rotas a compresión y flexión para determinar las resistencias a siete, veintiocho y noventa días.

Los resultados conseguidos quedan condensados en el siguiente cuadro numérico y representados en el gráfico que también se acompaña.

Resistencias mecánicas.

S E R I E S	C O M P R E S I Ó N		F L E X I Ó N	
	Cubos de 20 cm.	Cubos de 30 cm.	Prismas de 16 × 16 × 50	Prismas de 20 × 20 × 60
Serie T-1	235/351/424	259/403/458	48,3/59,0/67,2	42,1/63,8/74,0
Serie P-A	407/540/588	393/513/554	70,1/81,5/82,6	61,3/74,2/77,7
Serie A	258/348/449	270/284/420	39,0/54,4/55,3	45,8/56,4/59,6



Conservación en aire humedo a + 18° C.

A - Prismas de 20 × 20 × 60 = B - Prismas de 15 × 15 × 50 = C - Cubos de 20 = D - Cubos de 30
— Resistencias a flexión en Kg/cm² = - - - - - Resistencias a compresión en Kg/cm²

Las densidades y compacidades fueron las siguientes:

S E R I E S	Cubos de 20 cm.	Cubos de 30 cm.	Prismas de 16 × 16 × 50	Prismas de 20 × 20 × 60
<i>Serie T-1:</i>	Peso teórico del m. ³ = 2 590 Kg.			
Densidades	2 608	2 594	2 552	2 609
Compacidades	1 000	1 000	985	1 000
<i>Serie P-A:</i>	Peso teórico del m. ³ = 2 573 Kg.			
Densidades	2 613	2 589	2 543	2 626
Compacidades	1 000	1 000	988	1 000
<i>Serie A:</i>	Peso teórico del m. ³ = 2 581 Kg.			
Densidades	2 579	2 569	2 539	2 592
Compacidades	999	995	980	1 000

Para mayor claridad, M. Duriez hace un esquema comparativo de los resultados; se refiere únicamente a las densidades y a las resistencias, puesto que las

compacidades no se pueden medir con tanto rigor. Por lo que se refiere a las densidades, tenemos el siguiente cuadro-resumen:

Resumen comparativo de densidades.

	Cubos de 20 cm.	Cubos de 30 cm.	Prismas de 16×16×50	Prismas de 20×20×60
Hormigón testigo (D-0,020)	2 588	2 574	2 532	2 589
Hormigón con P-A	2 613	2 589	2 543	2 626
<i>Diferencias (Kg.)</i>	+ 25	+ 15	+ 11	+ 37
Hormigón testigo (D-0,010)	2 598	2 584	2 542	2 599
Hormigón con A	2 579	2 569	2 539	2 592
<i>Diferencias (Kg.)</i>	— 19	— 15	— 3	— 7

Para que la comparación sea válida, las densidades del hormigón testigo están disminuidas en el exceso de dosificación de agua con relación a los hormigones que tienen productos adicionados.

Se comprueba, como naturalmente había de ocu-

rrir, que los hormigones que contienen plastificador son más densos que los hormigones corrientes, y por el contrario, los que únicamente contienen aireador, son más ligeros.

Resumen comparativo de resistencias mecánicas.

(Cargas de rotura a noventa días.)

	C O M P R E S I Ó N		F L E X I Ó N	
	Cubos de 20 cm.	Cubos de 30 cm.	Prismas de 16×16×50	Prismas de 20×20×60
Hormigón testigo (Kg./cm. ²)	424	458	67	75
Hormigón con P-A	588	554	83	75
<i>Diferencias (%)</i>	+ 36	+ 17	+ 24	+ 4
Hormigón con A	449	420	55	59
<i>Diferencias (%)</i>	+ 6	— 8	— 18	— 21

También queda comprobado que los hormigones que tienen plastificador mejoran sensiblemente las resistencias, tanto a la compresión como a la flexión. Las resistencias a la compresión de los hormigones con aireador solamente, en laboratorio al menos, no se reducen de manera apreciable, y ello por la compensación que a la disminución de densidad (por la presencia del aire ocluido) proporciona la disminución del agua de amasado; sin embargo, las resisten-

cias a flexión quedan reducidas en un 20 % aproximadamente.

Las experiencias de M. Duriez han demostrado prácticamente la posibilidad de asociación en los hormigones de los plastificadores y los aireadores, presentando tales hormigones las características correspondientes a ambos productos; la única precaución necesaria, pero eso sí, fundamental, es que tales productos no reaccionen entre sí, y, por tanto, antes

de utilizarlos juntos es preciso asegurarse, de una manera absoluta, de que se toleran mutuamente.

IV. Otras asociaciones posibles de productos de adición.

Demostrada la posibilidad y conveniencia de la asociación de los plastificadores y los aireadores, se ha avanzado ya más por este camino y se ha intentado, al parecer con éxito, ampliar esta asociación con otros productos, tales como "Kieselgühr" y las puzolanas.

También se han realizado con buen resultado asociaciones de plastificadores con aceleradores de fraguado, y parece natural que todas las combinaciones sean posibles, en tanto que los productos asociados no neutralicen totalmente las propiedades que unos y otros comunican y que sean unos frente a otros totalmente inalterables. El campo, como se ve, es amplísimo. En él se está trabajando activamente, y cabe esperar que pronto se consigan resultados definitivos y se pueda fabricar para cada caso el hormigón de características adecuadas.

Podemos asegurar que, en el extranjero, ya prácticamente no se hace el hormigón clásico de cemento, agua y áridos; el uso de los productos químicos de adición se ha generalizado de tal manera, que en Estados Unidos existen para varios de ellos especi-

ficaciones oficiales a las cuales se han de ajustar los productos lanzados al mercado; en Francia también se está estudiando, con la colaboración de las organizaciones interesadas en las obras públicas, la redacción de un pliego oficial de condiciones para regular la utilización de los productos de adición, en particular los plastificadores y aireadores.

En España, que nosotros sepamos, aún no se ha comenzado más que con la primera fase, la de los aireadores; nada se ha hecho en relación con los plastificadores y naturalmente con las posibles asociaciones. Creemos, por ello, que para recuperar el tiempo perdido es preciso que todos los interesados en los problemas del hormigón, Ingenieros y Químicos, Proyectistas y Constructores, Investigadores y Contratistas, Administración Pública y Empresas particulares, todos, cada uno en su ámbito, dediquemos a estas cuestiones el máximo de interés y atención; habría que pasar rápidamente por las fases de los plastificadores y su asociación con los aireadores (aprovechando en lo posible los trabajos ya realizados en el extranjero), para ponernos cuanto antes al día en esta nueva técnica. Y sin detenernos en el camino, continuar con el estudio de las otras asociaciones a que nos hemos referido; todo ello en relación, naturalmente, con nuestros cementos y nuestras posibilidades de primeras materias para la fabricación de los productos de adición que someramente hemos estudiado.

