

Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante



Autores: Carla Fernanda Ponce de León Echegaray, Smith Kevin Huamani Rojas, Eddie Sánchez Acapana - Área de investigación ACI PUCP

El presente artículo explica la utilización de concreto autorregenerante para evitar la fisuración del concreto, enfocado en el concreto autorregenerante por encapsulado bacteriano. El método fue descubierto por el microbiólogo Henk Jonkers y funciona mediante la integración de cápsulas de bacterias que producen piedra caliza, *Bacillus pseudofirmus* o *Sporosarcina pasteurii*, con lactato de calcio.

La utilización de este tipo de concreto genera muchos beneficios en sus propiedades, como: Mayor resistencia a la compresión, en comparación con el concreto convencional, reducción de la permeabilidad ocasionando mejores propiedades en estado endurecido con respecto al convencional, entre otros que se explicarán a continuación.

Palabras claves

Concreto, autorreparante, bacterias, *Basilus*, calcita, fisuración

ANTECEDENTES

El concreto es uno de los materiales más usados en el mundo debido a su trabajabilidad y resistencia. Sin embargo, independientemente de cómo sea mezclado, tarde o temprano terminará por fisurarse y deteriorarse. Actualmente, existen 5 métodos principales que permiten reparar el concreto: el encapsulado químico, el encapsulado bacteriano, las adiciones minerales, los químicos en micro-tubos y el sellado autógeno con grietas de espesor controlado. No obstante, en el presente artículo únicamente nos enfocaremos en el concreto autorregenerante por encapsulado bacteriano.



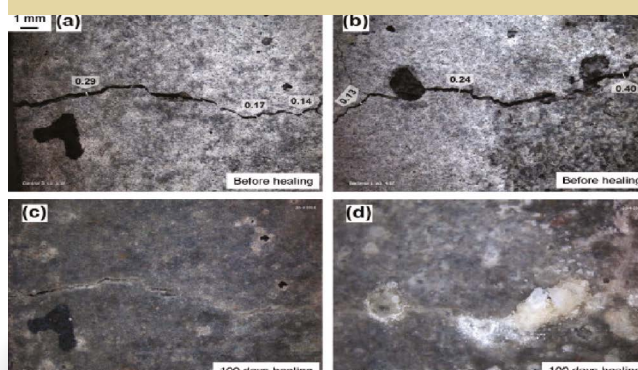
Figura 1 / El Microbiólogo Henk Jonkers es uno de los pioneros en la elaboración de concreto autoregenerante

ESQUELETO DE CONCRETO

La fisuración es uno de los problemas más comunes y perjudiciales para el concreto. Debido a la aparición de pequeñas grietas, agentes agresivos del tipo químico ingresan a la estructura; esto ocasiona principalmente efectos negativos en ciertas propiedades, tales como la durabilidad, la sustentabilidad, la reducción del tiempo de vida útil y los altos costos de mantenimiento y/o reparación. Solo en Estados Unidos, se estima que el costo de mantenimiento de estructuras de concreto alcanza los 20 millones de dólares al año. Por esta razón el microbiólogo Henk Jonkers, de la Universidad Tecnológica de Delft en Países Bajos, desarrolló un bioconcreto capaz de autorrepararse.

De manera similar a cómo nuestro cuerpo es capaz de regenerar el tejido óseo por mineralización, Jonkers desarrolló un método que se puede utilizar en concreto mediante la integración de cápsulas de bacterias que producen piedra caliza, *Bacillus pseudofirmus* o *Sporosarcina pasteurii*, con lactato de calcio. Cuando la grieta entra en contacto con el ambiente (aire y humedad), las bacterias se alimentan del lactato de calcio que se produce y lo convierten en calcita, lo cual resulta en el sellado de la misma. Este tipo de bacterias pueden permanecer latentes hasta por 200 años y vuelven a la vida solo cuando se necesita (H.M. Jonkers, 2011).

Figura 2 / La figura muestra el proceso de regeneración de dos grietas de anchos entre 0.13-0.4 mm de espesor a los 100 días de la activación de la bacteria



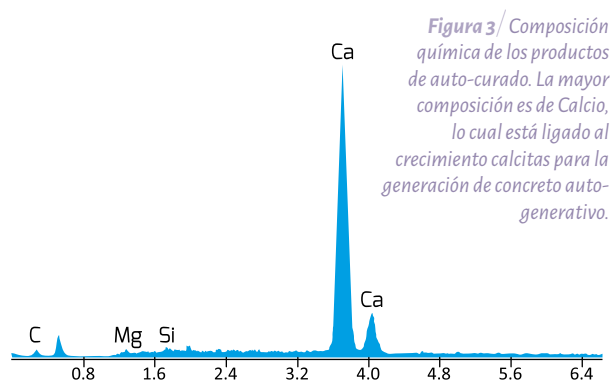
Jonkers realizó pruebas en estaciones de salvavidas, las cuales presentan este tipo de problemas por las condiciones climáticas; estas han permanecido herméticas desde 2011 hasta la fecha. Actualmente, el uso de bioconcreto está des-

tinado a estructuras problemáticas, como subterráneas o marinas, en 3 productos: concreto autorreparable, mortero de reparación y un medio de reparación líquido.

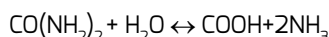
"Uno de mis colegas, un ingeniero civil, que no tenía conocimiento sobre microbiología, leyó un artículo sobre el uso de una bacteria que se utilizaba para la preservación de monumentos, y me preguntó si era posible hacer lo mismo con los edificios. Mi siguiente tarea fue encontrar la bacteria adecuada para sobrevivir ser mezclada y activar el proceso de autorregeneración." –Cuenta el microbiólogo

REACCIONES QUÍMICAS

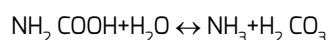
La composición del concreto autorreparante, o en su denominación en el idioma inglés "Self-healing concrete", consiste en los mismos materiales que se conocen para el concreto convencional (cemento, agua, agregados finos y gruesos, aditivos, etc.) adicionados a las bacterias, las cuales le dan la cualidad de autorregenerante. Cuando el concreto agrietado está expuesto al aire, la humedad o la penetración de agua, por sus grietas, se genera una reacción química que produce calcita para sellarlas. Las bacterias utilizadas por Dr. Jonkers son del tipo "Bacillus", ya que son capaces de sobrevivir en un ambiente alcalino (pH mayor a 10).



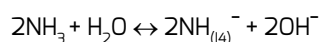
La úrea, al entrar en contacto con el aire húmedo del ambiente, se hidroliza y forma amoníaco.



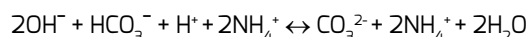
En segundo lugar, el carbonato del concreto se hidroliza y pasa a formar dos productos, amoníaco y ácido carbónico.



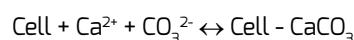
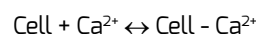
En tercer lugar, a partir de los productos obtenidos, se presentan dos reacciones, de las cuales se forman bicarbonato, amonio e iones de hidróxido; estas reacciones generan un aumento en el pH.



En cuarto lugar, por el aumento del pH, se desplaza el equilibrio del bicarbonato para formar iones de carbonato.



Finalmente, las bacterias utilizadas accionan en dos reacciones. En la primera reacción, la pared celular, por tener carga negativa, atrae del entorno al que está sometido el concreto Ca^{2+} . Luego, el ion de carbonato se precipita y da como producto piedra caliza.



En resumen, el concreto, al estar sometido a la intemperie, tiende a producir reacciones químicas naturales. Sin embargo, al tener como componente las bacterias, presenta reacciones que le permiten generar materia que repare las grietas, lo cual aumenta su tiempo de vida.

COMPARACIÓN CON EL CONCRETO TRADICIONAL

Efectos en las propiedades mecánicas:

Mientras que el concreto común tiene un comportamiento frágil, el concreto basado en la ingeniería flexible tiene un comportamiento más dúctil. Los ensayos de medición de deformaciones por tracción en el concreto autorregenerante, realizados en laboratorios, resultaron ser 5 veces mayor respecto al concreto convencional.



En un concreto con bacterias, la resistencia a la tracción es mejor que un concreto convencional (ver tabla 1).

La resistencia a la compresión del concreto fue mejorada en un 14.92% mediante la adición de *Bacillus subtilis*, mientras que el *B. sphaericus* mejora la resistencia a la compresión del concreto en un 30.76 % a 3 días, 46.15 % a 7 días y 32.21 % a 28 días, en comparación con el concreto convencional (ver tabla 2).

Tabla 1. Comparación de los valores de resistencia a la tracción por hendimiento entre el concreto autoregenerante y el tradicional

S N°	Nº. of days	Split tensile strength of conventional concrete cylinders subes, N/mm ²	Split tensile strength B. sphaericus concrete cubes, N/mm ²	% increase in strength
1.	3	3.78	4.30	13.75
2.	7	4.62	5.28	14.28
3.	28	4.85	5.74	18.35

Tabla 2. Comparación de los esfuerzos de compresión entre el concreto autoregenerante y el tradicional

S N°	Nº. of days	Split tensile strength of conventional concrete cylinders subes, N/mm ²	Split tensile strength B. sphaericus concrete cubes, N/mm ²	% increase in strength
1.	3	19.24	25.16	30.76
2.	7	23.66	34.58	46.18
3.	28	34.52	45.72	32.21

Efectos en las propiedades en estado fresco:

La capacidad de absorción de este bioconcreto es mucho mayor que la de un concreto convencional. Este resultado se obtuvo de un ensayo llamado *Capillary Water Suction* que muestra el aumento o la reducción relativa de la absorción de agua. Por otro lado, Willem De Muynck realizó este ensayo comparando la capacidad de absorción de la bacteria (*B. Sphaericus*) con la capacidad de la mezcla, la cual resultó tener un valor mayor.

Efectos en la durabilidad del concreto:

- La mayor cantidad de gastos en reparación son a causa de las fisuras que aparecen durante el periodo útil del concreto. De esta manera, contar con esta tecnología evita realizar gastos, pérdidas de tiempo e incomodidades a los residentes en sus propiedades. Si bien un concreto con estas características tiene un equivalente de 3 veces el costo de producción necesario respecto al concreto habitual, estos son compensados con eludir gastos de reparación producto de las fisuras en el tiempo.
- No es afectado por la composición química de la lluvia con cierto grado de acidez; por tanto, en temporadas de lluvia, cuando se tiene suficiente tiempo de contacto concreto-fluido, debido a la permeabilidad del concreto (el cual está en función a las fisuras o grietas presentes), el agua no lo penetra.
- No presenta corrosión en las estructuras marinas (debido a las sales y ácidos del mar) o en los sótanos (debido a la cercanía a la napa freática).
- En la autorreparación se reduce la permeabilidad, ya que las grietas llegan a reducirse de un ancho de 0.5mm a uno de 0.35mm; por ello, este tipo de concreto presenta mejores propiedades en estado endurecido con respecto al convencional.

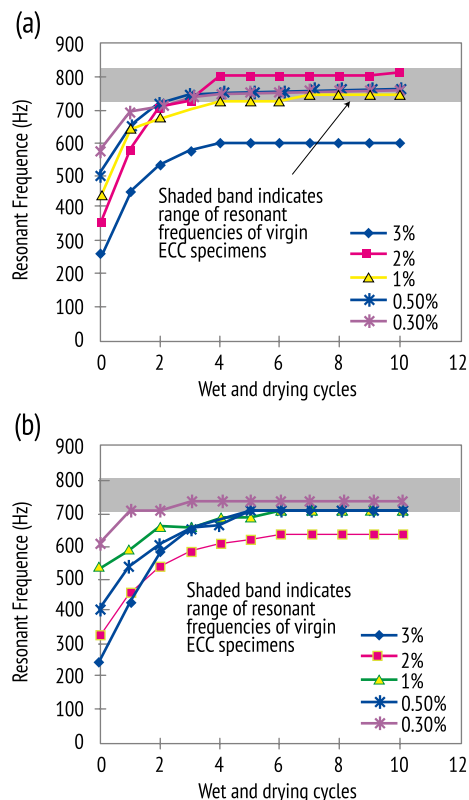


Fig. 5. Tasa de ECC de auto-sanación bajo humectación cíclica y secado.

a) Frecuencia de resonancia (ciclo del agua / aire)

b) La recuperación de la frecuencia resonante (agua / ciclo de aire caliente).

Conclusiones y comentarios

- El mecanismo de autorregeneración en ECC (Engineered Cementitious Composites) consiste en el crecimiento de calcitas en la parte interna de las grietas; esto quiere decir que debe tener una alta proporción de calcio en la composición de esta.
- La tecnología de mejora del concreto de autorregeneración tiene una mejor eficacia cuando los anchos de fisura son menos pronunciados (menores a 150µm).
- La frecuencia de resonancia se ha establecido como un método de ensayo no destructivo para determinar unívocamente el nivel de daño o la deformación de las muestras, indicando así el grado y velocidad de autorregeneración. A través de las pruebas de laboratorio, basadas en la frecuencia de resonancia, el concreto puede recuperarse en un 100% después de pasar 10 ciclos húmedo-secos.

BIBLIOGRAFÍA

- » H.M. Jonkers. (2011). Bacteria Based Self Healing Concrete. Delft University of Technology. The Netherlands.
- » Ravishankera, B. E. (2012). Potential application of bacteria to improve the strength of cement concrete. International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 3(1), 541-544.
- » GAVIMATH, C. C., et al. Potential application of bacteria to improve the strength of cement concrete. International Journal of Advanced Biotechnology and Research,