influencia que el tipo de conglomerante ejerce en la durabilidad de los hormigones frente a los sulfatos

PABLO G. DE PAREDES GAIBROIS

Jefe de la Sección de Estudios Especiales de Conglomerantes,
del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

(Continuación)

Estudios en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

Dentro de un amplio programa de investigación acerca de la durabilidad que poseen morteros y hormigones, el estudio de la resistencia que frente a los sulfatos confieren los conglomerantes más diversos a las obras realizadas con ellos ha ocupado un lugar muy destacado en los trabajos del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

La idea que preside los ensayos, en vías de ejecución, es no tanto investigar acerca de la físico-química de las reacciones entre sulfatos y conglomerantes, cuanto conocer el comportamiento de los materiales españoles colocados en las condiciones reales más frecuentes en el país y, subsidiariamente, comprobar la validez de los métodos conocidos hasta la fecha para predecir el ataque, así como los medios de impedirlo.

Quizás pueda parecer este criterio poco científico y nada satisfactorio para un ánimo investigador; sin embargo, se ordena al servicio que el Instituto desea rendir a los usuarios al contestar las consultas y resolver sus peticiones de ensayo; sin que se abandone una investigación exhaustiva y científica que, en su día, permitirá cambiar los métodos de ensayo y orientar la producción de los conglomerantes hacia la preparación de los más idóneos. La monografía I. E. T. c. c. núm. 230, del señor Soría Santamaría, constituye una prueba de la realidad de este proceder.

En un principio, el plan abarca, por una parte, los ensayos en condiciones casi reales a largo plazo; por otro, la ejecución, en laboratorio, de los ensayos a corto plazo. Los primeros servirán para valorar los resultados de los segundos, y ambos suministrarán la información necesaria para la investigación básica.

Materiales ensayados

De los conglomerantes fabricados en España se han adquirido o elegido representantes de los tipos, clases y categorías normalizadas por el «Pliego» (67). De aquellos que no se hallan en el mercado, el señor Soría Santamaría, del Departamento de Materiales, Sección Fábrica Piloto, preparó el PAS, y en cuanto al sobresulfatado, la «Compagnie des Forges de Chatillon, Commentry et Neuves Maisons», nos obsequió el «Supercilor» que ella fabrica, de tan extendido uso en Francia debido a su alta calidad.

Los conglomerantes siderúrgicos, puzolánicos, naturales y aluminosos, también nos fueron obsequiados por los fabricantes nacionales.

Todos los conglomerantes fueron cuidadosamente homogeneizados y se conservan en un recinto cuya temperatura es casi constante. Sobre su envoltura original se les ha colocado otro saco de plástico, procurando cerrar éste herméticamente. Se ha podido comprobar la eficacia frente al carbónico y la humedad de las precauciones adoptadas.

Hasta la fecha están sometidos a ensayo conglomerantes portland, siderúrgicos, naturales, puzolánicos y aluminoso.

Los áridos utilizados para la preparación de los hormigones proceden de la grava de las canteras del Jarama, y la arena, de dicho río.

Ensayos en escala casi real de remota terminación

Calificamos así los realizados sobre prismas y cilindros de hormigón colocados en depósitos poco cubiertos situados en el exterior del edificio.

Se ensayan dos tipos de hormigón cuyas dosificaciones por metro cúbico son:

Hormigón de 150 kg/m³:

Grava	840 l.
Arena	420 l.
Agua	130 l.
Conglomerante	150 kg.
Agua/conglomerante =	0,867

Hormigón de 300 kg/m³:

Grava	820 l.
Arena	400 l.
Agua	157,5 l.
Conglomerante	300 kg.
Agua/conglomerante =	0,525

Con cada uno, por el Departamento de Prefabricación, se confeccionaron prismas de 80 × 15 × 15 cm y cilindros de 30 × 15 cm de diámetro.

En dos amasijos se preparan 5 prismas y 36 cilindros.

Los prismas se moldean en un encofrado de madera semejante a los utilizados en obras. En las caras cuadradas del encofrado se situaron unos índices cilíndricos de plástico para que, embebidos en el hormigón y sujetos por él, sirviesen de referencias para la medida de las variaciones de volumen; estas piezas no están situadas en el centro de las bases para facilitar la posible medida sónica del módulo elástico.

Los cilindros se obtuvieron en los moldes de fundición clásicos. También se les dotó de índices de plástico situados excéntricamente en las caras planas.

Al rellenar los moldes se compactó el hormigón por picado a mano, con una varilla. Al pesar los probetas se pudo comprobar la completa eficacia de esta técnica.

En los moldes se mantuvo el hormigón veinticuatro horas, salvo en aquellos casos que el fraguado del conglomerante exigió un plazo de enmoldado mayor. Fuera del molde se procuró mantener las probetas, durante su medición y pesada, en atmósfera con el 60 % h. r. y a 21 ± 2°C de temperatura.

Tanto los prismas como los cilindros se miden, pesan y fotografían antes de someterles a los ambientes de ataque.

Para apreciar el influjo que los medios agresivos ejercen sobre los hormigones se aplicó el martillo de rebote Smidt sobre la superficie sujeta al ataque y también en las piezas «testigo».

Ensayos a largo plazo

ensayos

Ensayos Merriman (Placas)

Ataque de las placas.

Molde con placas.

Con este procedimiento se intentó conocer el principio de las alteraciones que suponemos comienzan a partir de la superficie, aunque no siempre esto sea cierto.

Curado de prismas y cilindros

Un prisma y dieciocho cilindros se trasladan a una cámara húmeda, en la que se les mantiene como testigos; cuatro prismas y dieciocho cilindros se sitúan en el medio agresivo.

El curado en ambiente agresivo se ha realizado colocándolos en unos depósitos contruidos con ladrillo y con un revoco de cemento PAS. Se los ha dotado de un tejadillo para evitar que las lluvias empobrecieran la concentración del agresivo. Estos depósitos, cuyas dimensiones, detalles de construcción y emplazamiento se exponen gráficamente, se llenan del terreno agresivo en cantidad tal que recubre la mitad de la altura de los cilindros y del ancho de los prismas.

Los prismas se colocan en los depósitos, descansando su mayor dimensión sobre dos apoyos de cerámica.

Los cilindros, sustentados por un apoyo, sobre una de sus caras circulares. Una vez situados cilindros y prismas, se añade agua hasta quedar sobre la tierra una lámina de 5 cm. Periódicamente se mantiene este nivel.

En una estación meteorológica, distante 10 m de los depósitos, se situó un termómetro registrador que permite conocer diariamente las temperaturas.

Los prismas se destinan a registrar en ellos las variaciones que el posible ataque produzca en alguno de los parámetros medidos (peso, dimensiones, dureza superficial). Con los cilindros, además de las medidas ya reseñadas, se determinará la resistencia a la rotura por compresión en plazos de medio, uno, dos, cinco, diez y veinte años. Iguaes apreciaciones se llevan a cabo con las probetas mantenidas en la cámara húmeda y que se consideran como «testigo».

Placa de hormigón (frente).

Placa de hormigón (perfil).

Ataque de las placas.

Ensayos en el laboratorio

Hormigón cuyo árido grueso tiene de máxima dimensión 10 mm; con la siguiente dosificación:

Grava 10-4 mm	500 l.	m³	Agua/conglomerante = 0,40.
Arena	700 l.		
Agua	140 l.		
Conglomerante... ..	350 kg.		Asiento cono Abrams = 12 cm.

La compactación se realiza a mano, con ligero picado.

Este hormigón se vierte y compacta en un molde para seis placas rectangulares, cuyas dimensiones son $30 \times 15 \times 3$ cm, provistas de unos índices de plástico, colocados a 2×2 cm, de tres ángulos con el fin de medir las posibles variaciones de dimensión.

Destrucción producida por sulfatos (tanque de revelado en laboratorio fotográfico).

Microfotografía de copos (fase AF) formados en el ensayo Merriman.

Se preparan simultáneamente seis de estas placas con cada uno de los conglomerantes; se desmoldan a las veinticuatro horas, a menos que no hayan adquirido suficiente rigidez, y se las mantiene veinticuatro horas en cámara húmeda a $21 \pm 2^\circ\text{C}$ y 70-80 % h. r.; terminado este primer curado, se las marca, fotografía, pesa, mide y se aprecia su densidad aparente mediante la balanza hidrostática.

A continuación se colocan dos placas en agua destilada y las otras en el medio agresivo que se desea estudiar, sumergiéndolas hasta los dos tercios de su mayor dimensión, colgadas con cuerda de nylon en la forma que permite apreciar la fotografía.

A plazos de uno, tres, seis, doce meses, dos, cinco, diez, veinte años, se las observa, fotografía, mide y hallará su densidad.

El local en que se sitúan las cubetas para el ataque se conserva a $20 \pm 5^\circ\text{C}$, y semanalmente se repone el nivel de las disoluciones mediante adición de agua. El líquido de ataque también se analiza, principalmente siguiendo las variaciones de su pH y del contenido en Ca^{2+} y SO_4^{2-} y Al^{3+} .

Barras de mortero 1 : 3 con arena normalizada. Amasadas y curadas como si fuesen a ser tratadas en autoclave. Finalizado el plazo de curado en cámara húmeda, se mide su mayor dimensión con el comparador de la autoclave y se las introduce en el medio agresivo. De cada conglomerante, dos barras se entierran en el medio agresivo y otras dos se hincan, manteniendo su mayor dimensión vertical, o sumergida, suspendidas con un hilo de nylon, los dos tercios en el medio agresivo (tierra empapada o disolución).

Se realizan, además, los ensayos de Taylor, Bogue, I. Paul y Merriman.

Como información complementaria se ha realizado, de todos los conglomerantes, su análisis químico, cálculo de índices y composición potencial en los que a esto se prestaban; cálculo de la composición en los constituidos por mezclas, valor puzolánico y los ensayos técnicos preceptuados por el vigente «Pliego».

PLANTA

ESCALA 1:100

SECCION B-B' TIPO

ESCALA 1:25

Durabilidad. Ensayos a largo plazo.
Balsas de ataque

DETALLE "C"
ESCALA 1:10

MORTERO 1:3 CON CEMENTO PAS-150
Y ARENA DE RIO IMPERMEABILIZADO
CON SIKAI BRUNIDO Y PINTADO CON
CONSERVADO 2F.

TELA DE GALLINERO

0,05
0,05
0,05
0,05

0,32 MINIMO

0,19

LADRILLO HUECO SENCILLO

LADRILLO HUECO DOBLE

SECCION A - A'
ESCALA 1:25

Resultados obtenidos en los ensayos de durabilidad realizados con cemento PAS-150:

Morteros: Placas de 30×15 cm:	Sumergidas en agua saturada de yeso. Inalteradas hasta la fecha (9 meses).
Hormigones:	Prismas y cilindros. Inalterados hasta la fecha (1 año).
Ansttet:	Inalterados hasta la fecha (1 año).
Taylor-Bogue:	No aplicable.
Merriman: Placas:	Inalteradas hasta la fecha (1 año).
Merriman: Formación de copos:	Cantidad formada: 1 %. Cantidad formada por un P-350: 2,5 %.
Merriman: Azúcar:	HCl consumido: 2,5 ml.

Conclusiones

La formación de fase AF (t o m) ocasiona una pérdida de durabilidad si tiene lugar topoquímicamente.

Los conglomerantes exentos de aluminato tricálcico cristalino o que dan lugar a la fase AF dispersa estadísticamente, son los más indicados para preparar hormigones con sulfato-durabilidad conveniente.

No existe un método bastante seguro para predecir la sulfato-durabilidad de un conglomerante.

Sugerencias

Conviene explorar el sistema $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Hay que incrementar la fabricación de conglomerantes tipo PAS, SF y PUZ.

Es aconsejable perfeccionar y precisar los ensayos que permitan conocer la cuantía de la alúmina «potencialmente activa» contenida en los materiales conglomerantes: Ensayo tipo Taylor-Bogue.

Se debe ensayar la posibilidad de un efecto corrector para la expansión originada por la fase «AF», de forma semejante a la conseguida para la expansión debida a la reacción álcalis-árido.