

# Evaluación de las propiedades del hormigón al incorporar una concentración determinada de cepa bacteriana *Lysinibacillus Sphaericus*.

Evaluation of concrete properties when incorporating a certain concentration of *Lysinibacillus Sphaericus* bacterial strain.

Presentación: Octubre 2023

## Catalina Cerutti

Centro de Investigación y Desarrollo para a Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.  
[ccerutti24@gmail.com](mailto:ccerutti24@gmail.com)

## Sharon Rupp

Centro de Investigación y Desarrollo para a Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.  
[sharonrupp99@hotmail.com](mailto:sharonrupp99@hotmail.com)

## Augusto Baqué

Centro de Investigación y Desarrollo para a Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.  
[agubaque@gmail.com](mailto:agubaque@gmail.com)

## Resumen

Los elementos de hormigón, sometidos a solicitaciones que sobrepasan sus capacidades resistentes, pueden presentar fisuras a lo largo de su vida útil. Las fisuras son un medio de acceso a sustancias nocivas, capaces de afectar la integridad de la matriz del hormigón o a la armadura que se encuentre en su interior. Esto impacta en la durabilidad y provoca una disminución en la vida útil de las estructuras. En el presente trabajo, se analizan hormigones autoreparantes capaces de sellar micro fisuras de manera autónoma mediante el proceso de biomineralización. Estos se generan a partir de la incorporación de bacterias y son denominados Biohormigones. Se confirmó la factibilidad de la incorporación de bacterias al agua de amasado y se evaluó la incidencia de estas a las propiedades del hormigón. Se prevé modificar la concentración bacteriana a futuro.

**Palabras clave:** Hormigones autoreparantes, Bacterias, Biomineralización.

## Abstract

Concrete elements, when subjected to loads that exceed their load – bearing capacities, may develop cracks over their service life. These cracks provide a pathway for harmful substances that can potentially impact the integrity of the concrete matrix or any reinforcement that may be present within. This significantly affects durability and leads to a reduction in the lifespan of structures. Currently, self – healing concrete is being researched, which has the ability to autonomously seal cracks, using bacteria, known as Bio concrete. These microorganisms, through the process of biomineralization, produce calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>), which facilitates the sealing of any cracks that may occur. An evaluation was carried out to determine the feasibility of incorporating bacteria into concrete and to assess their impact on concrete properties.

**Keywords:** Self – healing concretes, Bacteria, Biomineralization.

## Introducción

Siendo el hormigón uno de los materiales más utilizados dentro de la construcción (Estupiñan and Caballero, 2020: 8), resulta oportuno su estudio. Este material está conformado por agregados finos, agregados gruesos, agua y un aglomerante como el cemento. Empleado como elemento estructural junto con el acero conforman lo que se denomina hormigón armado.

Las estructuras de hormigón están sometidas a sollicitaciones a lo largo de toda su vida útil. Estos esfuerzos pueden superar el límite resistente del material generando en él fisuras. Las fracturas afectan no solo la apariencia estética de los elementos estructurales, sino también su integridad y funcionalidad. Estas son un camino de ingreso de sustancias perjudiciales al interior de las estructuras y pueden afectar tanto a la masa del hormigón como a las armaduras de acero que en su interior se encuentren.

Los hormigones autoreparantes son materiales capaces de auto sellar las micro fisuras que en él se generan. Permiten el aumento de la durabilidad de los componentes estructurales, lo que contribuiría a la extensión de la vida útil de las estructuras y significaría una menor inversión de mantenimiento. Existe una amplia variedad de materiales autoreparantes (Rupp and Cerutti, 2021: 1-3) pero en el presente nos abocaremos al estudio de los denominados biohormigones. Estos son hormigones autoreparantes que se generan a partir de la incorporación de bacterias al hormigón tradicional.

El microbiólogo Hendrik Marius Jonkers, expuso el uso de bacterias en elementos de hormigón, las cuales, por un proceso conocido como biomineralización, se encargan de sellar las micro fisuras que puedan surgir (Jonkers, H. M., 2007: 195-204). Mediante la biomineralización, los microorganismos depositados en el sistema generan minerales formados extracelularmente debido a una sobresaturación, ocurrida por la captación de metabolitos (Sánchez, E. A. N., 2022: 41-43). Para el caso en estudio se utilizó la cepa bacteriana ureolítica *Lysinibacillus Sphaericus* 2362, de la cual, gracias a trabajos previos (González et al., 2019: 947-953), se conoce su viabilidad de acción en el campo pretendido.

El bacilo ureolítico posee una enzima ureasa, la cual favorece al desarrollo de la hidrólisis de la urea. En tanto, 1 mol de urea hidroliza 1 mol de amoníaco y 1 mol de carbamato [1]. A su vez, el carbamato hidroliza conjuntamente, formando 1 mol de amoníaco y 1 mol de ácido carbónico [2]:



Una vez formados, se equilibran en agua, en donde el ácido carbónico produce carbonato [3] y el amonio, iones de amonio e hidróxido [4], esto da lugar a un aumento del pH. El carbonato así generado se combina con los iones de calcio presentes en la solución de poros formando carbonato de calcio [5].



A sabiendas de la efectiva actividad ureasa de la bacteria *Lysinibacillus Sphaericus* 2362, el carbonato de calcio resultante deberá sellar las fisuras que se produzcan.

En el desarrollo del informe se pretende, confirmar que es factible la incorporación de esta cepa bacteriana al hormigón por medio del agua de amasado. Posteriormente, se evalúa cómo afecta la incorporación de esta masa biológica a las propiedades del hormigón. Para ello se contrastan resultados de muestras de hormigón conformado con una concentración determinada de bacterias y muestras patrón, conformadas con agua destilada hervida.

## Metodología

### Preparación de la Solución UB

Existen diversas técnicas para la conformación de hormigones autoreparantes. En este trabajo se aborda la incorporación de bacterias al hormigón por medio del agua de amasado. Para esto se elaboró una solución denominada UB (Urea Bacteria), conformada por una solución de urea y agua destilada hervida de concentración 1/10 a la cual se le añadió un concentrado de bacteria *Lysinibacillus Sphaericus* 2362 (Figura 1). La misma fue utilizada como agua de amasado para la preparación de mortero y hormigón.

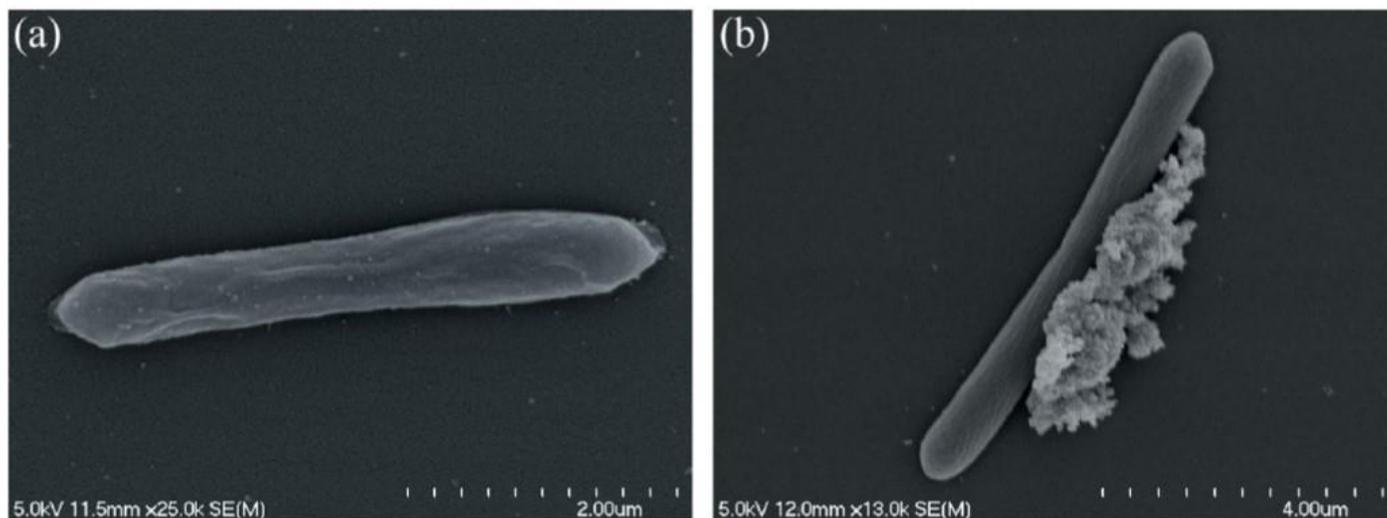


Figura 1 – Bacteria *Lysinibacillus Sphaericus* 2362  
(Seifan M. et al., 2018: 4493)

La norma IRAM 1601:2012 fija los requisitos que debe cumplir el agua para poder utilizarse como agua de amasado en la elaboración de morteros y hormigones, así como también las metodologías de ensayo que permiten la determinación de los parámetros considerados por dicha norma. El agua de amasado debe cumplir con requisitos químicos por lo que la norma establece valores límites de: residuo sólido, materia orgánica, pH, contenido de sulfato, hierro y cloruro. De no cumplir con el valor límite de contenido de materia orgánica, la norma indica que el agua es aún apta si cumple con los requisitos físicos. Estos refieren a el tiempo de inicio y fin de fragüe según la norma IRAM 1619:2006 y la resistencia mecánica a compresión a 7 días de acuerdo con la norma IRAM 1622:2002.

Se realizaron los ensayos exigidos por la norma para determinar la aptitud de la solución UB como agua de amasado y así confirmar si es factible incorporar la cepa bacteriana al hormigón a través de esta.

### Cemento

Para la determinación de los requisitos físicos que indica la norma es necesario confeccionar probetas de mortero. Las mismas fueron elaboradas con cemento Portland Normal (CPN40). Las conclusiones obtenidas se fundan en la comparación entre los resultados para una muestra realizada con solución UB y una muestra patrón de referencia elaborada con agua destilada hervida. Este método de comparación de resultados es aplicable solo cuando se emplea el mismo cemento en ambas muestras.

### Agregados

Se realizó la caracterización de los agregados a utilizar en la posterior elaboración del hormigón. Para lo cual se contemplaron ensayos de granulometría según norma IRAM 1505:2005, densidad y absorción de agregados según IRAM 1533:2002 para agregado grueso e IRAM 1520:2002 para agregado fino y densidad a granel según IRAM 1548:2003.

### Hormigón

Para evaluar que efecto tiene la incorporación de bacterias en las propiedades del hormigón, se realizó el moldeado de probetas cilíndricas elaboradas con dimensiones establecidas según norma. El hormigón fue confeccionado con el agregado caracterizado y cemento portland normal (CPN40). Se moldearon con la misma dosificación, probetas con solución UB, a las que denominaremos muestras UB y probetas patrón elaboradas con agua destilada hervida. Cabe destacar que los resultados y conclusiones obtenidos se realizaron por comparación entre la muestra UB y la muestra patrón por lo que fue de gran importancia que se empleen para ambos el mismo cemento y los mismos agregados.

Sobre las probetas de hormigón se realizaron ensayos de carbonatación, absorción, succión capilar de acuerdo con norma IRAM 1871:2021, asentamiento de acuerdo a la norma IRAM 1536:1978 y resistencia a compresión a 28 días según norma IRAM 1546:2013.

## Resultados y discusión

### Agua de amasado

La Tabla 1 indica los resultados obtenidos para la muestra patrón y la solución UB las cuales se pretende utilizar como agua de amasado.

|                  | Residuos sólidos (mg/l) | Materia orgánica (mg/l) | PH     | Sulfato SO <sub>4</sub> (mg/l) | Cloruros Cl- (mg/l) | Tiempo de inicio de fragüe (min) | Tiempo de fin de fragüe (min) | Resistencia mecánica a 7 días (MPa) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|--------|--------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Patrón           | 0,00                    | 0,00                    | 5,53   | 4,32                           | 2,64                | 230,00                           | 375,00                        | 25,90                               |
| UB               | 7673,00                 | 9786,00                 | 8,97   | 2,33                           | 9,56                | 260,00                           | 405,00                        | 25,60                               |
| Límites IRAM1601 | Máx. 5000               | Máx. 3                  | Min. 6 | Max. 2000                      | Max. 1000           | Min 45 min<br>230±57,50          | Max 720 min<br>375±93,75      | 25,90±2,59                          |

Tabla 1 – Caracterización del agua de amasado.

De la misma se puede observar que los valores de **pH**, contenido de **sulfato** y **cloruros** se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma IRAM 1601:2012. No así, los valores de contenido de **residuo sólido** y de **materia orgánica**, que superan ampliamente el límite máximo. Por esta razón fue necesario evaluar los requisitos físicos. Para establecer el entorno límite del tiempo de fragüe según norma se debe realizar el +/-25% de la muestra patrón.

En cuanto a la **resistencia mecánica**, la norma establece que no se debe producir una reducción mayor al 10% en los valores de resistencia a la compresión a 7 días de las probetas de mortero moldeadas con el agua de amasado en estudio, respecto de los valores de resistencia obtenidos con las probetas patrón moldeadas con agua destilada hervida. Las muestras elaboradas con solución UB presentan valores superiores en el tiempo de inicio y fin de fragüe y valores levemente inferiores de resistencia a compresión a 7 días en comparación con las muestras patrón, aunque cumple con los valores límites establecido en la norma. González et al. (2019) menciona que el contenido de hierro se encuentra dentro de los límites luego de incorporar las bacterias por lo que queda para etapas posteriores de investigación confirmar esta afirmación.

### Agregados

En la Tabla 2 se resumen todos los resultados de la caracterización de los agregados utilizados para la elaboración del hormigón.

|  |           |  |                   |                   |
|--|-----------|--|-------------------|-------------------|
| <b>Agregado Grueso</b>   | IRAM 1505 | TMN  | 19                | mm                |
|  |           | Módulo de finura   | 6,38              | -                 |
|  |           | Densidad Granel  | 1580              | g/cm <sup>3</sup> |
|  | IRAM 1548 | Densidad Granel SSS  | 1650              | g/cm <sup>3</sup> |
|  |           | Volumen de vacíos  | 44                | %                 |
|  | IRAM 1533 | Densidad relativa real   | 3,08              | g/cm <sup>3</sup> |
|  |           | Densidad relativa aparente del agregado seco                     | 2,73              | g/cm <sup>3</sup> |
| Densidad relativa aparente del agregado saturado superficie seca |           | 2,84   | g/cm <sup>3</sup> |                   |
| Absorción  |           | 4.11   | %                 |                   |
| TMN  |           | 4,75   | mm                |                   |
| <b>Agregado Fino</b>   | IRAM 1505 | Módulo de finura   | 2,9               | -                 |
|  |           | Densidad relativa real   | 2,74              | g/cm <sup>3</sup> |
|  | IRAM 1520 | Densidad relativa aparente del agregado seco                     | 2,7               | g/cm <sup>3</sup> |
|  |           | Densidad relativa aparente del agregado saturado superficie seca | 2,67              | g/cm <sup>3</sup> |
|  |           | Absorción  | 0,48              | %                 |

Tabla 2 – Caracterización de los agregados.

### Hormigón

En la Tabla 3 se encuentran los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras de hormigón.

|        | Asentamiento [cm] | Resistencia a compresión [MPa] | Carbonatación    | Permeabilidad [g/m <sup>2</sup> ] | Absorción [%] |
|--------|-------------------|--------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------|
|        | <b>IRAM 1536</b>  | <b>IRAM 1546</b>               | <b>UNE 12390</b> | <b>IRAM 1871</b>                  | -             |
| Patrón | 18,00             | 25,70                          | No presenta      | 6307,00                           | 6,25          |
| UB     | 22,00             | 24,25                          | No presenta      | 6169,31                           | 6,26          |

Tabla 3 – Caracterización del hormigón.

De los resultados obtenidos se observa que la muestra UB tiene un mayor asentamiento con respecto a la muestra patrón. La resistencia a compresión de la muestra UB se encuentra levemente disminuida con respecto a la muestra patrón siendo irrelevante la diferencia. Ninguna de las muestras presenta carbonatación. La muestra UB tiene una permeabilidad menor que la muestra patrón. Las dos muestras presentan el mismo porcentaje de absorción.

### Conclusiones

La solución UB cumple con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1601:2012 por lo que es apta para ser utilizada como agua de amasado de morteros y hormigones. Por lo antes mencionado podemos concluir que es factible incorporar la cepa bacteriana al hormigón por medio del agua de amasado.

Las bacterias no afectan las propiedades en estado endurecido del hormigón, pero si influyen en las propiedades reológicas del material, principalmente en el asentamiento. Debido a esto será conveniente en etapas posteriores de investigación trabajar comparando hormigones con igual asentamiento en lugar de igual dosificación.

La precipitación de carbonato de calcio depende de dos factores fundamentales: la presencia de iones calcio y la presencia de bacterias. Los resultados obtenidos de los ensayos de las probetas de hormigón elaborados con solución UB

cuentan con iguales características que los valores obtenidos en las probetas patrón. Debido a esto podemos concluir que no se obtuvieron los resultados esperados. Será necesario en etapas posteriores de investigación evaluar el aumento de contenido de calcio o la incorporación de una concentración mayor de bacterias.

## Referencias bibliográficas

- Estupiñan, D. F. J., & Caballero, J. J. G. (2020). "Importancia del concreto en el campo de la construcción." *Formación Estratégica*, 2(1), 1-13.
- Gonzalez, D., Guillarducci, A., Grether, R., Guerrero, S., Andrés, F. (2019). "Precipitación de carbonato de calcio inducida por microorganismos: Evaluación de su utilidad en la reparación de fisuras en morteros de experimentación." *Actas del 3° Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles*. Santa Fe-Paraná, Argentina, 22 al 25 de mayo, 947-953.
- Jonkers, H. M. (2007). *Self healing materials: an alternative approach to 20 centuries of materials science*, Dordrecht: Springer Netherlands, 195-204.
- Rupp, S., Cerutti, C. (2021). "Biohormigones: Viabilidad de las bacterias y su afectación en las propiedades físico-mecánicas del hormigón." *En Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos*. Santa Fe, Argentina, 6 y 7 de octubre, 1-5.
- Rupp, S., Cerutti, C. (2022). "Biohormigones: evaluación del agua de amasado." *En Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos*. Reconquista, Santa Fe, Argentina, 3 y 4 de noviembre, 1-7.
- Sánchez, E. A. N. (2022). *Contribuciones investigativas en ciencias y biotecnología*. San Felipe: Ediciones UNEY, 37 - 47.
- Seifan M, Sarmah AK, Samani AK, Ebrahiminezhad A, Ghasemi Y, Berenjian A. (2018) "Mechanical properties of bio self-healing concrete containing immobilized bacteria with iron oxide nanoparticles." *Applied Microbiology and Biotechnology*, (102), 4489-4498.