



Lámpsakos  
ISSN: 2145-4086

Universidad Católica Luis Amigó

Echavarria, Cesar; Cañola, Hernán Darío  
Bloques de concreto con emulsión de parafina  
Lámpsakos, núm. 17, 2017, Enero-Junio, pp. 14-19  
Universidad Católica Luis Amigó

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2346>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613964504002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



# Bloques de concreto con emulsión de parafina

## *Concrete blocks with paraffin wax*

**Cesar Echavarría, PhD.**

Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
[caechavarrial@unal.edu.co](mailto:caechavarrial@unal.edu.co)

**Hernán Darío Cañola, MSc.**

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia  
Medellín, Colombia  
[hernan.canola@colmayor.edu.co](mailto:hernan.canola@colmayor.edu.co)

(Recibido el 25-04-2016, Aprobado el 10-06-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

C. Echavarría, H. Cañola, "bloques de concreto con emulsión de parafina", Lámpsakos, no. 17, pp 14-19, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2346>

## Resumen

Los muros de las edificaciones presentan frecuentemente problemas de humedad como consecuencia de la exposición a la lluvia y la absorción de agua del suelo. Infortunadamente, los bloques de concreto convencionales adquiridos en el mercado tienen coeficientes de absorción capilar altos y resistencias a la penetración de agua bajas. En esta investigación, se produjeron y analizaron experimentalmente bloques y probetas cilíndricas, se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso. Se estudiaron bloques y cilindros sin emulsión de parafina y con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. Se ejecutaron ensayos de absorción capilar, de resistencia a la penetración de agua y se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar la proporción óptima de adición de emulsión de parafina.

Se determinó que los bloques con emulsión de parafina presentan mejores propiedades que los bloques convencionales sin aditivos y que podrían reducir los problemas de humedad en los muros pues tienen un coeficiente de absorción capilar bajo.

**Palabras clave:** Absorción capilar, bloque de concreto, muro, emulsión de parafina, penetración de agua.

## Abstract

The walls of the building often exhibit moisture problems as a result of exposure to rain and water absorption in the soil. Unfortunately, conventional concrete blocks purchased on the market have a high coefficient of capillary suction and a low resistance to water penetration.

In this research, concrete blocks and cylinders were produced and analyzed experimentally. They were manufactured with washed concrete sand, type I Portland cement, paraffin wax and a 0,40 water-to-cement (w/c) ratio by weight. Blocks and cylinders were analyzed first without the addition of paraffin wax and then with the addition of 10 %, 20 %, 30 % and 40 % of paraffin wax by weight of the cement. Capillary water absorption test and resistance to water penetration test were completed. A comparative analysis of the results was performed in order to determine the optimum addition of paraffin wax. It was determined that the blocks with paraffin wax have better properties than conventional blocks without additives. Furthermore, it was concluded that the blocks with paraffin wax reduce moisture problems in the walls since these blocks have a low coefficient of capillary suction.

**Keywords:** Capillary suction, concrete block, wall, paraffin wax, water penetration.

## 1. INTRODUCCIÓN

La humedad provoca daños en los muros (fabricados con bloques de concreto, ladrillos, bahareque, tierra comprimida, madera, etc.) que requieren elevadas inversiones económicas para su reparación. Particularmente, los bloques de concreto utilizados hasta ahora en las edificaciones son inapropiados para estar en contacto directo con el agua ya que tienen una absorción capilar alta y una resistencia a la penetración de agua baja.

Con el fin de evitar los problemas de durabilidad ocasionados por la presencia de humedad en las

edificaciones y para mejorar las características de absorción capilar de los muros, se han desarrollado diversas investigaciones en el área de los concretos y de los morteros.

Boltryk et al. [6] realizaron un análisis experimental con mezclas con emulsión asfáltica para obtener un mortero impermeabilizado que protegiera cubiertas y elementos estructurales expuestos a las afectaciones del suelo. En esta investigación se utilizó cemento Portland y una emulsión asfáltica resistente a los álcalis y a la mayoría de ácidos. La emulsión asfáltica fue adicionada con los siguientes porcentajes según la masa del cemento: 0%, 2% y 4%. Se estableció que el uso de las emulsiones mejoraba la impermeabilidad del concreto pero generaba reducciones en sus propiedades mecánicas. Esta solución es bastante eficaz pero los porcentajes de adición de emulsión asfáltica se aseveran bajos.

Książek [10] realizó un análisis experimental para determinar la penetración de agua en concretos. Se utilizó azufre polimerizado como aditivo (una de las ventajas de este material era su reutilización a nivel industrial). Se determinó que los concretos con adiciones de azufre polimerizado lograban una disminución considerable en la penetración de agua y reducía la absorción capilar del concreto. Arrojó igualmente altas propiedades de resistencia a la compresión pero baja rigidez con módulos de elasticidad bajos. En nuestro medio, sería relativamente oneroso utilizar estos aditivos.

Lanzón et al. [11] estudiaron el uso de jabones metálicos en polvo y siliconas para controlar la absorción de agua en los morteros. En este trabajo se analiza la eficacia de varios tipos de impermeabilización después de 7, 14 y 28 días de curado. Los efectos sobre las muestras fueron verificados y cuantificados a través de los ciclos de curado. Infortunadamente, esta investigación estudia exclusivamente los morteros.

Mukhopadhyaya et al. [12] realizaron un estudio sobre el efecto de la temperatura y la absorción de humedad en materiales de construcción. Determinaron un coeficiente de absorción capilar promedio de  $0,184 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$  en los concretos estudiados a temperatura ambiente.

Roels et al. [13] estudiaron la absorción de humedad en un medio poroso fracturado y estimaron un coeficiente de absorción capilar en concretos de  $0,018 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$ .

Díaz et al. [7] efectuaron un análisis experimental para determinar la resistencia mecánica y la

durabilidad de mezclas ternarias de cemento Portland, escoria de alto horno y piedra caliza. Se determinó el coeficiente de absorción capilar de las muestras a los 90 días y se hallaron valores entre  $0,010$  y  $0,021 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$ .

Estos y otros autores encuentran generalmente un coeficiente de absorción capilar que varía entre  $0,010$  y  $0,200 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$  en concretos. Sería sin embargo conveniente fabricar un bloque de concreto para usar en los muros con coeficientes de absorción capilar más pequeños. Zürcher et al. [16] indican que un material de construcción con un coeficiente de absorción capilar menor que  $0,030 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$  se considera repelente al agua y con un coeficiente de absorción capilar menor que  $0,008 \text{ (kg/(s}^{1/2}\text{m}^2)}$  se considera hidrófugo.

De otro lado, Zanchet et al. [15] estudian la penetración y las fugas de agua en paredes de mampostería y determinan una velocidad de absorción capilar entre  $0,09 \times 10^{-4}$  y  $0,27 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$  en los bloques de concreto estudiados.

Badogiannis et al. [5] determinaron, en su investigación sobre la durabilidad del metacaolín en concretos autocompactantes, una velocidad de absorción capilar entre  $0,13 \times 10^{-4}$  y  $0,31 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$ .

Gopalan [9] estudió la velocidad de absorción capilar como parámetro de durabilidad en concretos con y sin adiciones de cenizas volantes. Determinó para los concretos sin cenizas volantes una velocidad de absorción capilar entre  $2,01 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$  y  $2,35 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$  y con adiciones de cenizas volantes entre  $2,55 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$  y  $3,15 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$ .

Wilson et al. [14] investigaron también la absorción capilar en materiales de construcción porosos y estimaron una velocidad de absorción capilar para morteros entre  $0,89 \times 10^{-4}$  y  $1,86 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$ . Los valores de velocidad de absorción capilar en morteros y concretos con y sin adiciones son disímiles, según los autores citados, en un rango de  $0,09 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$  y  $3,15 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$ .

Las investigaciones previas tratan los morteros, los elementos de protección de cubiertas y las mezclas de concreto estructurales pero no han estudiado específicamente el comportamiento de los bloques de concreto.

En este artículo se estudia entonces un bloque de concreto con un coeficiente de absorción capilar y una velocidad de absorción capilar más bajos que los encontrados usualmente en los bloques convencionales que se encuentran en el mercado. Es evidente que un bloque de concreto con un

coeficiente de absorción capilar pequeño y una resistencia a la penetración de agua grande, Fig.1, sería más durable que uno de concreto convencional porque dificulta la penetración de agentes agresivos que producirían su degradación.



Fig. 1. Bloque de concreto con emulsión de parafina

## 2. METODOLOGÍA

En este artículo se estudia la porosidad efectiva, la resistencia a la penetración de agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar de bloques de concreto con emulsión de parafina. Se produjeron y analizaron experimentalmente 100 bloques y 100 probetas cilíndricas. Todos los bloques y las probetas cilíndricas se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso. La relación agua-cemento escogida en esta investigación es frecuentemente utilizada en la industria de los bloques de concreto porque permite desmoldarlos sin dificultad y garantiza una resistencia a la compresión adecuada.

El desarrollo experimental se dividió en tres etapas: una primera etapa de caracterización de la granulometría del árido para la fabricación de las mezclas de concreto de acuerdo con la norma ASTM D422 [2]; una segunda etapa de análisis de succión capilar en las probetas bajo parámetros de la norma UNE PrUNE 83.982 [8] y la norma ASTM C1585-04 [3]; y en la tercera etapa se hicieron ensayos de penetración de agua en los bloques mediante la utilización del método RILEM CPC 11.2 [1].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis granulométrico se utilizó una muestra de 1000 g de arena de concreto lavada. Se obtuvo un módulo de finura de 2,98 y se estimó entonces que el material analizado pertenece a una arena media.

Con el estudio de succión capilar se evaluó la porosidad, la resistencia a la penetración del agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar de las muestras. Para este análisis se utilizaron probetas cilíndricas por cada tipo de mezcla de concreto con y sin adición de emulsión de parafina. Se definió el tamaño de la muestra experimental con la norma ASTM D2915-10 [4]. Se realizaron entonces 20 ensayos por cada grupo de muestras de concreto con y sin adición de emulsión de parafina. Se usaron muestras cilíndricas de 50 mm de altura y 100 mm de diámetro cortadas con sierra diamantada de cilindros de concreto de 200 mm de altura y 100 mm de diámetro. Las muestras cortadas se sometieron a un proceso de curado y se secaron en el horno a una temperatura constante de 105°C hasta alcanzar un peso invariable. Posteriormente, fueron enfriadas en un desecador para ser impermeabilizadas en su cara lateral con un hidrófugo comercial, garantizando así una impermeabilización lateral completa. Después se colocaron sobre un recipiente con 5 mm de agua durante todo el ensayo. Las muestras se pesaron inicialmente antes de ser puestas en contacto con el agua y después se pesaron cada 10 segundos para registrar la cantidad de agua absorbida. Todos los ensayos se realizaron con una temperatura ambiente promedio de 25°C y una humedad relativa promedio de 65%. Mediante el análisis de succión capilar establecido en la norma UNE PrUNE 83.982 [8] se determinó para cada probeta:

La resistencia a la penetración del agua:

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (1)$$

El coeficiente de absorción capilar:

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \frac{1}{A} \quad (2)$$

La porosidad efectiva:

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{A h_p} \quad (3)$$

Además, la velocidad de absorción capilar  $S$  se estimó como la pendiente de una recta entre el origen y el punto crítico de saturación en la gráfica definida por la ecuación (4), según la norma ASTM C1585-04 [3]:

$$\frac{Q_t - Q_0}{\rho A} \text{ vs } \sqrt{t} \quad (4)$$

El cambio de masa de la probeta en el tiempo fue constante hasta llegar al punto crítico de saturación y una vez superado este punto de inflexión, el cambio de masa de la probeta disminuyó gradualmente hasta llegar a 0, Fig. 2.

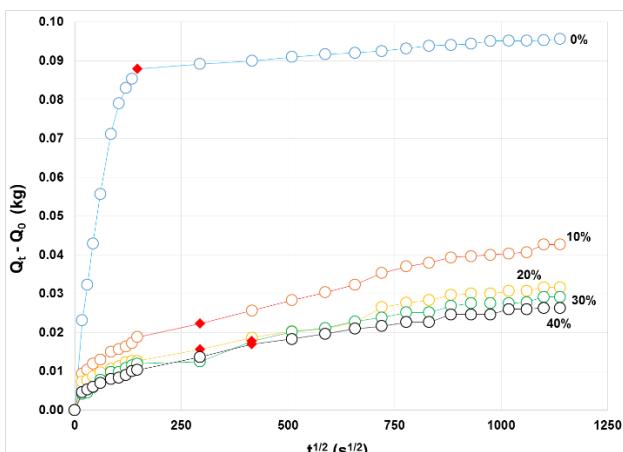


Fig. 2. Absorción capilar de las muestras en función del tiempo (0, 10, 20, 30 y 40% de adición de emulsión de parafina)

Donde,

- $m$  : Resistencia a la penetración del agua ( $\text{m/s}^2$ )
- $k$  : Coeficiente de absorción capilar ( $\text{kg}/(\text{s}^{1/2} \text{m}^2)$ )
- $\zeta$  : Porosidad efectiva (%)
- $S$  : Velocidad de absorción capilar ( $\text{m/s}^{1/2}$ )
- $t$  : Tiempo de saturación de la probeta (s)
- $t_n$  : Tiempo en el punto crítico de saturación de la probeta (s)
- $h$  : Altura o espesor total de la probeta (m)
- $Q_t$  : Masa de la probeta en el tiempo  $t$  (kg)
- $Q_n$  : Masa de la probeta en el punto crítico (kg)
- $Q_0$  : Masa de la probeta al inicio (kg)
- $A$  : Área de succión de la probeta ( $\text{m}^2$ )
- $\rho$  : Densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

Para cada muestra ensayada, se determinó la porosidad, la resistencia a la penetración del agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar, Tabla 1.

Se evidencia que la adición de emulsión de parafina reduce drásticamente la absorción capilar de las muestras. Hay una disminución de la porosidad efectiva mayor que 80%, una disminución del coeficiente de absorción capilar mayor que 87% y una disminución de la velocidad de absorción capilar mayor que 90% para todas las probetas con adición de emulsión de parafina respecto a las probetas sin adición. Los mejores resultados se obtienen entonces con al menos un 10% de adición de emulsión de parafina. La incorporación de emulsión de parafina contribuye notablemente a disminuir la absorción capilar en los morteros y concretos que los incorporan.

Como se había mencionado previamente, diversos autores encuentran un coeficiente de absorción capilar entre 0,010 y 0,200 ( $\text{kg}/(\text{s}^{1/2} \text{m}^2)$ ) y determinan una velocidad de absorción capilar entre  $0,09 \times 10^{-4}$  y

$3,15 \times 10^{-4} (\text{m/s}^{1/2})$  en varios tipos de morteros y concretos. En este estudio, si la adición de emulsión de parafina es superior al 10%, los bloques exhiben coeficientes de absorción capilar y velocidades de absorción capilar pequeños. Específicamente, los bloques de concreto con 20% de adición de emulsión de parafina presentan un coeficiente de absorción capilar menor que  $0,007 (\text{kg}/(\text{s}^{1/2} \text{m}^2))$  y se clasifican entonces como un material hidrófugo (ver Zürcher et al. [16]).

Tabla 1  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE SUCCIÓN CAPILAR

Adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento (%)	Porosidad efectiva $\zeta$ (%)	Resistencia a la penetración del agua $M (10^6 \text{ N/m}^2)$	Coeficiente de absorción capilar $K (\text{kg}/(\text{s}^{1/2} \text{m}^2))$	Velocidad de absorción capilar $S \cdot 10^{-4} (\text{m/s}^{1/2})$
0	25	9,30	0,076	0,60
10	5	28,56	0,010	0,06
20	4	30,76	0,007	0,04
30	4	61,52	0,005	0,04
40	4	59,26	0,005	0,04

Se hicieron también ensayos de penetración de agua con el método RILEM CPC 11.2 [1] para determinar la penetración de agua en los bloques de concreto. Todos los bloques fabricados en esta investigación son aligerados con perforación vertical y tienen una anchura de 120 mm, una altura de 200 mm y una longitud de 400 mm. Se estudiaron 20 bloques sin adición de emulsión de parafina y 80 bloques con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. En la fabricación de los bloques y de las probetas, la emulsión de parafina es mezclada con el agua y posteriormente es incorporada a la mezcla de cemento y arena. Para los ensayos de penetración de agua se utilizó una pipeta de Karsten de  $1 \text{ cm}^2$  de área transversal y una capacidad volumétrica de  $5 \text{ cm}^3$ . La pipeta se adhiere a la superficie de los bloques de concreto usando una masilla impermeable. Inicialmente, se garantiza que la superficie de los bloques se encuentre seca y limpia y se verifica la ausencia de fugas entre la pipeta, la masilla impermeable y la superficie de contacto del bloque. También se evaluó la penetración de agua en 20 bloques convencionales, de una marca reconocida, adquiridos en el mercado. Se cuantifica la penetración de agua durante 10 minutos, se registran y grafican los resultados, Fig. 3.

Donde,

- $t$  : Tiempo de penetración (s)
- $P_t$  : Penetración de agua en el tiempo  $t$  ( $\text{m}^3$ )

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de máxima penetración de agua después de 10 minutos de ensayo en cada muestra. Se estima una

disminución de la penetración de agua de 98% para los bloques de concreto con 40% de adición de emulsión de parafina, de 96% para los bloques con 30% de adición, de 85% para los bloques con 20% de adición y de 75% para los bloques con 10% de adición respecto a las probetas sin adición de emulsión de parafina. La penetración de agua promedio en los bloques convencionales, adquiridos en el mercado, es idéntica a la penetración de agua en los bloques sin adición de emulsión de parafina fabricados en esta investigación. Los mejores resultados se obtienen nuevamente con al menos un 10% de adición de emulsión de parafina.

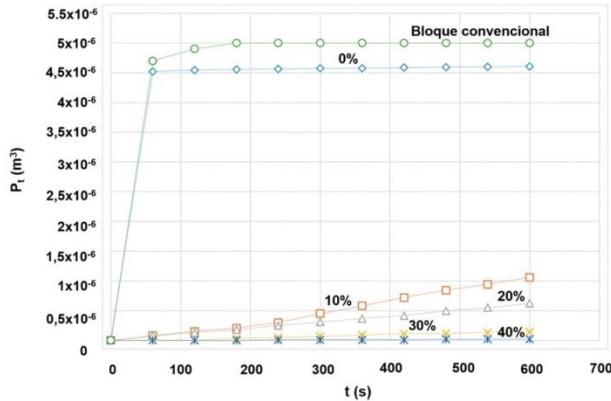


Fig. 3. Penetración de agua método RILEM (Bloque convencional, 0, 10, 20, 30 y 40% de adición de emulsión de parafina)

**TABLA 2**  
 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA

Muestra	Adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento (%)	Penetración de agua promedio Pt ( $10^{-6} \text{ m}^3$ )
Bloque convencional	0	4,50
1	0	4,22
2	10	1,06
3	20	0,63
4	30	0,18
5	40	0,09

#### 4. CONCLUSIONES

En esta investigación, se produjeron y analizaron experimentalmente bloques y probetas cilíndricas, se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso.

Se estudiaron bloques y cilindros sin adición de emulsión de parafina y con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. Se ejecutaron ensayos de absorción capilar y de resistencia a la penetración de agua y se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar la proporción óptima de adición de emulsión de parafina. Se encuentra que el porcentaje óptimo de adición de emulsión de parafina es 20% ya que presenta valores ideales de absorción capilar y de penetración de agua.

Especificamente, los bloques de concreto con 20% de adición de emulsión de parafina presentan un coeficiente de absorción capilar menor que 0,007 ( $\text{kg} / (\text{s}^{1/2} \text{ m}^2)$ ) y se clasifican como un material hidrófugo.

Los bloques aligerados con perforación vertical y con una anchura de 120 mm, una altura de 200 mm y una longitud de 400 mm fabricados en esta investigación y con una adición de emulsión de parafina de 20% reducirían drásticamente la absorción capilar y eliminarían los posibles daños en los muros por la humedad del suelo o la lluvia.

En una investigación futura, se debe estudiar la durabilidad y la variación en el tiempo de la resistencia a la compresión de los bloques con las adiciones de emulsión de parafina.

#### REFERENCIAS

- [1] Absorption of water by concrete by capillarity, RILEM CPC 11.2, 1982.
- [2] American Society for Testing and Materials (ASTM), D 422. Standard test method for particle - Size analysis of soils. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2007.
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM), C 1585-04. Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2007.
- [4] American Society for Testing and Materials (ASTM), D2915-10. Standard practice for sampling and data-analysis for structural wood and wood-based products. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2003.
- [5] E. Badogiannis, I. Sfikas, T. Voukia, S. Tsivilis, "Durability of metakaolin self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 82, no. 5, pp. 133-141, 2015. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.023>

- [6] M. Bołtryk, D. Małaszkiewicz, "Application of anionic asphalt emulsion as an admixture for concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 40, no. 3, pp. 556-565, 2013. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.110>
- [7] J. Díaz, S. Izquierdo, "Mezcla ternaria de cemento portland, escoria de alto horno y piedra caliza: resistencia mecánica y durabilidad", *Revista de la Construcción*, vol. 12, no. 3, pp. 53-60, 2013. doi: <http://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300006>
- [8] Durabilidad del hormigón. Determinación de agua por capilaridad del hormigón endurecido, Método Fagerlund, UNE PrUNE 83.982., 2007.
- [9] M. Gopalan, "Sorptivity of fly ash concretes", *Cement and Concretes Research*, vol. 26, no. 8, pp. 1189-1197, 1996. doi: [http://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00105-6](http://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00105-6)
- [10] M. Ksiażek, "The biocorrosion of city sewer collector impregnated special polymer sulfur binder - Polymerized sulfur applied as the industrial waste material", *Construction and Building Materials*, vol. 68, no. 10, pp. 558-564, 2014. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.077>
- [11] M. Lanzón, R. García, "Effectiveness and durability evaluation of rendering mortars made with metallic soaps and powdered silicone", *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 12, pp. 2308-2315, 2008. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.001>
- [12] P. Mukhopadhyaya, K. Kumaran, N. Normandin, P. Goudreau, "Effect of surface temperature on water absorption coefficient of building materials", *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, vol. 26, no. 2, pp. 179-195, 2002.
- [13] S. Roels, K. Vandersteen, J. Carmeliet, "Measuring and simulating moisture uptake in a fractured porous medium", *Advances in Water Resources*, vol. 26, no. 3, pp. 237-246, 2003. doi: [http://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00185-9](http://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00185-9)
- [14] M. Wilson, W. Hoff, C. Hall, "Water movement in porous building materials - XI. Capillary absorption from a hemispherical cavity", *Building and Environment*, vol. 29, no. 1, pp. 99-104, 1994. doi: [http://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90058-2](http://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90058-2)
- [15] P. Zanchet, M. Cherif, R. Cavalcante, N. Mustelier, "Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: experimental results and numerical simulation", *Building and Environment*, vol. 61, no. 3, pp. 18-26, 2013. doi: <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.017>
- [16] C. Zürcher, T. Frank, *Physique du bâtiment: construction et énergie*. Zürich, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2014.