

680-29 ACCIONES AGRESIVAS SOBRE EL HORMIGON

Editorial

- Sinopsis -

Se pasa revista a los distintos tipos de ataques que puede sufrir el hormigón, así como a las sustancias que lo llevan a cabo, indicándose las causas, tal como se aceptan hoy en día por la mayoría de los investigadores. Se analizan, a continuación, los distintos procedimientos empleados para lograr la protección del hormigón, dedicando especial atención al procedimiento de ocratización.

El hormigón es actualmente, y gracias a los extraordinarios progresos realizados en esta esfera de la técnica moderna, uno de los materiales de construcción con mayor campo de aplicación.

Sin embargo, hasta hace poco tiempo, la tecnología del hormigón, muy completa en algunos aspectos, presentaba en otros una serie de lagunas, que, en cierto modo, reducían considerablemente la eficacia del mismo como material de construcción universal. Nos referimos, en particular, a la sensibilidad del hormigón a los ataques de diversos agentes, que conducen a una destrucción, más o menos rápida, del mismo.

Los intentos realizados para lograr una adecuada protección contra dichas acciones agresivas han sido fructuosos. Dirigidos en muy diversas direcciones han permitido conseguir una serie de conocimientos tales, que proporcionan suficientes datos y procedimientos para poder preparar y tratar adecuadamente un hormigón con una resistencia adecuada a todas las acciones agresivas.

A continuación, presentamos, de forma breve, algunas consideraciones sobre este problema tan interesante.

ATAQUE DEL HORMIGÓN

Hemos de aclarar, desde el principio, que el ataque del hormigón no es únicamente un fenómeno de carácter químico, sino también físico, siendo numerosos los casos en que dichas acciones ejercen su efecto simultáneamente.

Corrientemente, el ataque del hormigón se debe a la acción de líquidos (líquidos puros o soluciones) o de gases, de naturaleza y propiedades muy diversas entre sí, lo que pone de manifiesto que, como acabamos de indicar, el fenómeno en sí no es único.

El ataque químico aislado es poco frecuente, al menos como lo admiten la mayoría de los autores. Generalmente, este tipo de ataque va acompañado de una serie de fenómenos físicos. En general, se supone que el ataque es puramente químico cuando, transcurrida la reacción^(*) que haya de tener lugar entre el aglomerante y el líquido agresivo, el nuevo compuesto formado cristaliza sin variación de volumen, de forma que la descomposición química es debida, simplemente, a la destrucción de la estructura del aglomerante. Mucho más frecuente es que dichos compuestos se disuelvan, dando lugar, como resultado final, al fenómeno conocido con el nombre de corrosión del hormigón; o bien, que cristalicen con un aumento considerable de volumen, que determina que el hormigón salte y se desmorone. En cambio, tendremos un caso de ataque físico en el que realizan soluciones químicamente inactivas, - que determinan la formación de cristalizaciones que no atacan químicamente al aglomerante.

La determinación exacta de cual es en cada caso el tipo de ataque que lleva a cabo una cierta sustancia es bastante difícil, por

(*) El ataque mediante reacciones químicas implica la existencia, en el cemento, de cal libre y de compuestos básicos.

el hecho de existir, en la mayoría de los casos, una superposición de efectos, siendo contados los casos en que dicho ataque se debe a un solo tipo de acción. Por esta razón creemos preferible en primer lugar, pasar revista, más o menos detallada según los casos, al conjunto de agentes que pueden ejercer una acción agresiva sobre el hormigón, con lo cual se facilitará la comprensión de los métodos más adecuados para el estudio de dichos ataques.

(a) agua pura

El agua muy pura actúa disolviendo la cal. Son peligrosas las aguas con un grado hidrotimétrico inferior a 4.

(b) materias orgánicas

Los aceites, la glicerina disuelta, el benceno, los jabones, el azúcar, etc., atacan al hormigón; en particular, la leche, lo hace por el ácido láctico que contiene. En cambio, los aceites minerales y vegetales (salvo el mazout), el formol, el vino, la sidra, etc., no tienen acción sensible sobre el hormigón.

(c) ácidos

El ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido carbónico, ácido láctico, ácido acético, etc., atacan intensamente al hormigón.

El ácido corhídrico ataca a la cal, con formación de cloruro cálcico, muy soluble. El ácido sulfúrico transforma la cal del cemento en yeso, que al cristalizar hace saltar al hormigón.

(d) sales

La acción de las sales es muy diversa. Se han de tener en cuenta los sulfatos, los carbonatos, los cloruros, los sulfuros, etc.

El sulfato cálcico reacciona con la alúmina para formar - cristales voluminosos, que crean una serie de esfuerzos, que destruyen al hormigón. Este compuesto puede proceder de los humos, del agua del subsuelo (no debe contener más de 0,5 g/l de sulfato), etc. Los sulfatos magnésico, sódico y potásico atacan también al hormigón.

El carbonato sódico tiene sólo una acción pequeña sobre el hormigón (por cristalización).

El cloruro sódico no presenta ninguna reactividad química sobre el hormigón y además cristaliza sin agua de cristalización; razones por las cuales queda excluido de participar en ningún tipo de ataque.

El caso del agua de mar es extraordinariamente interesante. Parece que hasta el presente no existe uniformidad de criterio sobre la forma en que transcurre el fenómeno del ataque del hormigón por el agua de mar. En principio, parece ser que son las sales disueltas^(*) las que actúan sobre el aglomerante. Blosset admite que el proceso transcurre por acción, principalmente, de los sulfatos cálcico y magnésico, según:

1. hidratación de la cal libre, con aumento de volumen, lo cual determina un hinchamiento del hormigón.

2. combinación del sulfato magnésico con esta cal hidratada, dando un sulfato cálcico inconsistente, lo cual determina un reblandecimiento del hormigón.

3. combinación del sulfato cálcico producido en la reacción anterior (y del que se encuentra disuelto en el agua de mar) con la alúmina del aglomerante, para dar un sulfoaluminato tricálcico o sal de Candlot ($\text{AlO}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{SO}_4 \cdot \text{Ca} \cdot 3\text{OH}_2\text{O}$); sal muy voluminosa, y cuya formación

(*) El ataque por el agua de mar es tanto mayor cuanto más elevada es la temperatura y cuanto mayor es la concentración salina.

va acompañada de una expansión considerable, que determina la destrucción del hormigón.

En cambio, Dubrisay y Lafuma admiten que el agua de mar actúa por sus cloruros, sulfatos y bicarbonatos, alcalinos y alcalinotérricos. La descomposición sería debida a dos fenómenos sucesivos:

- 1) eliminación de la cal por difusión (fenómeno de Maynard)
- 2) hinchamiento y descomposición subsiguiente de la masa debilitada.

Desde luego, hay que advertir que los hormigones quedarían rápidamente destruidos si la hidrólisis de los aglomerantes no quedase parcialmente compensada por diversas acciones protectoras: carbonatación de la cal por la acción de los bicarbonatos, y formación de sílice y de alúmina hidratadas, con obturación de los poros y reducción de los fenómenos de difusión. Es evidente que el hidróxido cálcico, formado por hidrólisis, no se encuentra sometido a las acciones agresivas, debido a que queda envuelto y protegido por una masa de gel, que se ha producido por reacción topoquímica de los silicatos cálcicos anhidros.

Ahora ya, a la vista de los distintos tipos de ataque que puede sufrir un hormigón, puede fijarse un procedimiento de ensayo - que nos permita determinar cuál es la forma de acción de una cierta sustancia sobre aquél. Hummel y Dickersbach-Baronetzky proponen los siguientes ensayos:

a) si existen ácidos o líquidos, cuyas sales cristalizan sin aumento de volumen (ataque químico), las probetas se han de sumergir totalmente en el líquido cuya acción se quiere determinar, especialmente si se desea investigar la influencia de la concentración. Des

de luego, no se recomienda realizar la pulverización de la lechada de cemento endurecida, agitando después el polvo con el líquido en cuestión, pues de esta forma no se puede estudiar la influencia de la estructura.

b) Si se espera que las sales ejerzan ataques, tanto químicos como físicos, se recomienda utilizar dos series de probetas, introduciendo unas totalmente en el líquido y otras sólo hasta la mitad (con lo cual se facilita la cristalización).

c) solamente en el caso de sales químicamente perjudiciales, que pueden ocasionar daños por la presión de cristalización, es suficiente realizar el ensayo con probetas sumergidas hasta la mitad, a temperatura normal. Para el estudio de esta destrucción puramente física no se puede seguir el método prescrito por la norma DIN 52.111, según el cual la probeta se introduce por completo en la solución y después se seca a 105-110°C. Este ensayo, así realizado, carece de valor práctico, si se tiene en cuenta que en la obra no se alcanzan nunca temperaturas tan elevadas.

A la vista de cuanto hemos presentado hasta este momento, podemos volver a insistir sobre las causas del ataque que sufre el hormigón.

Tanto el ataque químico puro como el físico puro son poco frecuentes; es decir, lo corriente es que ambos superpongan sus efectos, no simultánea, sino sucesivamente. Queremos indicar con esta afirmación que la forma más general de ataque es aquella en que se realiza en primer lugar una acción química sobre el aglomerante, seguida de una disolución o cristalización, con expansión, de los productos formados. Ahora bien, la acción química sobre el aglomerante presupone, como ya hemos advertido, la presencia de cal libre y de compuestos bá

sicos^(*). Preferentemente, el ataque se realiza sobre la cal libre, habiéndose comprobado, mediante ensayos a largo plazo, la influencia decisiva de la cal libre del cemento portland sobre la resistencia del hormigón a las acciones agresivas. Según los ensayos realizados, el límite crítico del contenido en cal libre, en relación al peso de cemento empleado en la fabricación del hormigón, es de 0,5%, para hormigones de hasta 300 kg/m^3 (los hormigones más ricos en cemento, por ejemplo con una dosificación de $400 \text{ kg de cemento/m}^3$, son menos sensibles, pues la densidad determina un aumento de la protección).

Es preciso indicar también la acción de los áridos. Aunque en sí no son atacados, en determinados casos favorecen el ataque del hormigón. La razón se encuentra en que algunos áridos reaccionan con los constituyentes alcalinos del cemento portland, determinando el agrietamiento del hormigón, lo cual facilita la penetración de los líquidos agresivos.

Teniendo en cuenta las modernas teorías sobre la naturaleza y constitución del cemento, así como después de examinar los resultados obtenidos, Meier-Grolman ha podido formular un módulo de agresión A, que es el cociente de las partes de cemento que reaccionan topquímicamente y las que reaccionan en la fase líquida del cemento portland. Mediante este módulo se puede juzgar con exactitud la resistencia del cemento y del hormigón, según su composición analítica. La acción agresiva será tanto más débil cuanto mayor sea el módulo A del aglomerante (y cuanto más compacto sea el hormigón, según indicaremos más adelante).

PROTECCION DEL HORMIGON

Los procedimientos que se pueden emplear para lograr una cierta protección del hormigón son muy diversos:

(*) En este aspecto hay que señalar que el aluminato tricálcico es muy vulnerable. El límite máximo admisible es de 6%.

a) elección adecuada de las materias primas.

No se puede emplear cemento portland ni cemento férrico, mientras que el cemento de horno alto sólo podrá utilizarse si el ataque ácido es pequeño, pero no si el hormigón se encuentra sometido a un ataque prolongado por aguas pantanosas, aguas muy ricas en sulfatos, anhídrido carbónico, etc. En general, hay que procurar que el aglomerante utilizado tenga un débil porcentaje en cal libre.

Por su parte, Meier-Grolman, revisando este mismo problema de reducir la proporción de cal libre en el cemento, indica que parece ser que un elevado contenido en álcalis, en el límite de las prescripciones de las normas, en la fase líquida, ejerce un efecto favorable sobre la resistencia del hormigón, debido a que conduce a una reacción topoquímica, con transformación de la cal libre.

Los aglomerantes que se pueden emplear, citados por orden de preferencia, son la mezcla hidráulica de trass, cal y cemento, cemento sulfosiderúrgico, cemento aluminoso, mezcla hidráulica de Thura ment y cemento portland, y la mezcla hidráulica de trass y cemento.

El cemento de trass, que es propiamente una mezcla hidráulica de trass (30 ó 50% en peso) y de cemento portland (70 ó 50% en peso), puede utilizarse para preparar hormigón resistente a acciones agresivas.

La mezcla hidráulica de cemento portland (35%) trass (55%) y cal (10%), resiste perfectamente los ataques. Suele emplearse para el revestimiento de depósitos de agua, aunque no se conoce su comportamiento frente al agua caliente^(*).

(*) Según Bidron todos los cementos normalizados se disuelven bajo la acción del agua caliente; sólo el cemento aluminoso resiste hasta 98°C.

El cemento sulfosiderúrgico (DIN 4.210) está constituido fundamentalmente por un 75%, como mínimo, de escorias de horno alto - (con un contenido en alúmina no inferior a 13%), finamente molidas. El contenido en SO_3 ha de ser de 3% como mínimo, y la cantidad de cemento portland o de cualquier otro activador no debe ser superior a un 5%. No presenta cal libre, y la gran proporción de alúmina (13-25%), superior a la del cemento portland (4-9%), asegura que no existan silicatos ni aluminatos ricos en cal, lábiles. Este cemento es muy resistente al ataque de las aguas ricas en sulfatos.

La mezcla hidráulica de Thurament y cemento portland, constituida por 50% de cemento portland y 50% de escorias especiales de horno alto, es muy resistente a las aguas ácidas.

Según Duriez, el cemento aluminoso debe utilizarse con una cierta circunspección. Aunque, propiamente, no se pueden considerar como materias primas, creemos oportuno mencionar en este lugar unas nuevas adiciones que se han lanzado recientemente al mercado. Se trata de unas resinas, parcialmente condensadas, de pequeña viscosidad.

Estas resinas, que no modifican las características generales del hormigón, se distribuyen, mediante el agua de amasado, por toda la masa de aquél. Y permanecen inactivas hasta el momento en que el hormigón se pone en contacto con alguna solución ácida (ácidos débiles). Bajo su acción, las resinas se endurecen, proporcionando una cierta resistencia frente al ataque por los ácidos.

b) elaboración óptima del hormigón.

Meng considera que la atacabilidad del hormigón depende, en primer lugar, de su porosidad; y después, de su contenido en cal. En realidad, el pretender separar ambas condiciones implica, quizá, un distanciamiento de la realidad, dado que ambas características coordi

nan sus esfuerzos en la destrucción del hormigón, de forma que, faltando uno de ellos, la resistencia queda sensiblemente aumentada.

Es evidente, por tanto, que interesa preparar un hormigón lo más compacto posible. Se puede lograr un hormigón que tenga una estructura perfectamente compacta, empleando un árido con una composición granulométrica óptima, una relación agua/cemento pequeña, pero con la cantidad de agua necesaria para que la consistencia del hormigón fresco sea tal que su docilidad permite realizar la compactación con un trabajo mínimo. Si de forma natural no se puede conseguir la compactidad deseada, puede acudir al empleo de agentes plastificantes^(*) y de agentes formadores de poros, con acción plastificante.

El empleo de este último tipo de adición es particularmente interesante. Estos agentes crean unas burbujas finísimas de aire - (de 150 a 300 micras de diámetro), que se reparten de forma uniforme por toda la masa, cortando la trayectoria de los capilares. Por tener un diámetro muy superior al de los capilares, interrumpen la circulación del agua que haya podido penetrar por éstos, puesto que la fuerza de penetración viene dada por la ley de Laplace (presión inversamente proporcional al radio de curvatura). Su acción sobre la adsorción de agua se puede explicar también en función de la estructura que suelen presentar estas adiciones (grupos hidrófobos e hidrófilos). El agente en cuestión quedará revistiendo el interior de las paredes de los capilares y de las burbujas, fijado por el grupo hidrófilo y con el grupo hidrófobo hacia fuera de la pared. Por esta razón, es fácil comprender que la circulación capilar quedará reducida.

Desde luego, hay que tener en cuenta que estas adiciones disminuyen la resistencia a compresión, a flexión y a tracción, así como la adherencia a la armadura; razón por la cual se han de dosificar

(*) Las adiciones plastificantes permiten reducir la cantidad necesaria de agua de anisado.

cuidadosamente, de forma que el volumen de las burbujas oscile entre 2 y 6% del volumen del hormigón. Tomando las debidas precauciones pueden utilizarse sin ningún temor, sobre todo teniendo en cuenta que el aumento de docilidad que determinan permite reducir la relación agua/cemento^(*).

c) puesta en obra del hormigón en condiciones especiales.

La compacidad del hormigón puede lograrse, también, mediante medios mecánicos; como es, por ejemplo, la compactación por vibración.

Asimismo, tiene importancia, con respecto a los ataques, la estructura de la superficie, en el aspecto de que sea tan lisa como sea posible y con el menor número posible de aristas (tanto concavidades como convexidades)

Recientemente, se ha puesto a punto un nuevo procedimiento para obtener superficies lisas. Los encofrados se recubren interiormente con un papel revestido de polietileno, cuyos diferentes elementos se encuentran unidos por bandas adhesivas, preparadas también a base de polietileno. Cuando se procede al desencofrado, se deja adherido el papel hasta que el endurecimiento sea total. Se comprende que, de esta forma, se consiguen superficies lisas, desde el momento en que el hormigón no puede infiltrarse por las juntas del encofrado.

En las estructuras de hormigón que se encuentran en contacto con agua de mar es decisiva la existencia de concavidades y de convexidades, es decir, en definitiva, de gran número de aristas. Si se trata de concavidades, el agua puede almacenarse en ellas; y si es una convexidad, la superficie de penetración es mucho más elevada para un mismo volumen. Además, las aristas son muy peligrosas por el hecho de que en ellas las grietas son mucho más frecuentes.

(*) Los agentes aireantes pueden determinar una protección del hormigón, aun cuando el cemento sea rico en aluminato tricálcico, a condición de que la dosificación en cemento sea grande.

En el caso de hormigón armado hay que procurar una protección especial de las armaduras; pues, en caso contrario, se corroen, produciéndose la desintegración del hormigón por expansión de la herrumbre. Este fenómeno es muy frecuente en la proximidad del mar y en las regiones industriales (en las cuales abundan los humos ácidos) y, sobre todo, en aquellas estructuras de hormigón armado que se encuentran, alternativamente, sumergidas y expuestas al aire. Por todas estas razones, es preciso evitar, en lo posible, las juntas de construcción y disponer las armaduras a una distancia adecuada de la superficie (en aire puro normal, 2 cm; en aire urbano, 3 cm; en atmósfera marítima, hasta 3 km de la costa, 5-7 cm).

d) tratamientos físicos superficiales.

A título informativo citaremos que a veces se ha protegido el hormigón contra las acciones agresivas mediante capas de pinturas plásticas impermeables, recubrimientos asfálticos, resinas sintéticas, mosaicos tomados con un mortero rico en pasta, etc.; pero la protección no es eficaz y presenta el inconveniente de que el más ligero defecto de la capa protectora permitirá que se inicie el ataque sobre el hormigón.

e) tratamientos químicos.

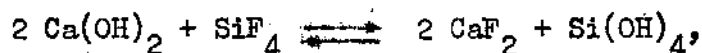
Han sido bastante utilizados los procedimientos de fluatación^(*), silicatización, etc. Hoy día se emplea el de ocratización -procedimiento patentado-, utilizado por primera vez en Baarn (Holanda) y que parece haberse acreditado como el más eficaz.

Puede encontrarse el antecedente de este procedimiento en la fluatación, realizada con ácido fluosilícico. Este procedimiento pro

(*) Véase U.A.M.C., nº 69, pág. 40.

sentaba el inconveniente de que la capa de protección sólo alcanzaba una profundidad muy reducida, debido a que los poros se obturaban e impedían que continuase el tratamiento.

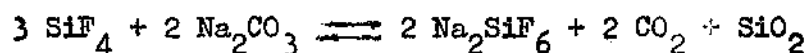
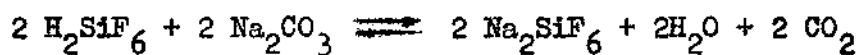
En este procedimiento de ocratización, el hormigón, seco y con una resistencia del orden de la de 28 días (para lo cual se ha podido someter a un curado acelerado con vapor), se expone a la acción de tetrafluoruro de silicio. Este gas ataca a los compuestos cálcicos (silicatos y aluminatos, hidratados) existentes en el cemento, dando lugar, según la reacción



a la formación de fluoruro cálcico, según se ha podido comprobar mediante análisis roentgenográfico. La protección determinada por este tratamiento se debe a que el fluoruro cálcico posee una mayor resistencia a los ataques y a que, simultáneamente, se forman hidratos de ácido silícico y de alúmina, al estado de gel, que rellenan poco a poco los poros, obturándolos. Ahora bien, en este caso, la profundidad de la capa de protección es superior a la obtenida por fluatación, pudiéndose regular perfectamente, mediante control de la presión, del tiempo de tratamiento, del tiempo de secado y de la cantidad de gas (en el caso de piezas pequeñas puede llegarse a una ocratización total).

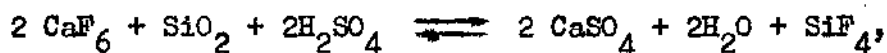
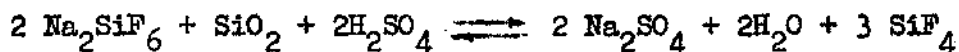
El tratamiento suele llevarse a cabo en cámaras de grandes dimensiones (construidas con ladrillos silicocalcáreos), en los cuales se colocan las piezas. Se extrae el aire, hasta una presión de 0,1 atmósferas y después se introduce el gas a la presión deseada (a presión reducida ó a 4 at.). Al principio, la adsorción del tetrafluoruro es rápida, pero la velocidad del proceso va disminuyendo progresivamente.

Si se desea realizar un tratamiento rápido, bastará un ciclo de 4 a 6 horas; pero si no se tiene prisa, las piezas se pueden dejar en contacto con el gas durante toda la noche. Antes de extraer las piezas, es preciso eliminar los residuos de gas que aún existan en la cámara, haciéndolos pasar por un recipiente cilíndrico, de 3 a 4 m de altura, con un material inerte (coque, etc.), por el que cae una solución de carbonato sódico, de forma que tienen lugar las reacciones:



Con el tiempo se deposita una capa de Na_2SiF_6 y SiO_2 , que puede volverse a utilizar como materia prima para la producción del tetrafluoruro de silicio.

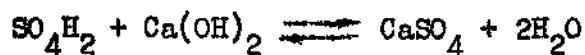
La producción del tetrafluoruro de silicio se lleva a cabo por una de las dos reacciones siguientes:



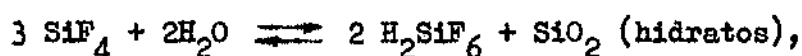
siendo la primera la más económica.

Las materias primas se emplean molidas (la sílice se añade en forma de Kieselgur). En primer lugar es necesario hacer vacío en el generador, después de lo cual se añade (por succión) un exceso de ácido sulfúrico, a $60^\circ - 70^\circ\text{C}$, que al final ha de ser neutralizado con

Ca(OH)₂, según:



Extraídas las piezas de la cámara, se someten a un ligero lavado con agua, para, de acuerdo con la reacción



eliminar los residuos de gas que quedan sobre aquéllas (el ácido fluo silícico formado todavía puede reaccionar).

Desde luego, hay que indicar que ni la armadura ni los áridos quedan atacados por el SiF₄; incluso se ha comprobado que la primera llega a recubrirse de una capa cerámica, que la protege contra la acción de las soluciones.

Las variaciones, en sus características y propiedades, que experimenta el hormigón sometido a ocratización, son, esquemáticamente, y de acuerdo con los ensayos realizados por Wittekindt, las siguientes:

1) el hormigón se hace algo más pesado, pasando desde un peso específico de 2,53 - 2,61 a uno de 2,59 - 2,65.

2) se reduce el volumen de los poros, aumentando la compacidad, por cuyo motivo se eleva el grado de impermeabilidad y disminuye la capacidad de absorber agua.

3) aumenta la dureza y la resistencia a la abrasión.

4) aumenta la adherencia de la armadura.

5) aumenta la resistencia, a compresión y a tracción.

6) aumenta la resistencia a las acciones agresivas de ácido láctico, ácido acético, ácido clorhídrico, sulfato sódico, sulfato amónico, etc.

Queremos mencionar, finalmente, que Bansen ha estudiado la rentabilidad del procedimiento de ocratización del hormigón, indicando a cuanto ascienden los gastos de instalación, los gastos de explotación corrientes y otros especiales, presentando, asimismo, ciertas bases de cálculo.

S.F.S.

- - -

BIBLIOGRAFIA

- Anon., L'USINE NOUVELLE, nº 16, 19 abril 1956, pág. 87
- W. Bansen, BETONSTEIN ZEITUNG, vol. 20, nº 11, noviembre 1954 pág. 474
- E. Berendt, BAUWELT, vol. 47, nº 6, 6 febrero 1956, pág. 135
- M. Duriez, TRAITE DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION. Dunod (París), 1951. Tomo I, págs. 449 y sigs.
- Editorial, CEMENT AND LIME MANUFACTURE, vol. XXVIII, nº 2, marzo 1955, pág. 23 (la traducción de este artículo ha aparecido en CEMENTO-HORMIGÓN, vol. XXI, nº 261, diciembre 1955, pág. 481)
- Editorial, BUILDING MATERIALS, vol. XVI, nº 1, enero 1956, pág. 38
- D. Graux, TRAVAUX, año 38, nº 238, agosto 1954, pág. 678
- A. Hummel, E. Dickersbach-Baronetzky, BETON- UND STAHLBETONBAU, vol. 50, nº 9, septiembre 1955, pág. 233
- R. L'Hermite, BÂTIR, nº 31, junio 1953, pág. 17
- F.W. Meier-Grolman, ZEMENT-KAIK-GIPS, vol. 9, nº 1, enero 1956, pág. 15
- W. von Meng, DIE BAUWIRTSCHAFT, vol. 7, nº 43, octubre 1953, pág. 1.111
- Noticia, BUILDING MATERIALS, vol. XVI, nº 4, abril 1956, pág. 148
- J. Vander Eerde, ROCK PRODUCTS, vol. 58, nº 11, noviembre 1955, pág. 166
- W. Wittekindt, ZEMENT-KAIK-GIPS, vol. 5, nº 7, julio 1952, pág. 203; vol. 7, nº 9, septiembre 1954, pág. 337

- - -