

Cemento aluminoso: cómo evitar la pérdida de las resistencias mecánicas

Ciment fondu: Comme éviter leur dégradation des résistances mécaniques

F. TRIVIÑO
IETcc/CSIC

Serrano Galvache, s.n. 28033 - Madrid/España

Fecha de recepción: 15/V/87

RESUMEN

Para evitar la degradación de la resistencia mecánica producida por la conversión del hexagonal al cúbico en el cemento aluminoso se han estudiado diversos procesos.

- 1) Tratamiento térmico durante el fraguado de una mezcla de cemento aluminoso y carbonato cálcico, este proceso utiliza la fase elástica durante el fraguado y también la reacción del carbonato cálcico con la alúmina del cemento para formar carboaluminatos.
- 2) Tratamientos térmicos con CO_2 a 1,4 kp/cm², en condiciones variables de humedad que aprovechan la fase elástica del fraguado y también la reacción del CO_2 con la alúmina del cemento aluminoso para formar carboaluminatos con aumentos de la resistencia mecánica.

Se dan las mejores condiciones obtenidas con probetas de mortero silíceo de 4 × 4 × 16 cm.

RESUME

Pour éviter la diminution de la résistance mécanique produite par la conversion hexagonale à cubique, dans le ciment fondu différents procédés sont étudiés:

- 1) Traitement thermique pendant la prise, du ciment fondu et carbonate calcique, qui utilise la phase élastique de la prise et aussi la réaction du carbonate calcique avec l'alumina du ciment fondu pour former carboaluminates.
- 2) Traitements thermique avec le CO_2 a 1,4 kp/cm², dans distinctes conditions d'humidité, qui utilisent la phase élastique de la prise et aussi la réaction du CO_2 avec l'alumina du ciment fondu pour former carboaluminates avec un accroissement de la résistance mécanique.

Les meilleures conditions obtenues, avec éprouvettes de mortier silicique de 4 × 4 × 16 cm. sont données.

1. EFECTO DE LA ADICION DE CALCITA AL CEMENTO ALUMINOSO

1.1. Experimental

Con proporciones variables de CaCO_3 de 0 %, 15 %, 20 % y cemento aluminoso se hicieron probetas prismáticas de 4 × 4 × 16 cm.

Se realizaron tres tipos de tratamiento.

- 1.º Se colocan las probetas en cámara húmeda. Se las desmoldea a las 19 horas de su preparación.
- 2.º Se calientan a 50° C; el cemento, el agua y moldes. Una vez confeccionados las probetas y los moldes se mantienen a 50° C durante 19 horas. Se desmoldean las probetas y se mantienen 19 horas en cámara húmeda.

1. EFFET DE L'ADDITION DE CALCAIRE AU CIMENT FONDU

1.1. Experimental

Avec des proportions variables de CaCO_3 de 0 %, 15 %, et 20 % et du ciment fondu, des éprouvettes prismatiques de 4 × 4 × 16 cm furent confectionnées.

Trois types de traitement furent effectués:

1. Le éprouvettes sont placées en chambre humide. On procède à les démouler 19 heures après leur préparation.
2. Le ciment, l'eau et les moules sont chauffés à 50° C. Une fois que les éprouvettes et les moules sont confectionnés, ils sont maintenus à 50° C pendant 19 heures. On procède à démouler les éprouvettes, qui sont placées pendant 24 heures en chambre humide.

3.º Las probetas desmoldeadas que se mantuvieron a 50° C se introdujeron en un recipiente hermético (fig. 1) a 50° C y se trataron con CO₂ a una presión de 0,14 N durante 5 horas. Terminado este tiempo se introdujeron en cámara húmeda durante 19 horas.

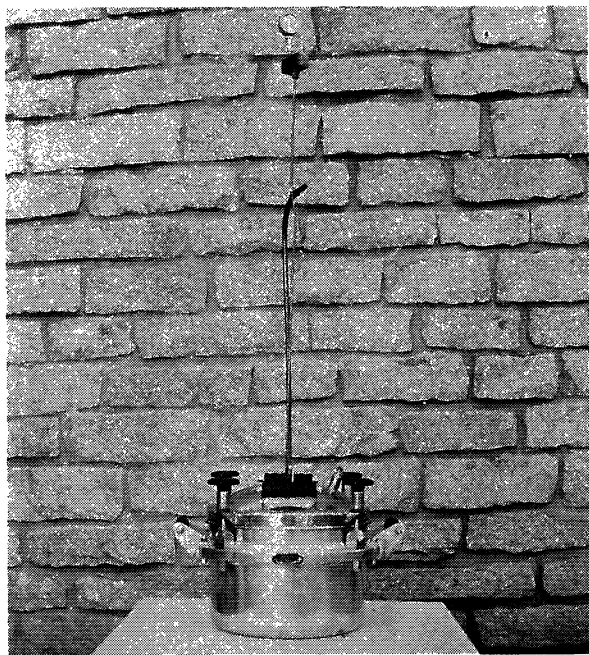


Fig. 1

1.2. Resultados

Los resultados de la rotura a compresión y flexión, así como los obtenidos de los difractogramas de rayos X, de las intensidades relativas de los compuestos: CA, CAH₁₀, C₃AH₆, AH₃, cC y cC₄AH₁₂ se utilizaron para realizar las gráficas de la fig. 2.

1.3. Interpretación y Conclusiones

1. La resistencia a compresión con los tres tratamientos aumenta si lo hace el CaCO₃.
3. La resistencia a compresión aumenta para el 20 % de CaCO₃, al realizar el tratamiento térmico y con CO₂.

3. Le éprouvettes démolées, qui étaient restées à 50° C son introduites dans un récipient hermétique (fig. 1) à 50° C et sont traitées avec CO₂ à une pression de 0,14 N pendant 5 heures. Ce temps ayant pris fin, elles sont introduites en chambre humide pendant 19 heures.

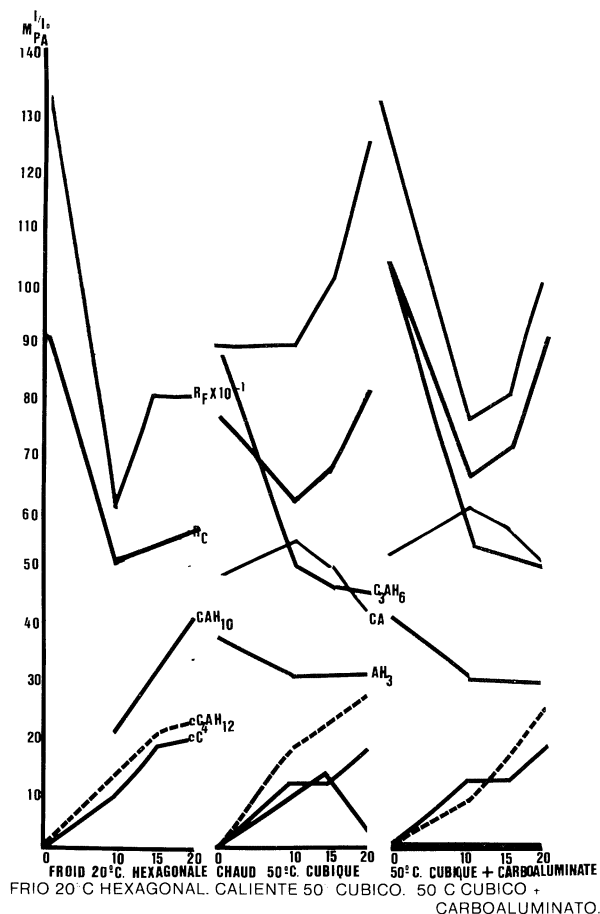


Fig. 2

1.2. Resultats

Les résultats de rupture à compression et à flexion, ainsi que ceux obtenus des intensités relatives des composés: CA, CAH₁₀, C₃AH₆, AH₃, cC, cC₄AH₁₂ sont utilisés pour confectionner les graphiques de la figure 2.

1.3. Interpretation et Conclusions

1. La résistance à compression, dans les trois traitements, augmente si le contenu de CaCO₃ augmente.
2. La résistance à compression augmente pour 20 % de CaCO₃, en effectuant les traitements thermique et de CO₂.

- Al realizar el tratamiento térmico hay una disminución de la resistencia a compresión —cuando no hay adición de calcita— a causa de la reacción $CA \rightarrow CAH_{10} \rightarrow C_3AH_6$, disminuyendo el CAH_{10} y el CA , y aumenta la resistencia con el CO_2 , en el paso de $C_3AH_6 \rightarrow cC_4AH_{12}$ y a otros carboaluminatos cálcicos hidratados.
- La concentración de AH_3 se mantiene en los difractogramas —lo que indica un aumento proporcional— si aumenta la cantidad de $CaCO_3$ desde 10 %, 15 % y 20 % respectivamente.
- Si el tratamiento se realiza a 50° C con CO_2 , disminuye en los difractogramas la concentración detectada de $CaCO_3$, lo que indica que cuando las muestras se calientan, el $CaCO_3$ reacciona con los aluminatos, por lo que solamente con el tratamiento térmico y sin tratamiento con CO_2 se obtienen carboaluminatos cálcicos hidratados y por lo tanto hay un aumento de las resistencias mecánicas.

Las resistencias a flexión disminuyen con el tratamiento térmico y tienden a recuperarse por carbonatación con CO_2 , lo que indica que el tipo de cristales producidos por el tratamiento (pentágonos dodecaedros de C_3AH_6) tienen menor resistencia a flexión, que los hexagonales de CAH_{10} , producidos por el tratamiento a 20° C, y también que los cristales de carboaluminato cálcico hidratado, bajo forma de agujas (provocadas por la reacción con el $CaCO_3$ o con el CO_2) favorecen las resistencias a flexión. Finalmente cuando se forman cristales de calcita (romboedros) disminuyen nuevamente las resistencias a flexión.

Por esto las resistencias a flexión aumentan por tratamiento térmico en caliente, cuando aumenta la concentración de $CaCO_3$ en la mezcla y/o si se tratan las mezclas más ricas en $CaCO_3$ con CO_2 (efecto sinérgico) por formación de carboaluminatos.

2. ESTUDIO DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO CON ADICION DE CALCITA

2.1. Experimental

Comparación entre los dos tipos de tratamiento.

- Probetas prismáticas de $4 \times 4 \times 16$ cm

- Il y a, à réaliser le traitement thermique, une diminution de la résistance à compression —lorsqu'il n'y a pas d'addition de calcite— à cause de la réaction de $CA \rightarrow CAH_{10} \rightarrow C_3AH_6$, diminuant le CAH_{10} et le CA , qui remonte au moyen d'un traitement avec CO_2 avec passage partiel de $C_3AH_6 \rightarrow cC_4AH_{12}$ et autres carboaluminates calciques hydratés.
- La concentration de AH_3 se maintient dans les diffractogrammes —ce qui indique le croissance proportionnelle— si la quantité de $CaCO_3$ augmente, c'est à dire, 10, 15 et 20 % respectivement.
- Si on effectue les traitements à 50° C avec CO_2 , la concentration de $CaCO_3$ détectée dans les diffractogrammes diminue, ce qui indique que lorsque les échantillons sont chauffés, le $CaCO_3$ réagit avec les aluminates, c'est pourquoi, rien qu'avec le traitement thermique, on obtient déjà la formation des carboaluminates calciques hydratés sans qu'il soit nécessaire d'ajouter CO_2 , et en conquence on obtient l'augmentation des résistances mécaniques.

Las resistencias a flexión disminuyen con el tratamiento térmico y tienden a recuperarse por carbonatación con CO_2 , lo que indica que el tipo de cristales producidos por el tratamiento térmico (pentágonos dodecaedros de C_3AH_6) ofrece una plus petite résistance à la flexion que les hexagonels du CAH_{10} , produits par le traitement à 20° C, et aussi que les cristaux de carboaluminato calcique hydratés sous forme d'aiguilles (provoqués par la réaction avec le $CaCO_3$ ou avec le CO_2) que favorisent les résistances à flexion. Et finalement, lorsque des cristaux de calcite se forment (rhomboides), les résistances à flexion diminuent à nouveau. De cette façon les résistances à flexión augmentent par traitement thermique au chaud lorsque la concentration de $CaCO_3$ augmente dans le mélange et/ou si l'on traite les mélanges plus riches en $CaCO_3$ avec CO_2 (effect synergique) par formation de carboaluminates.

2. ETUDE DU TEMPS DE TRAITEMENT AVEC ADITION DE CALCITE

2.1. Experimental

Comparaison entre deux types de traitement.

- Les éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16$

realizadas con cemento aluminoso y 20 % de CaCO_3 , con una relación agua/cemento de 0,23 % tratados a 20° C en cámara húmeda durante 2,4 y 14 días.

2. Probetas iguales a las del punto 1, curadas a 50° C con CO_2 a 2, 3, 4, 6, 9 y 14 días.

2.2. Resultados

Los resultados se pueden ver en la figura 3. En los dos casos se observa un aumento de las resistencias a flexión y a compresión superiores a las de los primeros casos y una caída en las resistencias a flexión entre 9 y 14 días, debidas al paso de carboaluminatos, a carbonato cálcico, por descomposición de los carboaluminatos con el carbónico. De lo anterior se puede deducir que la formación por meteorización de carbonato cálcico implica una recuperación de las resistencias iniciales a flexión y un aumento de las resistencias a compresión.

cm confectionnées avec ciment alumineux et 20 % de CaCO_3 , avec une relation eau-ciment de 0,235 %, traitées à 20° C en chambre humide pendant 2, 4 et 14 jours.

2. Eprouvetttes égales aux premières, curées à 50° C avec CO_2 , à 2, 3, 4, 6, 9 et 14 jours.

2.2. Resultats

Les résultats apparaissent dans la figure 3.

Dans les deux cas on observe une augmentation des résistance à flexion et à compression avec un temps supérieur aux précédents et une chute dans les résistances à flexion entre 9 et 14 jours, dues u passage de carboaluminates à carbonate calcique, par décomposition des précédents avec le carbonique. De ce qui vient d'être dit, on peut déduire que la formation de carbonate calcique par météorisation implique une récupération des résistances à flexion initiales et une montée des résistances à compression.

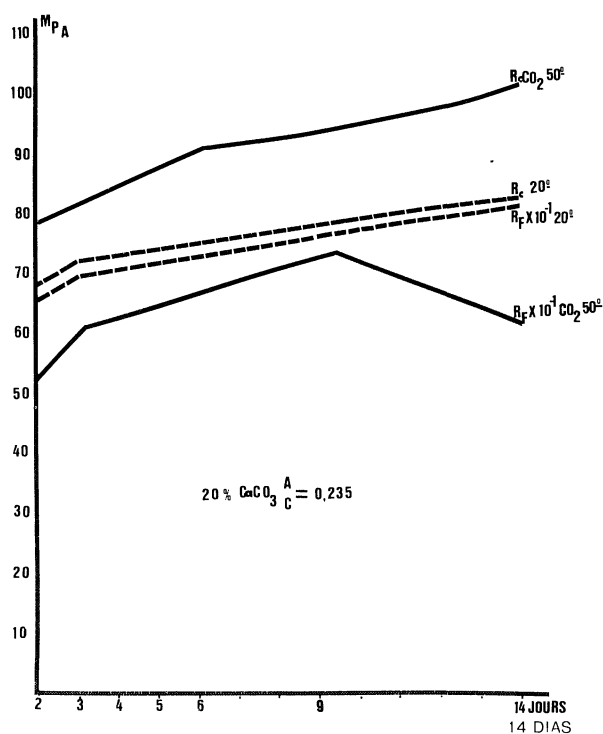


Fig. 3

3. MORTEROS SILICICOS

3.1. Preparación de las probetas

En una amasadora normalizada de acuerdo con el RC-75, se mezclaron: 1.500 gramos de arena silícica normalizada, 500 gramos de cemento aluminoso y 214 ml de agua

3. MORTIER SILIQUES

3.1. Preparation des eprouvetttes

Dans un malaxeur normalisé, d'après le RC-75, 1.500 gr de sable silicique normalisé, 500 gr de ciment alumineux et 214 ml d'eau déionisée furent mélangés. Une partie du mortier fut

desionizada. Una parte del mortero se colocó en un molde, con tres improntas prismáticas de $4 \times 4 \times 16$ cm, situado sobre una máquina de sacudidas normalizadas según el RC-75.

3.2. Tratamiento de las probetas

El molde cubierto con una lámina plástica (para evitar el enarenado superficial) se colocó en un recipiente a presión fig. 1, en el cual se realizaron los tratamientos en caliente o a temperatura ambiente con CO_2 .

Los moldes y también las probetas desmoldeadas, se separaron con listoncillos, para evitar su contacto y también con el agua, que se encontraba en algunas ocasiones en el fondo del recipiente. La tapadera del recipiente a presión tiene unos cierres de tornillo rotativo, de seguridad, que se aflojan para retirar la tapa.

En la tapadera hay un tubo para entrada del gas y un manómetro (fig. 1).

Los tratamientos realizados con las probetas de mortero aluminoso fueron los siguientes:

1	2h	105 °C	CO_2 - H_2O
2	5h	105 °C	CO_2 - H_2O - 5h 105 °C - 2h 105 °C CO_2
3	2h	105 °C	CO_2 - H_2O - 14h 20 °C - 5h 105 °C CO_2
4	7h	105 °C	CO_2 - H_2O - 2h 20 °C - 7h 105 °C CO_2
5	5h	105 °C	- - H_2O - 10h 105 °C CO_2 - H_2O
6	72h	85 °C	CO_2 - H_2O
7	72h	70 °C	CO_2 - H_2O
8	19h	95 °C	CO_2 - H_2O
9	72h	80 °C	(CUBIQUE) - PATRON
10	72h	20 °C	(HEXAGONALE) - PATRON

3.3. Resultados

Fue medida la porosidad de las probetas. Los resultados se obtuvieron según:

P_1 = Peso de la probeta desecada a 105 °C hasta pesada constante.

P_2 = Peso de la probeta saturada de agua.

P_3 = Peso bajo agua, de la probeta saturada de agua (P_2).

placée dans un moule, avec trois empreintes prismatiques de $4 \times 4 \times 16$ cm situé sur une machine à secousses normalisée, d'après le RC-75.

3.2. Le traitement des éprouvettes

Le moule couvert avec une lame en plastique (pour éviter l'ensablement superficiel) est placé dans un autocuiseur (fig. 1) où sont effectués les traitements au chaud ou à température ambiante avec CO_2 . Les moules, ou seulement les éprouvettes démoulées sont séparés avec des liteaux, pour éviter le contact entre eux et avec l'eau qui se trouve quelques fois au fond de l'autocuiseur. Le couvercle de l'autocuiseur a une soupape de sûreté qu'il fut ouvrir pour retirer.

Dans le couvercle il y a aussi un tuyau pour l'accès des gaz, et un manomètre (fig. 1).

Les traitements effectués avec les éprouvettes de mortier alumineux on été les suivants:

3.3. Resultats

La porosité des éprouvettes a été mesurée; dont le résultat a été:

P_1 = Poids de l'éprouvette déséchées à 105 °C - jusqu'à pesée constante.

P_2 = Poids de l'éprouvette saturée d'eau.

P_3 = Poids sous l'eau de l'éprouvette saturée d'eau.

Llamamos porosidad al cociente entre el volumen de poros ($P_2 - P_1$) y el volumen aparente $P_2 - P_3$.

$$\text{Porosidad} = \frac{(P_2 - P_1) 100}{P_2 - P_3}$$

Las intensidades relativas con ánodo de cobre se midieron en

CA	en $2\theta = 29,96^\circ$
C_3AH_6	en $2\theta = 17,20^\circ$
AH_3	en $2\theta = 18,27^\circ$
$CaCO_3$	en $2\theta = 29,40^\circ$
cC_4AH_{12}	en $2\theta = 11,64^\circ$
CAH_{10}	en $2\theta = 6,17^\circ$

Se midió el aumento de peso de las probetas que pesaban, de 595 g a 610 g y osciló de 0 a 15 g como máximo.

Se analizó el contenido de CO_2 , la pérdida al fuego, el agua a $110^\circ C$ y el agua combinada. Los datos obtenidos se pueden observar en la fig. 4.

En los tratamientos 9 (cúbico) y 10 (hexagonal), encontramos que en el 9 (cúbico), las resistencias a flexión y compresión y el contenido en CA disminuyen y aumentan los contenidos en C_3AH_6 y AH_3 . La disminución de las resistencias mecánicas de la conversión del hexagonal al cúbico puede compensarse por carbonatación como sucede en el caso 3.

En la fig. 4 se puede observar que el tratamiento 1 es insuficiente, por el bajo tiempo de carbonatación, ya que es grande su contenido de C_3AH_6 y bajo el de $CaCO_3$. El tratamiento 2 no aumenta las resistencias mecánicas, ya que durante la segunda etapa del tratamiento la temperatura aumenta a $110^\circ C$, la probeta al desecarse absorbe mal el CO_2 . Los compuestos producidos son semejantes a los del 1.º caso.

El tratamiento 3 mejora las resistencias mecánicas, obteniéndose valores semejantes a los iniciales, del exagonal.

Con el mismo tiempo de carbonatación y una temperatura más baja (20°) en la segunda etapa. En el difractogramas disminuye el C_3AH_6 y aumenta el CO_3 teniendo como resultado consiguiente un aumento del peso de la probeta.

Nous appelons porosité le cotient entre le volume des pores ouverts, ($P_2 - P_1$) et le volume apparent, $P_2 - P_3$:

$$\text{Porosite} = \frac{(P_2 - P_1) 100}{P_2 - P_3}$$

Les intensités relatives pour cuivre 1,54 Å.

L'augmentation du poids des éprouvettes fût mesuré; elles pesaient de l'ordre de 595 à 610 gr et oscillait de 0 à 15 gr au maximum.

On été analysés: le contenu en CO_2 , la perte au feu, l'eau à $110^\circ C$ et l'eau combinée, dont il n'y a pas de données, n'ayant pas trouve de corrélations. Les donnees obtenues sont représentées dans la fig. 4.

Lorsqu'on observe les résultats des traitements 9^e (cubique) et 10^e (Hexagonal), nous trouvons que dans le cas du n.º 9 cubique, les résistances à flexion et à compression et le contenu de CA diminuent et les teneurs en C_3AH_6 et en AH_3 augmentent. La diminution des résistances mécaniques, de la conversion de l'exagonal au cubique, peut être compensées par carbonatation, come le traitement n.º 3 indique.

Dans la fig. 4 on peut observer que le traitemen n.º 1 est insuffisant en tant que temps de cargonatation, etant donné que la teneur en C_3AH_6 est grande et petite en cC. Le traitement n.º 2 n augmente pas les résistances mécaniques puisque, pendant la deuxième étape du traitement la température s'élève à $110^\circ C$, l'éprouvette se dessèche et absorbe mal le CO_2 . Les caractéristiques des composants produits sont similaires à celles du 1er cas. Le traitement n.º 3 améliore les résistances mécaniques atteignant des valeur pratiquement égales aux initiales, avec le même temps de carbonatation et une deuxième étape du traitement à une température plus basse (20°). Dans les difractogrammes on observe une descente du C_3AH_6 , une élévation de la teneur en $CaCO_3$, ayant comme resultat l'augmentation du poids de l'éprouvete.

En el tratamiento 4, aumentó el tiempo de carbonatación (7 horas), disminuye sin embargo la resistencia a flexión; aumenta ligeramente la resistencia a compresión, y los contenidos de CaCO_3 y C_3AH_6 bajan, lo cual indica que este tratamiento no es rentable comparado con el anterior. El tratamiento 5 da la máxima cantidad de CaCO_3 , disminuye consecuentemente el C_3AH_6 , que se descompone, aumenta la resistencia a la compresión y disminuye la resistencia a flexión. En este caso, el tiempo de carbonatación es menor que en el anterior. Las resistencias a flexión disminuyen y aumentan las resistencias y flexión disminuyen y aumentan las resistencias a compresión, cuando hay formación de carbonato cálcico.

Los tratamientos 6 y 7, de larga duración (72 horas), llegan a mayores resistencias a compresión, pero con resistencias a flexión semejantes a las de la forma cúbica (tratamiento 9); de acuerdo con los difractogramas el C_3AH_6 desaparece cuando la temperatura de tratamiento con CO_2 es de 85°C , y queda un poco cuando el tratamiento con CO_2 se realiza a 70°C .

Finalmente, el tratamiento que da los mejores resultados de resistencia a compresión es el 8. En este caso la carbonatación dura 19 horas a 98°C con CO_2 a 0,14 MPa en medio húmedo, se sigue el tratamiento en medio húmedo sin CO_2 , durante 43 horas a 110°C . En este caso el aluminato monocálcico desaparece completamente y la formación de calcita es menor que en el caso anterior. La probeta tiene un aumento relativamente fuerte de peso (18 gramos) es decir un 30 %, hay formación de C_3AH_6 después de la carbonatación —con el CA que aún permanece del tratamiento con CO_2 , al calentar nuevamente a 110°C , la probeta. La resistencia a compresión es notable, 90 MPa, aunque la resistencia a flexión desciende a 7,2 MPa, la porosidad del mortero es la más baja que se ha obtenido.

3.4. Observaciones

- Cuando las probetas se curan sumergidas en agua, desciende la resistencia a compresión y aumenta la resistencia a flexión. Esto que en la práctica no tiene utilización. Hay que tenerlo en cuenta para obtener resultados comparativos.
- El aumento de peso de las probetas es el método más simple y económico para comprobar el grado de carbonatación de las probetas; hay una relación con el

Avec le traitement n.º 4, le temps de carbonatation augment (7 heures), la résistance à flexion cependant diminue, la résistance à compression augmente légèrement, et la teneur en CaCO_3 et C_3AH_6 s'abaisse, ce qui veut dire qu'il n'est pas rentable par rapport au précédent.

Le traitement n.º 5 donne le maximum de CaCO_3 , une diminution conséquence du C_3AH_6 qui se décompose, une augmentation de la résistance à compression et une diminution de la résistance à flexion. Dans ce cas, le temps de carbonatation est aussi inférieur au précédent. Les résistances à flexion diminuent et les résistances à compression augmentent lorsqu'il y a formation de carbonate calcique.

Les traitements n.ºs 6 et 7, très longs (72 heures), arrivent à des résistances plus grandes à compression mais avec des résistances à flexion semblables à celles de forme cubique qui, d'après les diffractogrammes, disparaît lorsque la température du traitement avec CO_2 est de 85°C , et il en reste un peu lorsque le traitement avec CO_2 est effectuée à 70°C .

Enfin, le traitement qui a donné les meilleurs résultats en tant que résistance à compression, c'est le traitement n.º 8. Dans celui-là, la carbonatation s'effectue durant 19h à 95°C avec CO_2 à 0,14 MPa en milieu humide, et le traitement se poursuit sans CO_2 en milieu humide, pendant 43 heures, à 110°C . Dans ce cas l'aluminat calcique disparaît complètement, et la formation de calcite est plus faible que dans le cas précédent; l'éprouvette à une augmentation de poids relatif très forte (18 grammes), c'est à dire 3 % réel de l'augmentation du poids, il y a formation de quelque C_3AH_6 après la carbonatation —avec le CA qui restait avec le traitement avec CO_2 , en chauffant l'éprouvette à nouveau—. La résistance à compression est remarquable, 90 PMA, bien que la Flexion descende à 7,2 MPa; la porosité du mortier est la plus basse obtenue.

3.4. Observations

- *Lorsque les éprouvettes sont curées sous l'eau, la résistance à compression descend et la résistance à flexion augmente, ce qui, dans la pratique, n'est pas utilisable; mais il faut en tenir compte pour obtenir des résultats comparatifs.*
- *L'augmentation des poids dans les éprouvettes s'avère la méthode plus simple et plus économique à prouver le degré de carbonatation des éprouvettes, et il est en*

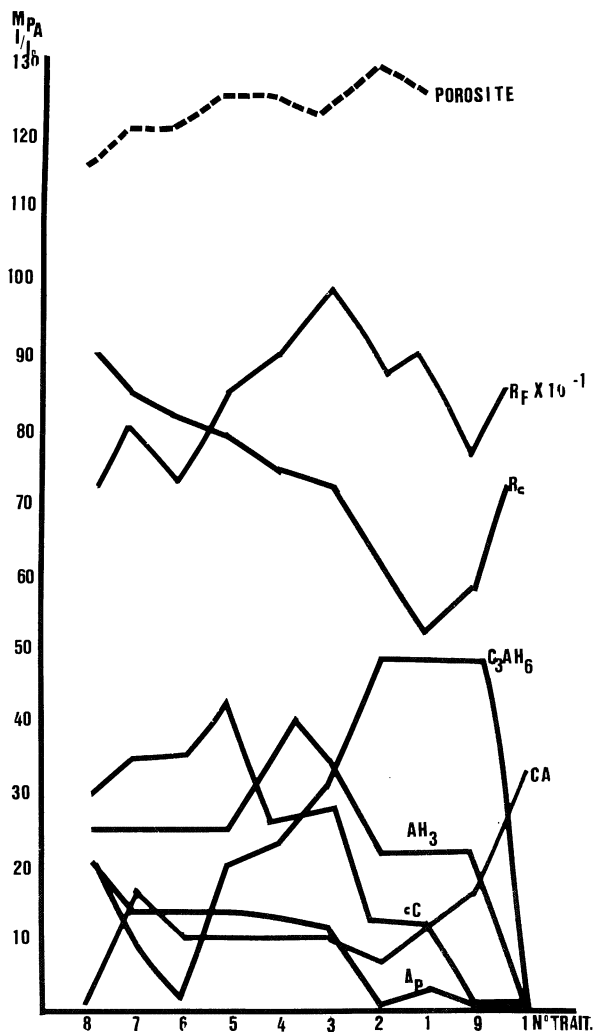


Fig. 4

aumento de las resistencias a compresión, ocasionada por la formación de calcita, aragonito y/o vaterita.

- Durante la hidratación del cemento aluminoso a 20° C, queda siempre una parte de aluminato monocálcico sin hidratar. En caliente a temperaturas elevadas 80° C-90° C, con tiempo suficiente, se hidrata todo el aluminato monocálcico.

Si la carbonatación ha durado y sido suficiente, no debe de quedar aluminato tricálcico hexahidratado, ya que se debe de descomponer en aragonito, vaterita, calcita, alúmina y/o hidróxidos de aluminio. Con el fin de encontrar las condiciones óptimas de tratamiento, en un tiempo razonable, se preparó una serie de probetas prismáticas de 4 × 4 × 16 cm con: 500 g de cemento aluminoso, 1.500 g de arena normalizada y

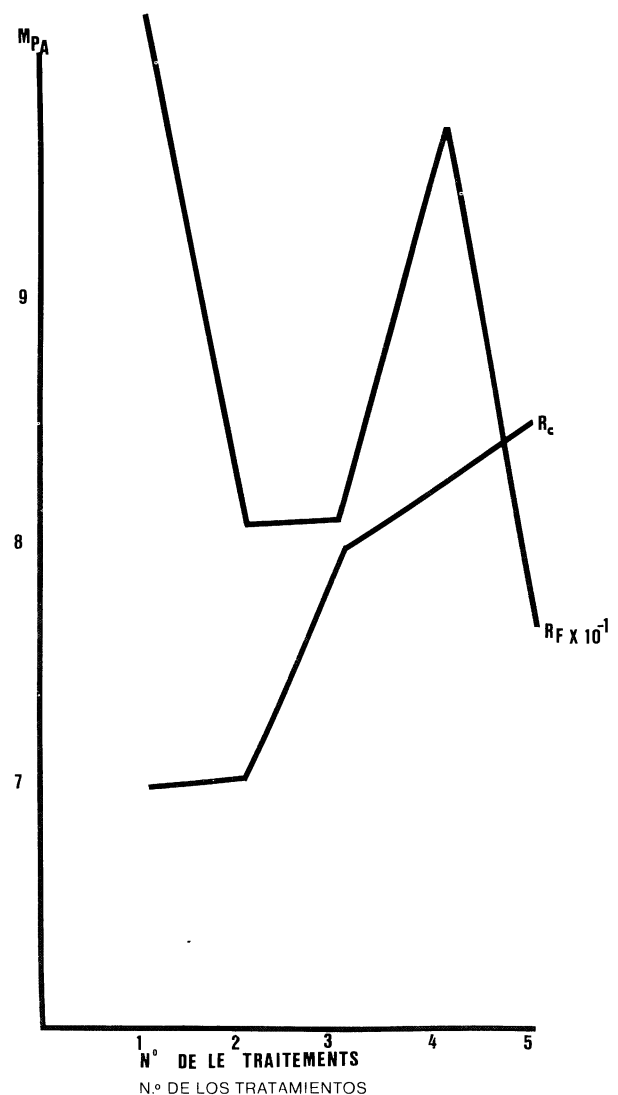


Fig. 5

relation avec l'augmentation des résistances à compression, étant donné que cette formation est due à la formation de calcite, aragonite et/ou vaterite.

- Pendant l'hydratation du ciment alumineux à 20° C, une partie de l'aluminat calcique rest toujours sans s'hydrate. Si le temps d'hydratation au chaud a été suffisant, tout l'aluminat monocalcique est hydraté.

Si la carbonatation a duré et a été suffisante, il ne doit pas rester d'aluminat tricalcique hexahidraté car celui-là doit se décomposer, par carbonatation, en aragonite, vaterite, calcite, alumine et/ou hydroxides d'aluminium. A fin de trouver les conditions optimales du traitement, dans un temps raisonnable, une série d'éprouvettes prismatiques de 4 × 4 × 16 cm fût préparée avec: 500 gr de ciment alumineux, 1.500 gr de sable normalisé

220 ml de agua desionizada. Los moldes de tres probetas, el cemento, arena y agua se calentaron a 100° C. La temperatura de 100° C se mantuvo en el interior del recipiente a presión en donde estaba el molde, con las probetas durante 4 horas. Se desmoldearon las probetas que fueron sometidas a los tratamientos y curados siguientes.

1. 24 horas a 100° C con agua y CO₂, curadas 24 horas bajo agua.
2. 28 horas a 20° C con agua y CO₂, curadas 24 horas al aire.
3. 24 horas a 20° C con agua y CO₂, curadas 24 horas al aire.
4. 24 horas a 100° C con agua y CO₂, curadas 24 horas en cámara húmeda.
5. 24 horas a 100° C con agua y CO₂, curadas 24 horas al aire.

Los resultados de las resistencias mecánicas a flexión y compresión se encuentran en la figura 5.

Se observa el aumento de las resistencias a flexión cuando el curado se realiza bajo agua o con humedad a saturación.

En nuestra opinión el aumento de las resistencias mecánicas de 2 MPa, no se produce en la realidad, ya que las obras no se mantienen en condiciones de humedad a saturación o bajo agua (salvo canalizaciones, conducciones de agua y otras sumergidas en general), por lo cual estos resultados son ficticios.

La resistencia a compresión más elevada se da en los dos últimos tratamientos que implican un tiempo elevado de carbonatación de 24 horas.

La carbonatación puede ser efectuada industrialmente utilizando gases de combustibles que se pierden a menudo sin utilización ulterior en numerosas industrias; De la misma forma las temperaturas utilizadas pueden ser obtenidas con gases industriales entre 80° C y 100° C que se pierden en numerosos procesos, tales como fusión de hierro y otros metales, centrales térmicas, calefacción, fabricación de cementos, de hierro, de azúcar, en general de todo proceso industrial que implique una combustión, sobre todo en los casos donde la recuperación de calor no se realiza con eficacia.

El proceso en general implica una aceleración de los fenómenos que se dan de una forma natural en la hidratación del cemento aluminoso durante muchos años. Si se acelera

et 220 ml d'eau déionisée. Les moules des trois éprouvettes fût chauffé à 100° C ainsi que le ciment, l'eau et la sable. La température du moule des éprouvettes fût maintenue à l'intérieur du cuiseur pendant 4 heures. Elles furent ensuite démoulées et soumises aux traitements et aux cures suivants:

1. *24 heures à 100° C avec eau et CO₂ curé 24 heures sous eau.*
2. *28 heures à 20° C avec eau et CO₂ curé 24 heures à l'air.*
3. *24 heures à 20° C avec eau et CO₂ curé 24 heures à l'air.*
4. *24 heures 100° C avec eau et CO₂ curé 24 heures chambre humide.*
5. *24 heures 100° C avec eau et CO₂ curé 24 heures à l'air.*

Les résultats des résistances mécaniques à flexion et compression se trouvent dans la figure 5.

On observe l'augmentation des résistances à flexion lorsque la curé est effectuée sous l'eau ou avec humidité à saturation. De toute façon notre opinion est que les augmentations de la résistance mécanique, de quelque 2 MPa ne se produisent pas en réalité, car les ouvrages ne subissent pas ces conditions d'humidité, donc, les résultats sont fictifs. La résistance à compression la plus élevée se trouve dans les deux derniers traitements qui impliquent un temps élevé de 24 heures de carbonatation.

La carbonatation pourrait être effectuée industriellement en utilisant les gaz de combustion qui se perdent très souvent sans utilisation ultérieure dans de nombreuses industries; de même les températures employées peuvent être obtenues avec les gaz industriels entre 80° C et 100° C qui se perdent dans de nombreux procès, tels que fusions de fer et autres métaux, centraux thermiques, chauffages, fabrication de ciments, de fer, de sucre, en général de tout procès industriel qui comporte une combustion, surtout dans les cas où la récupération de chaleur n'est pas effectuée avec efficacité.

Les procès, en général implique une accélération des phénomènes qui se succèdent d'une façon naturelle dans l'hydratation di ciment aluminaux tout au long de plusieurs

dicho proceso, se evitan las reacciones intermedias, con una economía del agua consumida en las reacciones, lo que beneficia a las resistencias mecánicas e impide su degradación. Hay una serie de reacciones, que aún siendo termodinámicamente estables las fases formadas (C_3AH_6), en contacto con el aire y/o el CO_2 dejan de serlo. Esto produce un aumento de las resistencias mecánicas y una disminución de las resistencias a flexión, pero siempre menores que las producidas por una conversión a través del aluminato cálcico decahidratado.

années. Si on accélère ces procès, les réactions intermèdes sont évitées, avec une économie d'eau consommée, ce qui bénéficie les résistances mécaniques et empêche leur dégradation. Il y a une série de réactions qui, même étant thermodynamiquement stables au contact avec le gaz carbonique de l'air, cessent de l'être; ce qui produit une augmentation des résistance mécaniques et une diminution dans les résistances à flexion, mais toujours plus petites que celles produites par une conversion à travers l'aluminato calcique deca-hydraté.

BIBLIOGRAPHIE

- 1.º On the carbonation mechanism of calcium aluminate hexahydrate in hydrated high alumina-cement. Supplementary paper Section III - III - 4 The VI International Congress on the chemistry of cement A. Ruiz de Gauna F. Triviño y T. Vázquez. Set. 1974. Moscow.
- 2.º Estudio de las transformaciones del cemento aluminoso hidratado mediante las técnicas de difracción de Rayos X, Espectrometría Infrarroja y Análisis Térmico. Influencia del anhídrido carbónico, temperatura, humedad y adición de caliza en polvo. T. Vázquez, F. Triviño, A. Ruiz de Gauna. Materiales de Construcción n.º 157 43-70. 1975 n.º 158, 1-48. 1975. Monografía número 334. Julio 1976.
- 3.º On the carbonation mechanism of calcium aluminato hexahydrate in hydrated hig alumina cement. Research working papers n.º 31. F. Triviño, A. Ruiz de Gauna, T. Vázquez. Noviembre 1975. I.E.T.c.c. (Madrid-33).
- 4.º Nuevo procedimiento de fabricación de elementos prefabricados de hormigón de cemento aluminoso que no experimentan transformaciones perjudiciales. Patente n.º 423.305. C.S.I.C. España 1974.
- 5.º Study of stabilized phases in high alumina cement mortars. M. Pérez, T. Vázquez, F. Triviño. Cement and Concrete Research. Vol. 13 759-770 1983. Vol. 14 1-10 - 1984.
- 6.º Aspectos físico-químicos y estabilización de los aluminatos cálcicos resultantes de la hidratación del cemento aluminoso. M. Pérez Méndez, Fernando Triviño. Informes de la Construcción n.º 332. 1981.

* * *

publicación del i.e.t.c.c.

ACUEDUCTOS ROMANOS EN ESPAÑA

Carlos Fernández Casado

Prof. Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Esta publicación se compone de una serie de artículos, publicados en la Revista «Informes de la Construcción», en los cuales se hace un análisis de los acueductos romanos que existen en España y el balance de las condiciones de conservación en que se encuentra cada uno de ellos, incluyendo referencias históricas y literarias. Se ha ilustrado con la reproducción de la valiosa documentación gráfica que posee el prestigioso autor.

Un volumen encuadernado en couché, a dos colores, de 21 x 27 centímetros, compuesto de 238 páginas, numerosos grabados, dibujos, fotos en blanco y negro y figuras de línea.

Precio: España, 900 ptas., 13 \$ USA.

