

LA NUEVA TECNICA EN LA PREPARACION DE MORTEROS Y HORMIGONES

Por JOSE MARTINEZ RAYON,
Ingeniero de Caminos,
y GUIDO GEYMAYR,
Ingeniero Químico.

Hacen los autores un claro resumen del moderno empleo de aireadores y plastificadores para hacer que los hormigones y morteros se adapten mejor a las características particulares de la obra a que están destinados, y reseñan al final la bibliografía correspondiente a tan interesante tema.

En los números 241 y 242, correspondientes a los meses de abril y mayo del corriente año, de la *Revista Cemento y Hormigón*, el Ingeniero de Caminos D. Antonio Gete-Alonso ha publicado un interesante trabajo que titula "Hormigones, morteros y pastas puras aireadas", en el cual estudia con todo detalle la técnica de incorporar a los hormigones un cierto porcentaje de aire en pequeñísimas burbujas distribuídas en la masa, y hace una exposición de las mejoras que esta técnica comunica a los hormigones y de las ventajas que se derivan de su utilización.

La aportación de aire a los hormigones y morteros se hace en la práctica, generalmente, adicionando a las mezclas, a través del agua de amasado, un producto de los llamados aireadores, sin otra precaución especial que la de comprobar que la proporción de aire aportado es la conveniente según el destino en la obra del hormigón fabricado, y el Sr. Gete-Alonso explica los distintos procedimientos que pueden seguirse para hacer tal comprobación y determinar la cantidad de aireante que debe adicionarse por metro cúbico de hormigón.

La moderna técnica de preparación de morteros y hormigones ha ido ya más allá de la utilización de los productos aireantes, y consideramos interesante para los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS recordar los últimos adelantos conseguidos en Europa y América en el camino de la técnica de preparación de morteros y hormigones con productos químicos de adición.

Tipos y dosificaciones de morteros y hormigones.

En la preparación de los morteros y hormigones por los procedimientos clásicos, juegan tres factores únicamente: áridos, agua y cemento.

Los áridos, sus condiciones físicas y químicas, su granulometría, su repercusión en las calidades y cualidades de las mezclas resultantes, han sido ya ampliamente estudiados, y en cada caso se fijan de

acuerdo con los materiales disponibles en la obra o sus proximidades; una vez seleccionados y ajustados en proporciones, no son elemento variable en la dosificación de morteros y hormigones.

Quedan, pues, al Ingeniero, dos variables, agua y cemento, con las cuales ha de jugar para definir y dosificar los diferentes tipos de hormigones y morteros que las particularidades de la obra, o de los distintos elementos de la obra, requieran; y como tales variables están, además, ligadas entre sí por la escasa amplitud que permite la relación agua-cemento, en la práctica clásica, el Ingeniero no dispone de más elemento que el cemento para producir los distintos tipos de hormigones. De aquí la definición corriente de los mismos, únicamente por el contenido de cemento por metro cúbico.

Mayor amplitud de la nueva técnica.

La nueva técnica consiste en proporcionar al Ingeniero mayor número de elementos con que poder operar, para crear diferentes tipos de morteros y hormigones, cuyas características respondan a las diversas condiciones que deben cumplir, según las circunstancias particulares de amasado, colocación y destino del producto en la obra o elemento de ella a que esté destinado. En unos casos es la impermeabilidad; en otros, la alta resistencia mecánica; en otros, la docilidad y trabajabilidad, etc., y es natural que el Ingeniero tenga medio de actuar para asegurar en el hormigón la característica que precisa más acusadamente, sin perjudicar por ello las restantes cualidades de carácter general.

Hasta el momento presente se han conseguido dos tipos de productos químicos de adición que incrementan algunas características de los hormigones, y que se distinguen fundamentalmente porque unos actúan de un modo enteramente físico, en tanto que los otros lo hacen por un proceso físico-químico. Los primeros son los *aireadores*, y los segundos, los que

podemos llamar *plastificadores* (los americanos los llaman "densifier", por el aumento de densidad que producen).

Actuación de los productos aireadores.

Como ya es sabido, los aireadores aportan una cierta cantidad de finísimas burbujas de aire en la masa del hormigón, cuyo diámetro máximo es del orden de medio milímetro, y cuyos efectos favorables al hormigón son los siguientes:

Actúan como un lubricante flexible, pues los granos de arena deslizan sobre ellas y se aumenta la docilidad, lo que permite reducir el agua de amasado.

Las burbujas de aire producen una cohesión entre los granos de arena, que evita segregaciones durante el transporte del hormigón fresco al lugar de colocación, con lo que se aumenta la uniformidad.

Como al endurecer el hormigón se forma una amplia red de conductos capilares, las burbujas de aire quedan retenidas en tales conductos, actuando como compuertas elásticas que impiden la entrada del agua a través de los capilares, consiguiéndose hormigones impermeables.

En épocas de heladas, el agua que haya podido quedar en los capilares o entrar por ellos hasta las burbujas, al helarse puede expansionarse, comprimiendo las burbujas de aire, lo que evita la destrucción del hormigón.

Es decir, que los agentes aireadores, actuando físicamente, comunican a los morteros y hormigones: docilidad, trabajabilidad e impermeabilidad, lo que, por una parte, permite reducción de la cantidad de agua de amasado, y por otra parte supone, como consecuencia lógica de la impermeabilidad, que resisten mejor a la acción de aguas agresivas, a los efectos de heladas sucesivas y posiblemente aumente algo la adherencia a las armaduras; no parece que tenga influencia acusada en las propiedades térmicas, en la densidad, ni en las resistencias mecánicas para hormigones de pobre dosificación de cemento. (En hormigones de dosificación media y rica, se producen disminuciones de tales resistencias.)

Actuación de los productos plastificadores.

Así como los agentes aireadores hemos visto que actúan por un proceso físico, en relación con los áridos (principalmente la arena fina) de los morteros y hormigones, los plastificadores tienen actuación de tipo físico-químico en relación con el cemento.

Admitamos el grano de cemento formado por la agrupación de moléculas de sus componentes químicos, a cuya superficie se acercan las moléculas del

agua de amasado dotadas de gran movilidad, tanto mayor cuanto mayor es la temperatura; como las moléculas de los componentes del cemento son muy reactivas, en particular las del aluminato tricálcico, agregan moléculas de agua a su estructura molecular, formando hidratos que son poco solubles, y la solución va aumentando su concentración rápidamente, hasta sobresaturarse.

Esta solución, que envuelve totalmente al grano de cemento, llega así a transformarse en una masa gelatinosa, el "Gel", que evita el paso directo de las moléculas de agua hacia el grano de cemento; bajo la capa de "Gel", la hidratación continúa, pero tomando el agua del propio "Gel", y éste sigue aumentando su consistencia hasta alcanzar cierta rigidez; ésta situación corresponde al fraguado inicial.

Prosigue, más lentamente ya, la hidratación del grano de cemento, y se van produciendo cristalizaciones en el "Gel", que aumenta su rigidez y dureza hasta el fraguado final; siguen, sin embargo, el endurecimiento y la hidratación, que corresponde ahora al silicato tricálcico, y a los siete días al silicato bicálcico.

La formación del "Gel" es indispensable para que el cemento pueda actuar como aglomerante y pegante de los áridos y comunicar plasticidad a las mezclas; el hecho de que el "Gel" formado impida el paso libre del agua de amasado a la superficie de los granos de cemento, es fundamental, porque evita el deslavado de las mismas. Por otra parte, al formarse el "Gel" e ir aumentando su consistencia, se produce una pequeña expansión y llena los intersticios entre los áridos; al adquirir la rigidez y secarse lentamente, disminuye otra vez su volumen, y ésta es la causa de la retracción de fraguado; cuando se produce esta contracción del "Gel", éste tiende a desprenderse de las paredes de los áridos, porque el hormigón ha comenzado a endurecer y no puede ceder; ello explica la formación de las posibles grietas de retracción.

La existencia del "Gel" es, pues, un fenómeno físico-químico propio del proceso de fraguado de los cementos e indispensable para el mismo; pero las condiciones en que el "Gel" se forma *durante las dos primeras horas después del amasado*, es decir, hasta el comienzo del fraguado, definen la calidad de la pasta de cemento y, en su consecuencia, las características del hormigón o mortero fabricado. Sin embargo, la reducción del grosor del "Gel" es fundamental, pues de ello se derivan ventajas indiscutibles (menor retracción, mayor densidad, etc.), y por tanto, a conseguir esta disminución han de tender todos los esfuerzos.

Ello se consigue fabricando el hormigón a bajas temperaturas (alrededor de 5° C.); la reacción de hi-

dratación es un proceso químico y depende, como todas las reacciones químicas, de la temperatura en que se desarrolla; con baja temperatura la formación inicial del "Gel" es más lenta, y el "Gel" formado, de menor grosor, y por tanto, los hormigones fabricados en bajas temperaturas son, a la larga, superiores a los amasados en ambientes calurosos; con la particularidad de que las características finales del hormigón son las correspondientes a la temperatura de la mezcla, antes de iniciarse el fraguado.

El efecto se puede conseguir, con independencia del medio ambiente, agregando hielo a la mezcla para rebajar la temperatura durante las primeras horas; se comprueba que un hormigón fabricado en tales condiciones, aun cuando se exponga después a fuertes calores; por ejemplo, curado en cámara de vapor, mantiene las características óptimas del hormigón fabricado con bajas temperaturas. Por el contrario, un hormigón amasado en ambiente cálido, aun cuando después de dos horas se mantenga a baja temperatura, continúa con las características correspondientes a las condiciones iniciales.

En los Estados Unidos, y en el caso de la construcción de la presa de Davis, se ha llegado a instalar, como elemento auxiliar de la planta de hormigonado, una gran fábrica de hielo, para mantener la temperatura baja en las primeras horas del hormigón fabricado, agregando hielo a la mezcla para fijar su temperatura entre los límites deseados. Pero este procedimiento es complicado y extraordinariamente costoso.

Ahora bien: los plastificadores modernos producen el mismo efecto con gran sencillez y costo reducidísimo. El plastificador es una substancia orgánica de molécula larga y polar que, de acuerdo con las observaciones de Langmuir y Helmholtz, se adhieren a las superficies de los sólidos cuando se aproximan a ellos en forma de solución, perpendicularmente a tal superficie, situándose en sentido radial, como los pelos de una brocha; se forma así una película monomolecular alrededor de los granos de cemento, que obstaculiza la llegada rápida a ellos de las moléculas del agua de amasado; se frena la reacción de hidratación desde el primer momento, la formación del "Gel" es más lenta, y, en consecuencia, su grosor más pequeño; es decir, que se ha conseguido el mismo efecto que reduciendo la temperatura de la reacción de hidratación.

Pero, además, la película de moléculas polares formada alrededor de los granos de cemento, bajo el "Gel", produce una lubricación untuosa igual a la de un aceite entre dos metales, que comunica al hormigón mayores docilidad y manejabilidad que las de hormigones corrientes sin plastificador.

Finalmente, se produce un fenómeno de dispersión de los granos de cemento que formaban grumos

o colonias; el aire que estaba incluido en estos grumos es desalojado y expulsado, quedan todos los granos en posible contacto con el agua de amasado, todos intervienen en el proceso de fraguado y se aprovecha íntegramente el aglomerante. También con ello se aumenta la densidad del hormigón.

Consecuencias de esta actuación del plastificador.

Hemos visto cómo el plastificador tiene un efecto de lubricante untuoso, y, en su consecuencia, podemos suprimir gran parte del agua que en los hormigones corrientes se precisa como lubricante, consiguiéndose la misma docilidad y trabajabilidad con menor cantidad de agua de amasado.

El "Gel" formado alrededor de los granos de cemento actúa como pegante o cola entre dichos granos y los de arena y áridos en general; la disminución del espesor del "Gel" no afecta de manera apreciable a la cohesividad del hormigón, y en cambio, cuando fragua, resulta más compacto y resistente; es el mismo efecto que el de la cola en las placas de contrachapado de madera, cuya resistencia al despegue no aumenta, sino, por el contrario, disminuye, si el espesor de la capa de cola es superior al estrictamente necesario.

La reducción conseguida en el grosor del "Gel" y la disminución de la velocidad en la primera fase de las reacciones que motivan el fraguado, disminuye el efecto de retracción y la elevación de la temperatura y se aumenta la impermeabilidad y la densidad del hormigón producido. Al reducirse la cantidad de agua de amasado, se disminuyen las exudaciones, que tanto perjudican a la impermeabilidad y, sobre todo, a la dureza superficial.

Por último, el aprovechamiento integral de los granos de cemento, la perfección del proceso de fraguado, la no existencia de fisuras de retracción, la homogeneidad y densidad del hormigón producido, se traducen en un *aumento acusado de las resistencias mecánicas en hormigones de todas las dosificaciones*, aumento que, para un hormigón tipo de 250 Kg. de cemento por metro cúbico, es, a los veintiocho días, superior en más del 30 % a las resistencias conseguidas con el mismo hormigón sin plastificador.

Resumen de las propiedades generales que los productos químicos de adición comunican a los morteros y hormigones.

Podemos resumir que, en el estado actual de la técnica, tenemos dos productos químicos de adición a los hormigones que tienen una parte común: la de permitir mezclas de cemento de docilidad y trabajabilidad análogas a las de las mezclas clásicas, con

reducción del agua de amasado, distinguiéndose, sin embargo, entre sí perfectamente; los aireadores se caracterizan porque producen una impermeabilidad prácticamente absoluta y, en consecuencia, las mezclas están en mejores condiciones para soportar la acción de agentes agresivos y de las heladas; los plastificadores aumentan las resistencias mecánicas, la densidad y la adherencia a las armaduras.

Los técnicos y constructores disponen, por tanto, ya, de tres elementos: cemento, plastificador y aireador, para definir y dosificar los hormigones, de tal manera, que sus propiedades esenciales respondan a las características particulares de las obras o elementos a que están destinados. Como los plastificadores y aireadores se producen ya comercialmente en España, creemos ha llegado el momento de, siguiendo el ejemplo de otros países, comenzar a utilizar tales elementos para producir en cada caso el hormigón adecuado; debemos, además, hacer resaltar que, con la debida ponderación en las dosificaciones de los mismos, y aprovechando sus peculiares propiedades, se pueden conseguir en definitiva obras mejores que las actuales y sensiblemente del mismo coste que las que se han estado construyendo hasta ahora con la técnica clásica, que, como otras muchas cosas, va quedando algo anticuada.

Expuesta en líneas generales la actuación de los aireadores y plastificadores, dejamos para un siguiente artículo el estudio de detalle de las ventajas y posibles inconvenientes de su utilización en algún caso particular, así como de la posibilidad de su empleo conjunto, que encierra un gran interés desde el punto de vista constructivo.

Bibliografía.

Concrete Manual of the United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.

The Chemistry of Portland Cement, by Robert Herman Bogue, Research Director Portland Cement Association Fellowship National Bureau of Standards Washington, D. C.

Comunicaciones del Prof. Mirko Ros, Presidente del Laboratorio Federal de Ensayo de Materiales de la Escuela Politécnica de Zürich.

Comunicaciones de M. M. Duriez, Director de los Servicios Técnicos del Laboratorio Central de Ponts et Chaussées.

Revista Cemento y Hormigón.

