

HORMIGÓN BIOLÓGICO  
*Sofía Hortelano Márquez*  
BIOLOGICAL CONCRETE

*sofia.hortelano@alumnos.upm.es*  
*<https://orcid.org/0009-0007-7252-8479>*

*Estudiante*  
*Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.*  
*Universidad Politécnica de Madrid.*

La fusión entre el hormigón y la naturaleza comienza en un período mínimo de cuarenta años, el necesario para que el musgo comience a apropiarse del material, pero ¿cómo se podría adelantar este proceso para que la arquitectura y la vegetación se unan desde el principio? El estudio busca el desarrollo de un hormigón biológico que permita dicha fusión, siendo así un material más amable con el entorno y la vegetación. El objetivo principal es reducir el pH del hormigón, para permitir así el desarrollo de vida vegetal. Además, en esta investigación se valorará la utilización de elementos naturales frente a químicos, por ello, en este caso el protagonista será el café. Para el apoyo de la investigación, se contrastarán diversos métodos desarrollados en otras investigaciones y se llevarán a cabo ciertas muestras para corroborar el estudio.

Palabras clave: hormigón biológico, pH, ácido-base, posos de café, fosfato de magnesio, porosidad, dosificación, sostenibilidad.

#### ABSTRACT

*The synthesis between concrete and nature begins with a minimum period of forty years, the time necessary for the moss to begin to appropriate the material, but how could this process be brought forward so that architecture and vegetation come together from the beginning? The study seeks to develop a biological concrete that allows such fusion, thus being a material that is friendlier to the environment and vegetation. The main objective is to reduce the pH of concrete, allowing the development of plant life. Furthermore, in this research the use of natural elements over chemicals is valued, therefore, in this case the main character will be coffee. To support the research, assorted methods developed in other investigations will be contrasted and certain samples will be carried out to corroborate the study.*

*Keywords: biological concrete, pH, acid-base, coffee grounds, magnesium phosphate, porosity, dosage, sustainability.*

Es indispensable conocer la materia prima para ejercer una alteración en ella, buscando unos objetivos concretos. Por esta razón, se deben estudiar previamente todas las nociones necesarias del hormigón común, comenzando con sus componentes. Éstos son el cemento, el agua, la arena y la grava, cuya dosificación dependerá de las características que se quieran obtener. Para el objeto de estudio, hay dos propiedades del hormigón esenciales a tener en cuenta: por un lado, el pH de alta alcalinidad, que oscila entre 12 y 13; por otro, la porosidad, que dependerá de los áridos de la mezcla.

La investigación tiene como propósito el desarrollo de un hormigón "biológico" en el que se permita la compatibilidad con la vida vegetal. Se entienden como tal tanto musgos como plantas que se puedan dar en el hormigón, como las plantas epífitas cuyas raíces se adhieren al elemento sin necesidad de sustrato, las trepadoras o enredaderas (Fig. 1), o aquellas que tengan raíces de pequeño tamaño. Para lograrlo, este estudio tiene dos objetivos. Primero, reducir el pH a un valor cercano al 6,5, que es el necesario para un buen desarrollo de vegetación. Segundo, aumentar la porosidad del hormigón para permitir el paso del agua sin estancamiento, y así evitar pudrición y

patologías en el hormigón, y también para favorecer la ventilación de raíces. Los beneficios de dicho hormigón biológico incluyen el aspecto estético, permitiendo la simbiosis con el entorno, la purificación del aire e incluso la mejora del aislamiento térmico y acústico.

#### ANTECEDENTES

El cemento de fósforo de magnesio ha sido objeto de investigación en esta materia por diversos estudios, siendo uno de los principales la tesis doctoral de Sandra Manso Blanco, junto al Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Universitat Politècnica de Catalunya, *Bioreceptivity optimisation of concrete substratum to stimulate biological colonisation*<sup>1</sup>. En ella se analiza el empleo de este tipo de cemento, que sirvió de base para siguientes investigaciones, como es el caso del Trabajo de fin de Máster de Federica Fiamingo *Hormigones biológicos*<sup>2</sup>, en el que se basa la explicación de las dos alternativas para el desarrollo de un hormigón biológico que se plantean en este trabajo.

La primera alternativa para el desarrollo de un hormigón biológico es el uso del mencionado cemento de fósforo de magnesio. Se trata de la reacción ácido-base entre el óxido de magnesio o magnesia (MgO) y fosfato de potasio monobásico KDP (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), la variabilidad de resultados de las muestras depende de la relación Magnesio/ Fósforo (Mg/P). La dosificación de la mezcla varía dependiendo de cada estudio, ya que se añaden componentes retardantes como el bórax, que alterará positivamente el pH dependiendo de su proporción, el nitrato de zinc (Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) que, aunque no modifica el pH al final del fraguado, solo retrasa el proceso de aumentar el pH en el tiempo. También se prueba con ácido bórico como aditivo, al igual que el zinc, y en algunas investigaciones se reemplaza parte de la magnesia por ceniza volante, otro componente que aumenta el pH del hormigón.

Por otro lado, también se ha investigado sobre los cementos con cascarilla de café, como se describe en el artículo *"Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café"*<sup>3</sup>, en el que se analiza que dichas cascarillas pueden mejorar la resistencia a compresión. Por otra parte, en el estudio *"Hormigones biológicos"*

1

Manso, Sandra. *"Bioreceptivity optimisation of concrete substratum to stimulate biological colonisation"*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2014

2

Fiamingo, Federica. *"Hormigones biológicos"*. TFM, Universidad Politécnica de Cartagena, 2017.

3

Salazar, Jaime, et al. *"Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café"*, Ingeniería e Investigación, n.º 8 (1984): pág. 51-56.

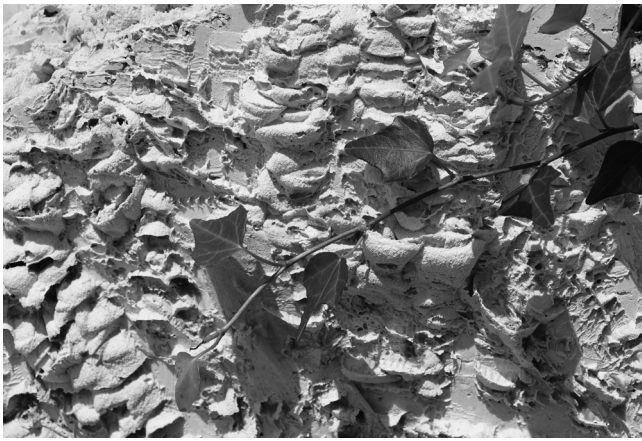


Fig. 1  
Banco de Hormigón biológico,  
Taller Experimental II Hormigón Concreto 2024.  
Fotografía del autor.

también se analiza el cemento con posos de café y, aunque sobre este tema hay menos documentación, es una alternativa sostenible, baja de coste y compatible con el hormigón, por lo que es un buen objeto de investigación.

### USO DE CAFÉ

En primer lugar, los posos de café son un elemento insoluble en agua y con baja resistencia mecánica, por lo que se llevará a cabo la geopolimeración, polímeros sintéticos inorgánicos como la alúmina y la sílice, mezclando los posos de café con cenizas volantes y escorias de alto horno para mejorar dichas propiedades. Por otro lado, es conocido que una de las propiedades del café es la acidificación de elementos como el sustrato para plantas, igual que hay otras metodologías en este campo como es el empleo de turba, la corteza de pino, vinagre de manzana e incluso óxido de tornillos y clavos<sup>4</sup>. El problema es que estos métodos no son compatibles con el hormigón, porque pueden alterar demasiado sus propiedades o no son viables físicamente. El empleo de café en el hormigón se verá beneficiado si se añaden elementos químicos relacionados con el estudio anterior, como la ceniza volante que mejorará las propiedades mecánicas, en cambio, la magnesia es incompatible con éste a pesar de que los resultados de las muestras con este elemento son óptimos.

Las conclusiones principales del estudio de Federica Fiamingo muestran que la relación Magnesio/

Fósforo (Mg/P) solo afecta al pH en estado fresco, el empleo de retardantes aumenta el pH y la resistencia disminuye en los cementos compuestos por magnesia y ceniza volante, sobre todo cuando la parte ácida de la mezcla son posos de café en vez de fosfato de potasio monobásico, confirmando así la incompatibilidad entre magnesia y café. Por conclusión, la pasta que mejor resultados obtiene son los hormigones a base de magnesia con una mayor cantidad de fosfato de potasio monobásico, para mejorar las propiedades mecánicas además de la disminución del pH, pero ¿sería posible lograr resultados eficientes basándose principalmente en elementos sostenibles como el café?

### HORMIGÓN BIOLÓGICO CON POSOS DE CAFÉ

El estudio realizado en la asignatura *Taller Experimental II Hormigón Concreto*, de la Escuela Técnica Superior Arquitectura Madrid UPM, se centra en esta cuestión<sup>5</sup>. Se focaliza en experimentar cómo la incorporación de posos de café afecta al hormigón y, ver si los resultados de las muestras concuerdan con los estudios anteriores.

Principalmente se valorarán dos aspectos, el primero, si es posible que la vegetación pueda sobrevivir en la muestra de hormigón con café, ya que esto indicará que el pH se ha reducido lo suficiente. Segundo, que la dosificación propuesta funcione también mecánicamente, ya que al añadir los posos de café se puede considerar otro tipo de árido y, por tanto, se deberán ajustar todas las proporciones. Además, dichos posos también alteran la compactación del hormigón, la absorción del agua y el posible taponamiento de las burbujas de aire que se forman entre los áridos, debido a la variedad granulométrica. Es decir, como se ha mencionado anteriormente, el drenaje del hormigón y la microventilación del interior es un factor muy determinante para el desarrollo de la vegetación. Por esta razón, se buscarán áridos gruesos y porosos como es la greda volcánica que, a pesar de que los posos de café son muy finos y, por tanto, compactos, el interior de la grava volcánica seguirá manteniendo burbujas de aire. Por otro lado, se añadirá arena para aportar granulometría de otra característica, para favorecer lo mencionado.

Tras la elaboración de varias muestras (Fig. 2) con diferentes proporciones de agua-cemento, áridos y café, se analiza la resistencia mecánica, la porosi-

4

Guío de Valdenebro, Ignacio. Conversación privada con el autor, 6 de marzo 2024. Divulgador conocido en redes sociales como "Chico\_Plantas", paisajista, jardinero y florista. Sader, Marta. "¿Problemas con tus macetas? Chico Plantas tiene la solución: hablamos con la estrella de las terrazas y jardines españoles". *Architectural Digest España*, 2024.

5

En paralelo a este estudio, se realizó el diseño y la construcción de un prototipo de banco público realizado con hormigón biológico mediante posos de café, con el objetivo de que creciera la vegetación en él. Este trabajo, su desarrollo y producción final se pueden consultar en esta misma publicación, junto al resto de resultados del Taller Hormigón Concreto.

dad, la compactación, el tiempo de fraguado y, posteriormente, la compatibilidad con la vegetación y, por tanto, la bajada del pH. Las muestras se someten a diferentes experimentos con el objetivo de comparar resultados. Primero, la introducción de semillas en la mezcla para garantizar que se podría dar vida vegetal. Segundo, añadir a una de estas muestras con semillas en el interior, sustrato universal en la mezcla y en la superficie, lo que causó un mayor desmenuzamiento, aunque las semillas se llegaron a desarrollar (Fig. 3). Tercero, la colocación de la muestra en un recipiente hermético con musgo y otros tipos de plantas y semillas, con el objetivo de analizar si estos se adhieren a la superficie o si sobreviven en ésta. Finalmente, la comparación con una muestra de hormigón común sin posos de café que se sometió a los mismos experimentos.

## CONCLUSIONES

En cuanto a los resultados de los experimentos, las muestras que contenían una proporción de posos de café similar o superior a la del resto de áridos, arena y grava volcánica, permitieron la evolución de las semillas dentro de esas muestras (Fig. 4), por lo que se evidencia que el pH había disminuido y era seguro para que la semilla detectase que se encontraba en una ubicación óptima. La dificultad de las muestras que contenían demasiado café es que no tenían resistencia suficiente y se desmenuzaban, debido a que, como indican las anteriores investigaciones, los posos de café repercuten negativamente en la resistencia del hormigón. Por otro lado, en el recipiente hermético (Fig. 5), el musgo se adhirió a la mayoría de las muestras, salvo la que no contenía café, cuyo único cambio fue una leve coloración amarillenta superficial causada posiblemente por la humedad y la presencia de vegetación.

Como resultado del estudio, se concluyó que la dosificación óptima en  $1\text{m}^3$  es:  $0,15\text{ m}^3$  cemento;  $0,15\text{ m}^3$  agua;  $0,20\text{ m}^3$  arena;  $0,24\text{ m}^3$  grava volcánica y  $0,26\text{ m}^3$  posos de café. Por consiguiente, es posible la elaboración de un hormigón biológico a base de elementos naturales y de deshecho, sin comprometer las propiedades mecánicas de éste y aportando, además, beneficios relacionados con la propia arquitectura.



Fig. 2  
Preparación de muestras para análisis,  
Sofía Hortelano Márquez, Febrero 2024.



Fig. 3  
Muestra de hormigón con sustrato universal, posos de café y semillas, Sofía Hortelano Márquez, Febrero 2024.



Fig. 4  
Desarrollo de semillas en hormigón con posos de café, Sofía Hortelano Márquez, Abril 2024.



Fig. 5  
Recipiente hermético con muestras de diversas dosificaciones, Sofía Hortelano Márquez, Abril 2024.

Fiamingo, Federica. "*Hormigones biológicos*". Trabajo Final de Máster, Universidad Politécnica de Cartagena, 2017. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/bc16604c-3b73-436b-96dd-923c46a41486>.

Manso Blanco, Sandra. "*A review of sample preparation and its influence on pH determination in concrete samples*". *Materiales de Construcción*, n.º 67 (2017). <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.08515>.

Manso Blanco, Sandra. "*Bioreceptivity optimisation of concrete substratum to stimulate biological colonisation*". Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2014. <https://www.tdx.cat/handle/10803/145066#page=1>.

Salazar C, Jaime, Carlos Daniel García O y Julio Mario Olaya. "*Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café*". *Ingeniería e Investigación*, n.º 8 (1984): 51-56. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n8.19485>.