

“Biohormigones: evaluación del agua de amasado”

“Bioconcretes: evaluation of mixing water”

Sharon Rupp

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.

sharonrupp99@hotmail.com

Catalina Cerutti

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.

catalinacerutti24@gmail.com

RESUMEN: Las estructuras de hormigón armado pueden presentar fisuras en cualquier momento de su vida útil. Estas fisuras no solo afectan a la estructura estéticamente, sino que pueden afectar su resistencia y durabilidad. La fisura es una vía que facilita el ingreso de sustancias nocivas pudiendo provocar patologías que pueden afectar la vida útil de las estructuras. A razón de lo mencionado, se plantea el uso de materiales auto reparantes. El bio hormigón es un material que permite la auto reparación de fisuras a partir de la incorporación de bacterias que inducen la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3). Las bacterias son incorporadas mediante el agua de amasado. Con el objetivo de evaluar la factibilidad de disminuir el contenido de materia orgánica en el agua de amasado, se evaluaron diferentes tipos de agua de amasado para determinar si cumplen los requisitos establecidos en la norma IRAM 1601:2012.

PALABRAS CLAVES: Bio Hormigón, Propiedades, Bacteria.

ABSTRACT: Reinforced concrete structures can present cracks at any time during their useful life. These fissures not only make the structure aesthetic but can also affect its strength and durability. The fissure is a pathway that facilitates the entry of harmful substances and can cause pathologies that can affect the useful life of the structures. Due to the above, the use of self-repairing materials is proposed. Bioconcrete is a material that allows self-repair of cracks from the incorporation of bacteria that induce the precipitation of calcium carbonate (CaCO_3). The bacteria are incorporated through the mixing water. In order to evaluate the feasibility of reducing the content of organic matter in the mixing water, different types of mixing water were evaluated to determine if they meet the requirements established in the IRAM 1601:2012 standard.

KEYWORDS: Bio concrete, Properties, Bacteria.

INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción. Debido a diversos factores, se generan solicitaciones que exceden la capacidad resistente del hormigón y provocan fisuras en las estructuras. Dichas fisuras pueden aparecer a lo largo de la vida útil de las mismas. Estas no solo afectan estéticamente a las estructuras, sino que pueden provocar el aumento del riesgo de degradación de la matriz. Dado que al no ser reparadas a tiempo facilitan el ingreso de agua, gases y

otras sustancias nocivas que pueden desencadenar mecanismos de deterioro que afectan a la durabilidad. En respuesta a dicho problema, diversas líneas de investigación han abordado el desarrollo de hormigones autorreparantes (Rupp and Cerutti, 2021: 1-2).

La biomineralización es un proceso por el cual los organismos vivos producen minerales. Los biominerales más comunes son los óxidos (fundamentalmente magnetita, goethita, hematita, ferrihidrita y óxidos de manganeso), carbonatos, fosfatos, sulfatos y sulfuros (Pérez González et al., 2004). En el caso de la mineralización inducida biológicamente, los minerales se forman extracelularmente como resultado de la actividad metabólica del organismo.

Numerosos trabajos de investigación han destacado el gran potencial que tiene el desarrollo de materiales cementicios autorreparantes a partir de la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) inducida por microorganismos. Esto permitiría que el material selle las fisuras desde el mismo momento de su generación, preservando la integridad de las estructuras y protegiéndolas de otras patologías. (Tiano et al., 1999) (Samani and Berenjian, 2016: 2591-2602)

Una de las formas en que se puede lograr la biomineralización dentro de la matriz de materiales cementicios es a partir del empleo de bacterias ureolíticas, éstas tienen la enzima ureasa, que cataliza la hidrólisis de la urea. Así, mediante la actividad microbiana, 1 mol de urea se hidroliza a 1 mol de amoníaco y 1 mol de carbamato, Ec. (1), el carbamato se hidroliza espontáneamente para formar 1 mol adicional de amoníaco y ácido carbónico, Ec. (2), como sigue:



Estos productos se equilibran en agua para formar carbonato, Ec. (3), iones de amonio e hidróxido, Ec. (4), que dan lugar a un aumento del pH. El carbonato así generado se combina con los iones de calcio (Ca^{2+}) presentes en la solución de poros formando carbonato de calcio, Ec. (5).



En trabajos previos se confirmó la cepa bacteriana *Lysinibacillus sphaericus* 2362, un bacilo ureolítico con el que se pretende inducir la precipitación CaCO_3 en el hormigón. Se corroboró de forma cualitativa la actividad ureasa y capacidad de precipitar CaCO_3 de la bacteria. A su vez, se definió el uso de un medio de cultivo acuoso constituido por urea y extracto de carne, el cual permite un óptimo desarrollo de la bacteria cumpliendo con los requisitos de agua de amasado establecidos por la norma IRAM 1601:2012, pudiendo incorporar la masa biológica al hormigón. (González et al., 2019)

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la factibilidad de disminuir el contenido de materia orgánica en el agua de amasado, modificando la conformación de esta.

MATERIALES

1. Incorporación de las bacterias al hormigón

Existen diferentes metodologías de incorporación de las bacterias en el hormigón para generar un material autoreparante, en este proyecto se analiza la incorporación de las bacterias directamente a la mezcla de hormigón durante el proceso de elaboración, mediante el agua de amasado. La calidad y cantidad de impurezas del agua puede interferir en la hidratación del cemento, modificar el tiempo de fraguado, reducir la resistencia, causar manchas en la superficie del hormigón, aumentar el riesgo de corrosión de las armaduras o deteriorar superficialmente el hormigón.

2. *Preparación del aditivo*

El aditivo UB está compuesto de una disolución de urea y agua más un concentrado de bacterias *Lysinibacillus sphaericus* 2362.

El aditivo UB pretende ser empleado como agua de amasado permitiendo incorporar la materia biológica al hormigón. Se realizaron dos tipos de aditivos denominados UB1 y UB2. El primero fue conformado con agua corriente hervida mientras que en el segundo se utilizó agua desmineralizada.

METODOLOGÍA.

La norma IRAM 1601:2012 establece los requisitos que debe cumplir y los métodos de ensayo de agua destinada a la preparación y/o curado de morteros y hormigones de cemento portland. Dentro de los requerimientos químicos, deben cumplir con ciertos límites en cuanto a contenido de residuo sólido, materia orgánica, pH, sulfatos, cloruros y hierro. Las últimas tres propiedades no se evaluaron ya que estas no sufren alteración con la incorporación de las bacterias. Quedando pendiente para trabajos futuros la determinación del pH.

Con el fin de evaluar la posibilidad de incorporar masa biológica a la pasta de cemento, a través del agua de amasado, se determina el contenido de residuo sólido y materia orgánica y la incidencia de las muestras evaluadas en el tiempo de fragüe, siguiendo la siguiente secuencia.

1. *Determinación del contenido de residuos sólidos*

La norma IRAM 1601:2012 define el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de residuos sólidos que contiene el agua de amasado. Dicho ensayo se realizó empleando las variantes de agua de amasado que se indican a continuación:

- a. Agua destilada (Blanco).
- b. Agua desmineralizada (Patrón UB2).
- c. Agua desmineralizada hervida.
- d. Agua corriente.
- e. Agua corriente hervida (Patrón UB1).
- f. UB1.
- g. UB2.

2. *Determinación del contenido de materia orgánica*

La norma IRAM 1601:2012 define el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de materia orgánica que contiene el agua de amasado. Dicho ensayo se realizó empleando variedades de agua de amasado, estas se indican a continuación:

- a. Agua destilada (Blanco).
- b. Agua desmineralizada (Patrón UB2).
- c. Agua desmineralizada hervida.
- d. Agua corriente.

- e. Agua corriente hervida (Patrón UB1).
- f. UB1.
- g. UB2.

3. *Determinación de las propiedades físico-mecánicas*

La Norma IRAM 1601:2012 permite el uso de agua que no cumplan con el contenido mínimo de materia orgánica siempre que no se afecte al tiempo de fragüe y la resistencia. Para ello en este trabajo se evaluará la influencia en el tiempo de fragüe. Quedando pendiente para trabajos futuros la evaluación de la influencia en la resistencia.

3.1. *Determinación de la pasta consistencia normal*

La norma IRAM 1612:2006 define el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de agua de la mezcla para obtener una pasta de cemento de consistencia normal. Dicho ensayo se realizó empleando cemento Portland normal (CPN) y como agua de mezclado las variantes que se indican a continuación:

- a. Agua destilada (Blanco).
- b. Patrón UB1.
- c. Patrón UB2.
- d. Aditivo UB1.
- e. Aditivo UB2.

3.2. *Determinación del tiempo de fraguado*

La norma IRAM 1619:2003 permite determinar el tiempo de inicio y fin de fraguado a partir del método de ensayo que en ella se describe (ensayo de Vicat). El ensayo consiste en determinar la penetración de la aguja del aparato de Vicat en una muestra de pasta de cemento de consistencia normal alojada en un molde troncocónico. Se considera como tiempo de inicio de fragüe al tiempo transcurrido desde que el cemento toma contacto con el agua (instante cero) hasta que se registra una penetración que deje una distancia de 4 ± 1 mm entre la punta de la aguja y la placa base de la probeta. El tiempo de fin de fragüe es el tiempo que transcurre desde el instante cero hasta que la aguja deja de marcar la probeta por primera vez. Dicho ensayo se realizó por triplicado empleando cemento normal (CPN) y como agua de mezclado las variantes que se indican a continuación.

- a. Agua destilada (Blanco).
- b. Patrón UB1.
- c. Patrón UB2.
- d. Aditivo UB1.
- e. Aditivo UB2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. *Determinación del contenido de residuos sólidos*

En la Tabla 1 se indican los resultados obtenidos para cada variable. El ensayo se realizó con agua hervida para observar si mediante este procedimiento se podía eliminar el contenido de residuo sólido presente en el agua. Como se puede observar, al hervir el agua se elimina completamente el contenido de residuo sólido del agua. El agua desmineralizada y corriente cumplen con los requisitos de la norma

IRAM 1601: 2012 mientras que los aditivos UB1 y UB2 exceden el límite máximo de contenido de residuo sólido.

MUESTRA	RESIDUOS SÓLIDOS [mg/l]
Agua desmineralizada (Patrón UB2)	255,5
Agua desmineralizada hervida	0
Agua corriente	101,5
Agua corriente hervida (Patrón UB1)	0
Agua destilada (Blanco)	0
UB1	10067,33
UB2	9229,5
Máximo IRAM 1601	5000

Tabla N°1. Resultados del ensayo de contenido de residuos sólidos.

2. *Determinación del contenido de materia orgánica*

En la Tabla 2 se indican los resultados obtenidos para cada tipo de agua. El ensayo sobre agua desmineralizada tiene una inconsistencia ya que el agua desmineralizada hervida presenta un mayor contenido de materia orgánica, por lo que podemos concluir que hubo una contaminación de la muestra de agua. Dicha alteración de la muestra se pudo haber dado en el proceso de hervido de agua o de evaporación de la misma.

Todas las variantes analizadas exceden ampliamente el límite máximo de contenido de materia orgánica establecido por la norma IRAM 1601: 2012.

MUESTRA	MATERIA ORGÁNICA [mg/l]
Agua desmineralizada (Patrón UB2)	176
Agua desmineralizada hervida	264,33
Agua corriente	251
Agua corriente hervida (Patrón UB1)	194,67
Agua destilada (Blanco)	0
UB1	10029
UB2	9305,5
Máximo IRAM 1601	3

Tabla N°2. Resultados del ensayo de contenido de materia orgánica.

3. *Determinación de la pasta consistencia normal*

En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para cada variable. Como puede observarse la demanda de agua de amasado no se ve afectada con la incorporación de la materia orgánica. Para el aditivo UB2 la demanda de agua es la misma requerida por el ensayo patrón. Para el aditivo UB1 puede observarse que el mayor contenido de materia orgánica en el agua de amasado provoca un aumento del 3% de la demanda de esta para obtener la misma consistencia respecto del patrón. Sin embargo, puede indicarse que el incremento de la materia orgánica y del residuo sólido no incide de manera significativa en la demanda de agua.

MUESTRA	AGUA DE MEZCLADO [%]
Agua destilada (Blanco)	29
Aditivo UB1	29
Patrón UB1	29
Aditivo UB2	29
Patrón UB2	26

Tabla N°3. Resultados del ensayo de consistencia normal de pasta.

4. *Determinación del tiempo de fraguado*

A partir del ensayo Vicat se determinaron los tiempos de inicio y fin de fragüe del cemento CPN, empleando como aguas de amasado las variantes en estudio, indicadas en la metodología. En la Tabla 4 se indican los tiempos de inicio y fin de fragüe. Dicha determinación es de relevancia dado que la presencia de materia orgánica en el agua de amasado afecta los tiempos de inicio y fin de fragüe del hormigón. Sin embargo, se cumple lo establecido en la norma IRAM 1601:2012 para usos excepcionales de aguas que no cumplen con los requisitos, presentando todas las muestras un tiempo de fraguado inicial superior a los 45 minutos y un tiempo de fraguado final menor a las 12 horas.

MUESTRA	INICIO [min]	FIN [min]
Agua destilada (Blanco)	250	420
Aditivo UB1	220	430
Patrón UB1	245	390
Aditivo UB2	275	435
Patrón UB2	295	495

Tabla N°4. Resultados del ensayo de tiempo inicial y final de fraguado.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se expusieron los primeros resultados obtenidos del análisis del agua de amasado con la incorporación de masa biológica, con el fin de poder definir la factibilidad de disminuir el contenido de materia orgánica en el agua de amasado a utilizar para en un futuro desarrollar hormigones reparantes conforme a la norma Argentina. Como principales conclusiones se pueden destacar:

1. En cuanto al contenido de materia orgánica, todas las muestras superan ampliamente el límite máximo de la norma.
2. A mayor cantidad de materia orgánica presente en el agua de amasado, se obtienen mayores tiempos de inicio y fin de fragüe del cemento.
3. La demanda de agua de amasado no se ve afectada con la incorporación de masa biológica.
4. La incorporación de masa biológica en el agua de amasado cumple con los requisitos para inicio y fin de fragüe. Quedando pendiente la determinación de la afectación en la resistencia a compresión para definir su empleo como agua de amasado.

REFERENCIAS

- Rupp, S y Cerutti, C (2021). "Biohormigones: Viabilidad de las bacterias y su afectación en las propiedades físico-mecánicas del hormigón", Jornada Jóvenes Investigadores Tecnológicos, Santa Fe, Argentina, 8 al 9 de octubre, 1-2.
- Pérez Gonzalez, T., Valverder Tercedor, C., Jiménez López, C. (2004). "Biomineralización bacteriana de magnetita y aplicaciones." *Seminario SEM.*, 7, 58-74.
- Tiano, P., Biagiotti, L., Mastromei, G. (1999). "Bacterial bio-mediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation." *J. Microbiol. Methods.*, 36, 139-145.
- Samani, A.K., Berenjian, A. (2016). "Bioconcrete: next generation of self-healing concrete." *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 100, 2591-2602.
- 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." *Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles.*, 3, 947-953.