

# Efecto del CO<sub>2</sub> sobre el hormigón poroso

ZDENEK SAUMAN; Research Institute of Building Materials, Brno (Checoslovaquia)

«Cement and Concrete Research, Vol. 2; pp. 541; 1972

Traducido por: OLGA FERNANDEZ-PEÑA SECADES, Perito Industrial Químico

## RESUMEN

Debido a la acción del CO<sub>2</sub> y de la humedad sobre un hormigón poroso, la tobermorita 11 Å se descompone en vaterita, calcita y SiO<sub>2</sub> gel. A causa de la pseudomorfosis, la morfología de los cristales de la fase cementante no sufre cambios notables. La menor resistencia a la compresión se obtuvo después de 30 días de conservación en atmósferas de un 10 y un 30 % de CO<sub>2</sub>. Después de un año de conservación, las resistencias no bajaron más de un 10 %. En lo que respecta a la retracción de un hormigón poroso, la principal influencia fue la ejercida por la acción del CO<sub>2</sub> y solamente en segundo lugar figura la acción ejercida por la humedad ambiente. Los hormigones porosos expuestos al aire (con su 0,03 % de CO<sub>2</sub>) a h. r. de 50, 70 y 100 % sufrieron al cabo de un año una expansión muy ligera.

## INTRODUCCION

Uno de los principales métodos para determinar la vida en servicio de un hormigón poroso, se basa en la investigación sobre la influencia que ejercen el CO<sub>2</sub> y la humedad ambiente sobre dichos hormigones. Previamente, se han publicado algunos artículos sobre la carbonatación de hormigones porosos (1-12), los cuales nos han proporcionado una evidencia acerca de los efectos de la acción prolongada del CO<sub>2</sub> sobre sus propiedades físico-mecánicas.

Vamos a demostrar que la tobermorita 11 Å, principal componente cementante de los hormigones porosos, se transforma, por medio de la influencia del CO<sub>2</sub> y de la humedad relativa del ambiente, primeramente en vaterita, la cual, subsiguientemente, se transforma en calcita estable. También vamos a ver que la morfología de la mayoría de los cristales estables (7) no presentó ningún cambio, mientras que la tobermorita 11 Å se descomponía en calcita o en mezcla de calcita y vaterita y SiO<sub>2</sub> gel. La cuestión que se plantea es ver si este pseudomorfismo produce cambios en la resistencia a la compresión.

## ENSAYO

Para estudiar el efecto del CO<sub>2</sub> sobre hormigones porosos, se confeccionaron probetas que tenían la composición siguiente: 67,0 % de arena de cuarzo; 27 % de cemento portland y 6 % de caliza; además de un 0,05 % de polvo de aluminio. Con esta mezcla se amasaron y confeccionaron las probetas del ensayo, sometiéndolas posteriormente a un tratamiento en autoclave durante 6 horas a 193°C.

Debido al sorprendente hallazgo, que después de 1-2 años de conservación en atmósfera de  $\text{CO}_2$  la acción de éste no ha reducido sustancialmente la resistencia, se repitieron los ensayos con modificaciones. Las probetas eran cubos que tenían 40 mm de lado y una densidad próxima a  $500 \text{ kg/cm}^3$ . Estos se conservaron al aire (0,03 % de  $\text{CO}_2$ ), y en mezclas de aire y  $\text{CO}_2$ , cuyos contenidos de éste por volumen eran 1, 10 y 30 %. El equipo de carbonatación es el descrito en (7).

Las probetas ensayadas permanecieron en cada uno de los ambientes estudiados, durante 7, 30, 60, 180 y 365 días. Los resultados de compresión son la media de 6 ensayos individuales para cada edad estudiada. Simultáneamente, sobre prismas del mismo hormigón poroso, de  $60 \times 60 \times 160 \text{ mm}$ , se hicieron medidas del cambio de longitud.

Las probetas también fueron examinadas por difracción de rayos X y microscopía estereoelectrónica.

La microestructura de las probetas también se examinó por difracción de rayos X y por microscopía estereoelectrónica (S.E.M.), tal y como se describe en (7).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de rayos X muestran que sólo después de 7 días de exposición a la acción del  $\text{CO}_2$  (a concentraciones de 10 y 30 %) y a h. r. de 50, 75 y 100 %, la tobermorita 11 Å se transformó en vaterita y subsiguientemente en calcita. En ambientes del 30 % de  $\text{CO}_2$  y a h. r. de 100 %, toda la tobermorita se descompuso en calcita, una pequeña cantidad de vaterita y en  $\text{SiO}_2$  gel. A los 30 días de conservación en atmósferas de 10 y 30 % de  $\text{CO}_2$  y en h. r. de 50, 75 y 100 %, la tobermorita 11 Å se descompone. En ninguna de las probetas se detectó aragonito.

Al carbonatar muestras de hormigón poroso, sólo se vieron cantidades sustancialmente pequeñas de vaterita, en comparación con la tobermorita 11 Å, lo que nos hace suponer que la vaterita formada se transforma inmediatamente y en gran extensión en calcita estable.

Después de un año de reacción bajo la acción del  $\text{CO}_2$ , a humedades relativas de 50 y 75 %, permanece una pequeña cantidad de tobermorita en el hormigón poroso. En otro medio ambiente, este principal componente cementante fue completamente transformado en calcita o en una mezcla de calcita y vaterita. En las probetas conservadas en atmósferas de 1, 10 y 30 % de  $\text{CO}_2$  y h. r. del 100 %, a veces había presente más calcita en comparación con las muestras conservadas en otro medio.

Las probetas de hormigón poroso conservadas durante un año al aire (0,03 % de  $\text{CO}_2$ ) a h. r. de 50 % de 75 % y de 100 % contenían una considerable cantidad de tobermorita 11 Å y solamente una pequeña porción de calcita.

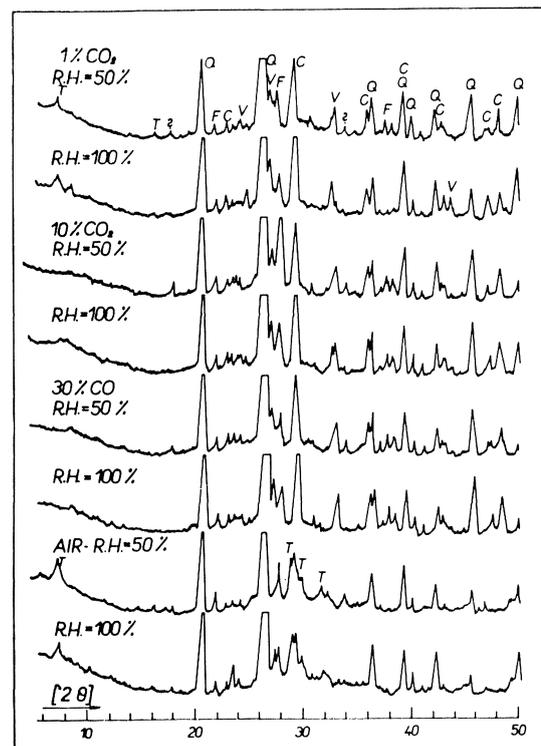


Fig. 1.—Diagramas de difracción por rayos X de una muestra de hormigón poroso, almacenada durante 1 año.

C = calcita; Fx = feldespato; Q = cuarzo; T = tobermorita 11 Å; V = vaterita.

En la figura 1 se dan los diagramas de difracción de rayos X del hormigón poroso, después de su permanencia en las diferentes atmósferas de CO<sub>2</sub> estudiadas, tal y como se ha indicado, durante 1 año.

En el estereoelectrónograma de la figura 2 puede verse fácilmente la microestructura del hormigón poroso, antes del proceso de carbonatación. Los cristales de tobermorita 11 Å, aparentemente tienen forma plana y forma de hoja, íntimamente eslabonados/enlazados y constituyen “el esqueleto de unión” de la estructura del producto.

Durante el curso de la carbonatación no ocurren cambios sustanciales en aquellas configuraciones, incluso después de un año de conservación la microestructura de la masa presenta un carácter similar al de la muestra antes de la carbonatación, mientras que toda la tobermorita 11 Å ha sido convertida en calcita (vaterita) y SiO<sub>2</sub> gel. Este hecho puede ser básicamente explicado por medio de la pseudomorfosis. La masa de los cristales de tobermorita 11 Å se convierte por la acción del CO<sub>2</sub> en calcita (vaterita) y SiO<sub>2</sub> gel, sin ningún cambio sustancial en la forma. Puede suponerse que solamente en pequeña extensión acaece un fallo en las áreas y puntos de contacto de los cristales individuales, los cuales, aparentemente, no afectan sustancialmente a las propiedades físicas y mecánicas que el producto tiene en ese momento, después de la carbonatación.

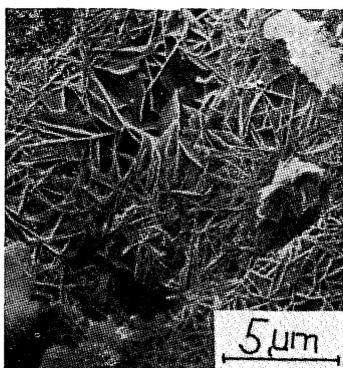


Fig. 2.—Fotomicrografía estereoelectrónica del hormigón poroso antes de carbonatar.

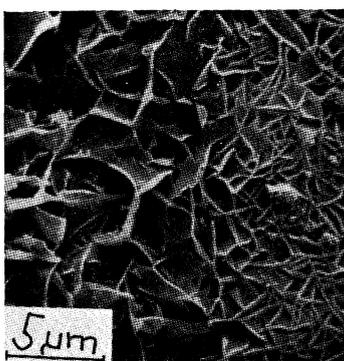


Fig. 3.—Fotomicrografía estereoelectrónica del hormigón poroso almacenado durante un año en CO<sub>2</sub> al 10 % y una h. r. = 75 %.

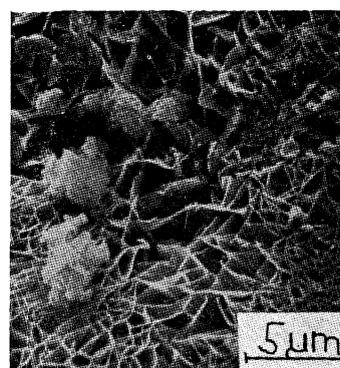


Fig. 4.—Fotomicrografía estereoelectrónica del hormigón poroso, almacenado durante un año en CO<sub>2</sub> al 30 % y una h. r. = 100 %.

En algunas muestras, especialmene aquéllas expuestas al efecto de la concentración máxima del CO<sub>2</sub>, fue posible observar bordes desgastados en los cristales de la fase cementante.

Las resistencias a compresión de las probetas expuestas a la acción del aire y a la acción del CO<sub>2</sub> en concentraciones de 1, 10 y 30 %, y a una h. r. del 50 %, se muestran en la figura 5. Después de cinco días de conservación al aire y en atmósfera de CO<sub>2</sub> al 1 %, las resistencias de las probetas manifestaron un aumento considerable; las resistencias de aquéllas conservadas en atmósfera de CO<sub>2</sub> al 10 % no presentaron ningún cambio, y las resistencias de las probetas conservadas en atmósfera de CO<sub>2</sub> al 30 % decrecieron de una manera significativa. Las menores resistencias se obtuvieron sobre probetas conservadas en atmósferas de CO<sub>2</sub> en las concentraciones del 10 y del 30 %. De las probetas conservadas al aire, las de 90 días de edad presentaron las menores resistencias, después de los cuales éstas (resistencias) aumentaron notablemente a los 180 y 365 días. Las probetas conservadas en atmósferas con un 1, un 10 y un 30 % de CO<sub>2</sub>, a los 30 días de conservación presentaron la resistencia mínima, para aumentar hasta los 180 días después de los cuales las resistencias decrecieron o no presentaron ningún cambio.

Los hormigones porosos conservados en h. r. de 75 % (fig. 6) y al aire presentaron elevadas resistencias a compresión durante todo el tiempo que duró la investigación; es decir, en todas las edades de conservación. Las menores resistencias se encontraron en las probetas conservadas en atmósferas del 10 y del 30 % en volumen de CO<sub>2</sub> y a una edad próxima a los dos meses. Por otro lado, en todos los casos estudiados el descenso o caída de las resistencias más significativo fue a los 30 días de conservación. Las probetas conservadas en atmósferas del 1 % de CO<sub>2</sub> presentaron resistencias más elevadas que las probetas conservadas en atmósferas con un 10 y un 30 % de CO<sub>2</sub>, pero las curvas tenían el mismo trazo (aspecto) de máximo y mínimo.

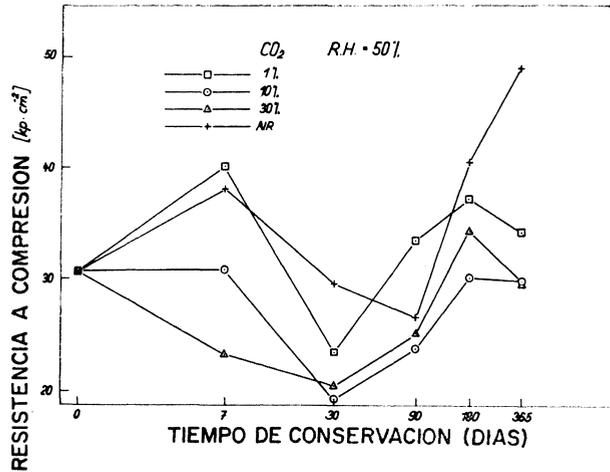


Fig. 5.—Resistencias a compresión del hormigón poroso conservado en una h. r. = 50 %.

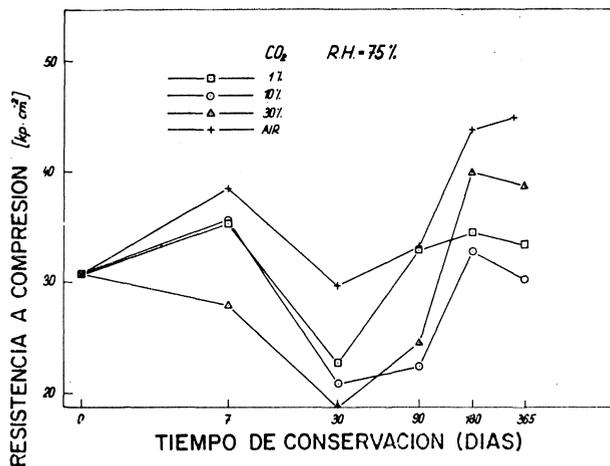


Fig. 6.—Resistencias a compresión del hormigón poroso conservado en una h. r. = 75 %.

En la figura 7 pueden verse las resistencias del hormigón poroso conservado en una atmósfera cuya h. r. era del 100 %. Por otro lado, las menores resistencias se obtuvieron sobre todas las probetas, cualesquiera que fuesen las condiciones de curado, a la edad de 30 días. Las resistencias de las probetas conservadas en atmósferas con un 10 y un 30 % de CO<sub>2</sub> fueron concordantes hasta el período de conservación de 90 días, pero a partir de ese momento las probetas conservadas en atmósferas del 30 % de CO<sub>2</sub> manifestaron un aumento significativo a la edad de 180 días; a partir de ésta, apenas cambió la resistencia de las probetas estudiadas.

En las tres humedades relativas estudiadas (50, 75 y 100 %) presenta particular interés el aumento que experimentan las resistencias entre los 90 y los 180 días de conservación.

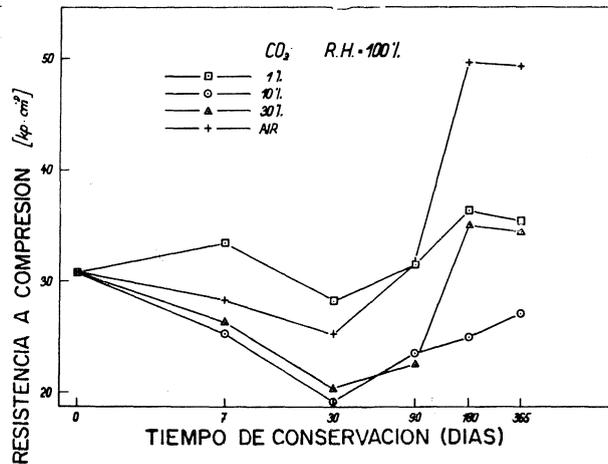


Fig. 7.—Resistencias a compresión del hormigón poroso conservado en una h. r. = 100 %.

En la figura 8 se dan las curvas de los cambios de longitud, la magnitud de la cual depende, en primer lugar de la concentración del CO<sub>2</sub> y después de la humedad relativa del ambiente circundante. Por este motivo, el descenso de los cambios de longitud del hormigón poroso, con dos excepciones aparentes, está de acuerdo/relacionado con los cuatro ambientes de CO<sub>2</sub> en los que se han conservado las probetas, 0,03 (aire), 1, 10 y 30 % de CO<sub>2</sub>. Es interesante el hecho de que los grandes cambios de longitud en estos grupos se manifestaron en las probetas conservadas en una h. r. de 75 %, con la sola excepción de las probetas conservadas en atmósfera con un 1, 10 y 30 % de CO<sub>2</sub> a una h. r. de 50, y al cabo de los 10 días de conservación.

Las mayores retracciones se registraron en las probetas expuestas a una atmósfera con un 30 % de CO<sub>2</sub> y una h. r. del 75 %; mientras que las probetas conservadas en atmósfera con un 1 % de CO<sub>2</sub> y una h. r. de 50, 75 y 100 % manifestaron ligerísimos aumentos de longitud, y sólo después de los 40, 50 y 90 días de conservación o permanencia hay una pequeña retracción. Las probetas conservadas al aire expanden ligeramente después de 180 y 365 días.

De los datos obtenidos se deduce que con el aumento de la concentración del CO<sub>2</sub>, el período de máxima retracción del hormigón poroso cambia de dirección, hacia tiempos más cortos de permanencia en CO<sub>2</sub>. En cambiantes con un 1 % de CO<sub>2</sub>, estas retracciones alcanzan los valores

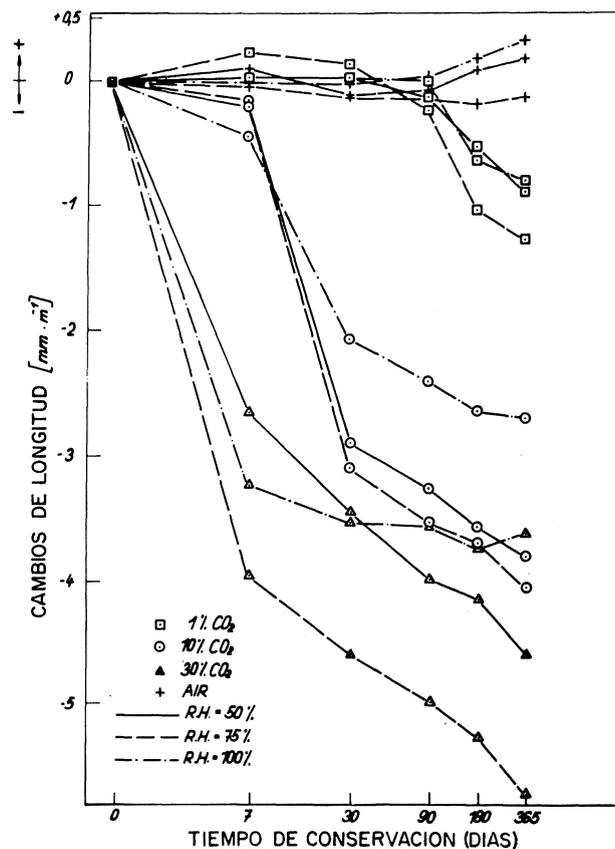


Fig. 8.—Cambios de longitud del hormigón poroso.

máximos durante los períodos de tiempo de 90-180 y 365 días; en atmósferas con un 10 % de CO<sub>2</sub>, el valor máximo se encuentra de 7 a 30 días; y en atmósferas con un 30 % de CO<sub>2</sub>, el valor máximo se encuentra cerca de los 7 días. Este hecho está probablemente asociado con el grado de descomposición de la tobermorita 11 Å.

## CONCLUSIONES

- 1.º El grado de carbonatación del hormigón poroso es proporcional a la concentración de CO<sub>2</sub>, la humedad relativa del ambiente, así como al tiempo de permanencia en CO<sub>2</sub>.
- 2.º El principal componente cementante, la tobermorita 11 Å, comienza a descomponerse durante los primeros 7 días en todos los ambientes empleados. Dentro de los 30 días de permanencia en 10 y 30 % de CO<sub>2</sub> y a 50, 75 y 100 % de h. r., la tobermorita se descompone totalmente. Una pequeña cantidad de esta fase estaba presente en la muestra después de un año de permanencia o conservación en un 10 % de CO<sub>2</sub> y a 50 y 75 % de h. r.

En el ambiente de máxima h. r. (100 %) se pudo identificar una pequeña cantidad de vaterita; bajo condiciones idénticas en la muestra que contenía tobermorita 11 Å sólo la vaterita se descompuso completamente.

- 3.º La reducción más significativa de resistencias a compresión se observó entre 1 y 30 días. La mayor se observó en las probetas conservadas en atmósferas conteniendo 10 y 30 % de CO<sub>2</sub>, a h. r. de 50, 75 y 100 %. Esta reducción de las resistencias está estrechamente relacionada con la descomposición de la tobermorita, y en un cierto grado, un poco es debido a la microestructura modificada con respecto al supuesto menor cambio en la morfología de las partículas, así como el número y carácter de las áreas de contacto de los cristales de la fase de unión. Una caída de las resistencias a compresión, en comparación con las presentadas antes de la carbonatación, sólo se observó en las probetas conservadas en atmósferas con un 10 y un 30 % de CO<sub>2</sub>, a una h. r. de 100 %, pero esta disminución de resistencias fue relativamente baja, representando sólo un 10 % del valor original.
- 4.º La retracción del hormigón poroso es proporcional a la concentración de CO<sub>2</sub> y al tiempo de permanencia, mientras que la humedad relativa presenta una influencia sobre el cambio de volumen sustancialmente más pequeña.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) J. VASICEK: Durability of Autoclaved Concretes in Different Environment, Research Report, Research Institute of Overground Building, Praha (1963).
- (2) L. N. RASHKOVITSH: *Stroit. Mater.* 8, 6, 31 (1962).
- (3) WANG-YEN-MON, TUNG-HSÜCH-LI, WEI-FA-UN: *J. Silic. Soc.* 3, 3, 128 (1964).
- (4) V. LACH: Research Report, Technical University Brno, Department of Building Construction (1967).
- (5) M. MATOUSEK: Research Report, Technical University Brno, Department of Building Construction (1970).
- (6) Z. SAUMAN: Research Report, Research Institute of Building Materials, Brno (1969).
- (7) Z. SAUMAN: *Cement and Concr. Research* 1, 645 (1971).
- (8) V. LACH: *Stavební vyzkum* 15, 1 (1971).
- (9) K. K. KUATBAJEV: *Silikattechnik* 21, 383 (1970).
- (10) S. A. KRJEMINSKIJ, D. G. ZEMCOFF, L. A. KROJCZUK, B. B. KRJIJANOVSKIJ: *Stroit Mater.* 15, 23 (1969).
- (11) E. S. SILAENKOFF: *Sbor. trudoff, Proekt. NII Ural. Promstroj NII proekt.* No. 24, 63 (1970).
- (12) E. S. SILAENKOFF, G. V. TICHOMIROFF, A. D. ULJANOVA, G. M. ZACHARIKOVA: *Sbor. trudoff, Proekt. i NII Ural. Promstroj NII proekt.* No. 24, 96 (1970).