



El presente material comenzó a ser estudiado sistemáticamente en el año 2006 por el Microbiólogo Jenk Jonkers, Profesor de la Universidad Tecnológica de Delft (Holanda), en el marco de un conjunto de líneas de investigación que buscan caminos aptos para que el hormigón, ya colado en una estructura, se autorrepare. Es decir, que sea capaz de ir rellenando las fisuras que en él se producen a medida que se van presentando

1. Idea básica

La base del material es un hormigón normal al que se agrega un tipo de bacterias cuyas esporas, al ponerse en contacto con humedad, se activan y absorben y metabolizan el alimento que se ha introducido a ese fin en el hormigón, inician un proceso químico cuya culminación es la producción de un material que está en condiciones de sellar las fisuras por las que ha entrado la humedad que las activó.

2. Tipo de bacteria

En el presente caso se eligieron bacterias del género bacillus, que prosperan en condiciones alcalinas, como es el medio que impera en el hormigón endurecido y producen esporas: células esféricas de paredes delgadas que no deforman la estructura de la bacteria. Estas esporas, en vida latente siempre que estén secas, pueden permanecer estables frente a tensiones mecánicas o químicas por períodos de más de cincuenta (50) años. El tamaño de las esporas es del orden del micrómetro (μm).

3. Proceso biológico

Alimentando las esporas, en el momento en que se activan cuando se produce la fisura e ingresa en ella humedad, con lactato de calcio se logra que, al metabolizarlo, ellas combinen el calcio con iones de carbonato, que se encuentran en el ambiente, para formar carbonato de calcio (calcita), piedra caliza que se deposita en las paredes internas de las fisuras, o grietas, sellándolas.

4. Procedimiento tecnológico

Se coloca el lactato de calcio junto con las esporas en soportes que, llegado el caso, permiten el acceso del agua. A partir de ello las esporas germinan y se reproducen. Este soporte puede ser un material poroso, como son las arcillas expandidas, cápsulas de plásticos solubles biodegradables, etc.

En el presente trabajo son utilizadas arcillas expandida del tipo de las que se emplean como agregado grueso en los hormigones livianos, que tienen formas esféricas. El valor del diámetro de la acá utilizadas está comprendido entre 2 y 4 (mm). Con ellas se sustituyen el 50% del agregado de tales dimensiones.

Antes de ser utilizadas, las esferitas de arcilla se secan hasta peso constante (una semana a 40°C). La cantidad de arcilla expandida que se coloca por decímetro cúbico de hormigón, es la necesaria para incorporar a la masa 5×10^7 esporas y 15 (g) de lactato de calcio. La arcilla expandida se agrega al hormigón en el momento en que este se termina de elaborar. Esta sustitución de parte del agregado grueso pétreo por arcilla expandida, disminuye la resistencia a compresión del hormigón en el orden del 50% de la obtenida ensayando probetas cilíndricas a 28 días de edad del hormigón de base (sin sustitución de parte del agregado pétreo).

Cuando las fisuras comienzan a formarse en el hormigón, penetra en ellas agua que, al introducirse en los poros de la arcilla expandida germina las esporas. Las esporas, al germinar, se multiplican y se alimentan del lactato de calcio expresamente colocado. Al metabolizar el lactato de calcio, se inician un proceso durante el cual, finalmente, se combina el calcio con iones de carbonato y forman calcita, que es el material con el que se sellan las fisuras.

5. Características prácticas del material

Puede auto-sellar grietas de hasta 8 (mm), mucho mayores que las admisibles en

cualquier estructura de hormigón. Su costo es mayor que el de los hormigones comunes, esta diferencia se puede estimar en un orden del 40%, pero hay casos en los que, sin embargo, resulta una buena solución, incluso económica, como son los de reservorios y conductos de agua.

El ancho de fisura a partir del cual se desencadena el proceso de autorreparación es del orden de 0,15 (mm)

Dicho proceso se inicia en cuanto penetra agua o humedad del exterior en las fisuras. El tiempo necesario para sellar una fisura fue del orden de dos (2) meses en la presente serie de ensayos.

6. Proceso químico que culmina en el sellado de las fisuras

Si se ensayan dos hormigones similares, ambos con sustitución de parte del agregado grueso por arcilla expandida, pero uno con esporas y su alimento y el otro sin ello, en ambos se inicia un proceso de sellado de fisuras pero este solo eficiente en el que contiene esporas. Lo que ocurre se puede ser explicado de la forma que se detalla a continuación.

6.1) Hormigón de comparación (sin esporas):

Las partículas de cemento no hidratadas que siempre existen en las paredes de las fisuras recién formadas, se hidratan.

Además, las partículas de hidróxido de calcio contenidas en las paredes interiores de las fisuras, debido a su relativamente alta solubilidad, captan prácticamente todo el dióxido de carbono disponible en el agua que ingresó a las fisuras, formando carbonato de calcio

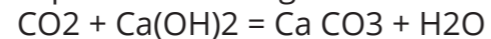
El carbonato de calcio precipita en las paredes internas de las fisuras, que es donde se encuentra el dióxido de calcio.

El proceso sigue de la siguiente forma: el hidróxido de calcio remanente en el hormigón se disuelve y difunde en la masa de agua interna a la fisura, reaccionando con el dióxido de carbono presente en las inmediaciones de las paredes internas de

ella. Este proceso químico conduce a la producción, y precipitación, de grandes cantidades del mucho menos soluble carbonato de calcio

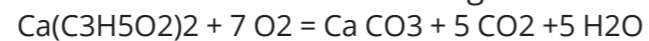
La cantidad de carbonato de calcio producida en el hormigón sin esporas no es mucha debido a la poca cantidad de dióxido de carbono presente en la limitada cantidad de agua que se ubica en el interior de la fisura. En resumen, falta dióxido de carbono para que la reacción continúe y se capte todo el hidróxido de calcio disponible en las caras de las fisuras

El proceso es el siguiente:



6.2) Hormigón autorreparable

En el hormigón autorreparable la reacción anterior se transforma en la siguiente:



Este proceso conduce a la precipitación de cantidades sustancialmente mayores de carbonato de calcio que en el caso anterior, debido a que este es producido no solo por la conversión del lactato en carbonato sino también, indirectamente, por la reacción química del (CO₂) producido metabólicamente por las esporas

En este caso, el dióxido de carbono producido por las esporas en las superficies interiores de las fisuras no se disuelve ni difunde sino que reacciona directamente con las partículas de hidróxido de calcio, allí presentes, para producir el carbonato de calcio adicional

En este segundo proceso, originado por la presencia de esporas y su alimento, se produce, en total, seis (6) moléculas de carbonato de calcio equivalente

Este sustancial incremento en la producción de carbonato de calcio es el que origina el sellado completo de fisuras y grietas indicado precedentemente.

Comentario: todas las estructuras de hormigón armado se fisuran en sus zonas traccionadas, o al menos esto es lo que debe suponer el Proyectista. Estas fisuras inevitables

que se producen en el hormigón, son aceptables si su apertura, en la superficie externa del cuerpo de hormigón, no supera valores del orden de 0,1; 0,2 ó 0,3 (mm) según la obra o la parte de ella de que se trate. Para saber si existen fisuras estructuralmente excesivas en una estructura de hormigón, hay que desarrollar un bien planificado Plan de Inspecciones Periódicas. Cuando se emplea hormigón autorreparable, si bien las visitas periódicas de Inspección no se van a eliminar, si se eliminará de ellas el tedioso trabajo de buscarlas. Y busca y encontrar fisuras excesivas, sobre todo en las zonas de difícil acceso, como por ejemplo la parte inferior de los tableros de puentes grandes y medianos es una tarea difícil y compleja. Este es un rubro importante cuando se habla del costo de una obra de hormigón, en el cual el costo particular del material empleado no es, ni mucho menos, la única variable a considerar y, muchas veces, ni siquiera la más significativa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NEVILLE, A.M. (1996) PROPERTIES OF CONCRETE (4TH EDITION). PEARSON HIGHER EDUCATION, PRENTICE HALL, NEW JERSEY.
- [2] NEVILLE, A.M. (2002) AUTOGENOUS HEALING - A CONCRETE MIRACLE? CONCRETE INT 24(11):76-82
- [3] EDVARDSEN, C. (1999) WATER PERMEABILITY AND AUTOGENOUS HEALING OF CRACKS IN CONCRETE. ACI MATERIALS JOURNAL 96(4): 448-454.
- [4] REINHARDT, H.W., AND JOOSS, M. (2003) PERMEABILITY AND SELF-HEALING OF CRACKED CONCRETE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND CRACK WIDTH. CEMENT AND CONCRETE RES 33:981- 985.
- [5] LI, V.C., AND YANG, E. (2007) SELF HEALING IN CONCRETE MATERIALS. IN SELF HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 161- 194. SPRINGER, THE NETHERLANDS.
- [6] WORRELL, E., PRICE, L., MARTIN, N., HENDRIKS, C., AND OZAWA MEIDA, L. (2001) CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY. ANNUAL REVIEW OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT 26: 303-329.
- [7] BANG, S.S., GALINAT, J.K., AND RAMAKRISHNAN, V. (2001) CALCITE PRECIPITATION INDUCED BY POLYURETHANE-IMMOBILIZED BACILLUS PASTEURII. ENZYME MICROB TECH 28: 404-409.
- [8] RAMACHANDRAN, S.K., RAMAKRISHNAN, V., AND BANG, S.S. (2001) REMEDIATION OF CONCRETE USING MICRO-ORGANISMS. ACI MATERIALS JOURNAL 98(1):3-9.
- [9] GHOSH, P., MANDAL, S., CHATTOPADHYAY, B.D., AND PAL, S. (2005) USE OF MICROORGANISMS TO IMPROVE THE STRENGTH

- OF CEMENT MORTAR. CEMENT CONCRETE RES 35:1980-1983.
- [10] DE MUYNCK, W., DEBROUWER, D., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION IMPROVES THE DURABILITY OF CEMENTITIOUS MATERIALS. CEMENT CONCRETE RES 38: 1005-1014.
- [11] DE MUYNCK, W., COX, K., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION AS AN ALTERNATIVE SURFACE TREATMENT FOR CONCRETE. CONSTR BUILD MATER 22: 875-885.
- [12] DE MUYNCK, W., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2010) MICROBIAL CARBONATE PRECIPITATION IN CONSTRUCTION MATERIAL: A REVIEW. ECOL ENG 36:118-136
- [13] VAN TITTELBOOM, K., DE BELIE, N., DE MUYNCK, W., AND VERSTRAETE, W (2010) USE OF BACTERIA TO REPAIR CRACKS IN CONCRETE. CEMENT CONCRETE RES 40: 157-166.
- [14] JONKERS, H.M. (2007) SELF HEALING CONCRETE: A BIOLOGICAL APPROACH. IN SELF HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 195-204. SPRINGER, THE NETHERLANDS. 12
- [15] JONKERS, H.M., AND SCHLANGEN, E. (2008) DEVELOPMENT OF A BACTERIA-BASED SELF HEALING CONCRETE. IN TAILOR MADE CONCRETE STRUCTURES - NEW SOLUTIONS FOR OUR SOCIETY. PROC. INT. FIB SYMPOSIUM (ED. J. C. WALRAVEN & D. STOELHORST), PP. 425-430. AMSTERDAM, THE NETHERLANDS.
- [16] JONKERS, H.M., THIJSSSEN, A., MUYZER, G., COPUROGLU, O., AND SCHLANGEN, E. (2010) APPLICATION OF BACTERIA AS SELF-HEALING AGENT FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CONCRETE. ECOLOGICAL ENGINEERING 36(2): 230-235.
- [17] S. VAN DER ZWAAG (EDITOR): "SELF-HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH AFTER 20 CENTURIES OF SCIENCE OF MATERIALS", ELSEVIER, HOLANDA, 2007, PÁGINAS 195 A 204.
- [18] H.M.JONKERS Y OTROS: "ECOLOGICAL ENGINEERING", VOL. 36, N°2, PÁGINAS 230 A 235.