

# LA RESTAURACIÓN DEL PABELLÓN DEL PERÚ (SEVILLA, 1927): SELECCIÓN Y ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE HIDROFUGACIÓN

## RESTORATION OF PERU PAVILION (SEVILLE, 1927): SELECTION AND ANALYSIS OF WATER-REPELLENT TREATMENT

Vicente Flores Alés, Francisco Javier Alejandro Sánchez, Juan Jesús Martín del Río,  
Rosario Villegas Sánchez, Marta Torres González  
Universidad de Sevilla.



Imagen del Pabellón del Perú tras la intervención de restauración (fachadas sur y oeste) / Image of Peru Pavilion after the rehabilitation (south and west façades)

**Palabras clave:** Mortero; hormigón; ladrillo; carbonatación; hidrofugante; diagnóstico; restauración

El Pabellón del Perú fue construido para la Exposición Iberoamericana de 1929 en Sevilla. En 2017, el edificio presentaba un alto grado de suciedad, grietas y desprendimiento de fragmentos como principales manifestaciones de degradación en los elementos ornamentales de hormigón y mortero que componen sus fachadas. Tal estado de conservación hizo necesaria la redacción de un proyecto de restauración de las fachadas y la consecuente intervención. Este trabajo se basó en una fase de estudio previo en la que se identificaron las principales causas de deterioro del edificio para evaluar cuáles podrían ser los tratamientos más convenientes de cara a su conservación preventiva. En una segunda fase se abordó el control específico de la intervención de restauración, en particular para verificar la eficacia e idoneidad del tratamiento aplicado mediante pruebas *in situ* y técnicas de análisis instrumental.

**Keywords:** Mortar; concrete; brick; carbonation; water-repellent; diagnosis; restoration

*The Peru Pavilion was built for the Ibero-American Exposition of 1929 in Seville. In 2017 the building presented significant alterations, mainly consisting of large quantities of dirt, many cracks and the detachment of fragments affecting the ornamental concrete and mortar elements on its façades. This was the reason why it was necessary to develop a restoration project and the subsequent intervention on the façades. This research was based on a preliminary study phase in which the main causes of alterations in the building were identified, to evaluate the most appropriate preventive treatments for its conservation. The second phase focused specifically on controlling restoration work, mainly to verify the efficacy and suitability of the treatment applied through on-site tests and instrumental analysis techniques in the laboratory.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El Pabellón del Perú de la Exposición Iberoamericana de 1929 en Sevilla (España), proyectado en 1927 por el arquitecto Manuel Piqueras Cotoí (1886-1937), destaca por la presencia de elementos de la arquitectura indígena y colonial de Sudamérica (Graciani 2010; Villegas 2015), hasta el punto de ser considerado como el edificio que con su portentosa fachada marcaba definitivamente la creación de un movimiento artístico nacional peruano (Wuffarden 2003). Actualmente se encuentra integrado como Bien de Interés Cultural (BIC) en el sector de la Exposición Iberoamericana de 1929 y del Parque de María Luisa.

La construcción, de tres plantas de altura, adopta planta cuadrangular, con una portada principal monumental y otra trasera de menor porte, ambas con aplacado de hormigón. Las fachadas del edificio combinan paños de ladrillo visto

con elementos decorativos prefabricados en hormigón y mortero y suntuosos balcones con carpinterías de madera inspiradas en el Palacio de los Marqueses de Torre Tagle de Lima (Crespo 2006).

Se encuentra junto al Parque de María Luisa en una parcela rodeada de árboles de gran porte que le restan soleamiento, con humedad ambiental elevada. Estas condiciones, añadidas al inexorable paso del tiempo, han influido de forma directa en el deterioro de las fachadas.

El pabellón (fig. 1a), que actualmente acoge la sede del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Casa de la Ciencia y el consulado del Perú, fue restaurado en 1983 por el arquitecto Aurelio del Pozo Serrano (1942-). La intervención proponía la adecuación del edificio como sede administrativa, y contemplaba actuaciones de conservación y reparación sobre los elementos de fachada (del Pozo 1987).

Como resultado del deterioro



1a

## 1. INTRODUCTION

The Peru Pavilion building at the 1929 Ibero-American Exposition in Seville (Spain) was designed in 1927 by the architect Manuel Piqueras Cotoí (1886-1937). It is notable for the presence of elements of South American indigenous and colonial architecture (Graciani 2010; Villegas 2010). Indeed, the building's façade has been described as defining the creation of a Peruvian national artistic movement (Wuffarden 2003). The building is catalogued as a Building of Cultural Interest in the area of the 1929 Ibero-American Exposition and María Luisa Park. The entire complex and the façade are protected. The three-storey building has a quadrangular base with a main monumental door and a smaller

rear door, both made of concrete. The building's façades combine brick walls with decorative elements in concrete and mortar, and sumptuous balconies with wooden carpentry inspired by the Palace of the Marquises of Torre Tagle in Lima (Crespo 2006).

It is located next to María Luisa Park, on a plot surrounded by large grove of trees, with little sunlight and high humidity. These conditions, together with the passage of time, have directly contributed to the deterioration of the building's façade.

The pavilion (fig. 1a), which currently serves as headquarters to the Spanish National Research Council (CSIC), the "House of Science", as well as the Peruvian consulate, was restored in 1983 by the architect Aurelio del Pozo

1a. Fachada del Pabellón del Perú (sur) después de las obras de restauración realizadas en 2017-2018

1a. Front façade of the Peru Pavilion (south) after the restoration work carried out in 2017-2018

### NOTA / NOTE

Salvo indicación contraria, todas las fotos del artículo pertenecen a los autores / Unless otherwise indicated, all images in the article belong to the authors



1b



1c



1d

1b-1c-1d. Estado de las fachadas este y norte antes de las obras de 2017: desprendimiento de fragmentos de mortero y hormigón en balcones y frisos, presencia de líquenes y corrosión de la estructura

1b-1c-1d. State of the east and north façades prior to the work in 2017: detachment of mortar and concrete fragments on balconies and friezes, presence of lichens and corrosion of framework

experimentado en los años posteriores a los trabajos ejecutados en 1983 fue necesario emprender nuevas tareas de restauración en las fachadas del edificio para hacer frente a la gran cantidad de suciedad y biodepósitos superficiales y al desprendimiento de fragmentos de hormigón prefabricado, que llegaron a poner en peligro la seguridad de los trabajadores y visitantes. Además, las pérdidas de material desvirtuaron la imagen original del edificio y provocaron una grave alteración cromática (fig. 1b, c, d).

De entrada, se elaboró un estudio científico-técnico para identificar las causas y los mecanismos responsables de la degradación, así como para determinar la idoneidad de los tratamientos que se podían aplicar en la fachada (Flores-Alés 2018; Guillitte 1995).

Serrano. This restoration project, with the ultimate purpose of adapting the building as an administrative headquarters, included conservation and repair work on the façade (del Pozo 1987)

As a result of deterioration in the years after the work carried out in 1983, further restoration work was required on the building's façades due to the accumulation of large quantities of dirt and surface biodeposits, and the detachment of certain prefabricated concrete fragments, which jeopardised the safety of both workers and visitors to the building and also involved a loss of material that altered the original image of the building, coupled with severe chromatic alteration (fig. 1b, c, d). A scientific-technical study was carried out to clearly identify the causes

Los resultados descartaron la presencia de sales solubles (sulfatos y cloruros) como causa de la degradación, y confirmaron que la profundidad del frente de carbonatación en el hormigón (5-6 cm) había alcanzado el armado, causando su despasivación y posterior corrosión, con la consiguiente formación de oxi-hidróxidos de hierro expansivos que, a su vez, provocaron los desprendimientos observados (Saetta, 1993). La inspección visual del exterior ha permitido identificar daños severos provocados por la acción del agua procedente de los sistemas de evacuación de cubierta (fig. 1b, c, d). Una vez esclarecidas las causas de la degradación, se consideraron para la intervención y protección de los elementos y materiales de fachada los siguientes aspectos:

and mechanisms responsible for degradation, as well as to determine the suitability of treatments that could be applied on the façade (Flores-Alés 2018; Guillitte 1995).

The results ruled out the presence of soluble salts (sulphates and chlorides) as a cause of the degradation and confirmed the depth of the carbonation front in the concrete (5-6 cm), which reached the framework, causing its depassivation and subsequent corrosion, with the formation of expansive iron oxi-hydroxides that caused the detachments (Saetta 1993). Visual inspection of the building allows to identify severe damages by the action of water from the roof water removal systems (fig. 1b, c, d). Once the causes of alteration were established, the following aspects were considered for the intervention

-El fenómeno de carbonatación se hallaba muy avanzado, hasta el punto de estimarse inviable la aplicación de un tratamiento de realcalinización del mortero y el hormigón que garantizara la regeneración de una superficie tan grande y que penetrara a una profundidad media superior a los 5 cm.

-La depasivación de las armaduras acarrea una solución difícil en los casos en que no resultaban visibles.

-La acción sobre las barras de acero que habían quedado visibles debido a la pérdida de hormigón consistió en una limpieza mecánica, seguida de la aplicación de un producto pasivante y la restitución del material desprendido.

-Teniendo en cuenta los puntos ya descritos, la finalidad principal de la protección residió en evitar la oxidación del acero impidiendo la penetración de humedad.

and protection of the façade elements and materials:

-The carbonation effect was in a very advanced grade, considering impossible a mortar and concrete realkalinization treatment that guaranteed the regeneration of such a large surface and penetrated to an average depth greater than 5cm.

-The steel reinforcement depassivation had a difficult solution in cases where they were not visible.

-The action on the steel bars that were visible due to the removal of the concrete consisted of a mechanical cleaning followed by the application of a passivating product and the restitution of the detached material.

-Considering the points described, the main purpose of the protection was to prevent the access of water that promotes the oxidation of steel.

## 2. OBJETIVOS

El presente estudio tuvo como primer objetivo analizar la idoneidad de los tratamientos hidrofugantes propuestos por los autores del proyecto de restauración. Para ello se desarrolló una metodología que permitiera evaluar los diferentes tratamientos, y se llevaron a cabo varios ensayos para justificar la elección del más adecuado, asegurando adicionalmente que no se produjera ninguna modificación cromática en los materiales de la fachada del edificio.

Finalmente, tras la aplicación del producto seleccionado en las fachadas del edificio, se practicó un seguimiento para evaluar la eficacia del tratamiento y demás trabajos de conservación ejecutados. Para ello se efectuaron pruebas no destructivas que ofrecieron resultados fiables.

## 2. OBJECTIVES

The main aim of this study was to analyse the suitability of the water-repellent treatments proposed by the management of the restoration project to select the option that offered the best performance. A series of tests were established to justify the decisions taken. A methodology to evaluate different treatments was developed and several tests were carried out to justify the selection of the best one to ensure even more that no chromatic modification occurred in the building's façade materials.

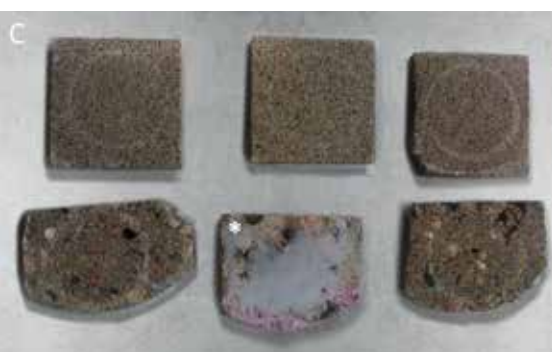
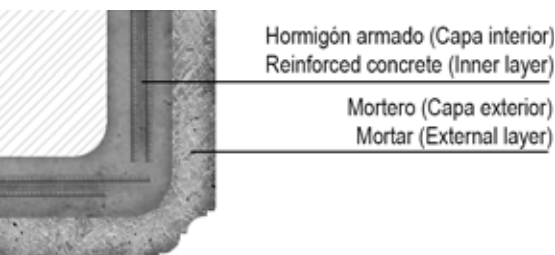
A follow-up was then carried out after its application in the building façades to assess the efficiency of the applied treatment and the conservation work performed, for which non-destructive tests were developed that offered reliable results.

## 3. MATERIALES

Los materiales estudiados en la fachada del Pabellón de Perú fueron el hormigón, el mortero y, secundariamente, el ladrillo visto. En cuanto a las piezas de hormigón, durante el proceso de muestreo se comprobó que algunos elementos decorativos prefabricados estaban compuestos principalmente por una matriz de hormigón y una capa de acabado exterior de mortero. La capa de mortero pudo verse en primer lugar para lograr una mejor adaptación a las formas decorativas complejas de las matrices; seguidamente, las piezas prefabricadas se terminarían de rellenar con hormigón convencional (fig. 2). Los elementos no decorativos (dinteles, huecos de ventanas, mampostería de piedra simulada...), en cambio, se elaboraron exclusivamente con hormigón.

## 3. MATERIALS

The materials studied in the façade of the Peru Pavilion were concrete, mortar and, secondarily, facing brickwork. In terms of the concrete elements, during the sampling process the prefabricated decorative elements were found to be composed mainly of a concrete matrix and an exterior mortar finishing layer. The mortar layer could have been used in prefabricated first of all to achieve better adaptation to the complex decorative forms of the moulds and thereupon the prefabricated elements were completed with conventional concrete (fig. 2). In contrast, the non-decorative elements (lintels, windowframes, simulated stone masonry, etc.) were built exclusively from concrete. The previous study carried out by authors demonstrated that the materials described have been fully characterized



En un estudio anterior realizado por los autores, los materiales descritos quedaron plenamente caracterizados (Flores-Alés 2018). A partir de dicho estudio se comprobó que los datos más relevantes para comprender los procesos de degradación y las intervenciones de protección fueron los ofrecidos por el análisis mineralógico de los materiales cementosos, debido a las diferencias que se apreciaron en los elementos prefabricados entre la mineralogía de las muestras de los materiales de la superficie y el material empleado en la matriz interior.

Para evaluar el estado previo de los materiales, se tomaron muestras de hormigón en diferentes fachadas ante posibles incidencias climatológicas: PPHO (hormigón en fachada oeste), PPHN (hormigón en fachada norte), y

(Flores-Alés 2018). Therefore, the most relevant data regarding the alteration process and the protection interventions was the mineralogical analysis of the cementitious materials due to the fact that indicative differences were observed between the mineralogy of the surface samples materials of the prefabricated elements and the material used in the inner matrix.

To determine the previous state of the materials, concrete samples were taken keeping in mind the orientation of the façades to identify potential incidents: PPHO (concrete on the west façade), PPHN (concrete on the north façade) and one mortar specimen PPM (east façade). The number of samples was limited due to the nature of the building to avoid unnecessary damage during the drilling process.

una muestra de mortero: PPM (mortero en fachada este). El número de muestras fue limitado dada la naturaleza del edificio, a fin de evitar daños innecesarios durante el proceso de extracción por perforación.

El análisis de los cambios en las propiedades físicas fue particularmente significativo, pues permitiría determinar el estado y la idoneidad de los tratamientos propuestos por el arquitecto y el equipo de restauradores que trabajaban en el proyecto de restauración, quienes, tras evaluar la necesidad de aplicar un tratamiento hidrófugo en la fachada para limitar la penetración de humedad (Flores-Alés 2018), habían propuesto tres productos: A. Tecnadis PRS: producto con agentes activos nanoparticulados disuelto en isopropanol (concentración del 5%),

The analysis of changes in the physical properties was particularly important because these modifications would determine the condition and the suitability of the treatments proposed by the architect and the team of restorers working on the restoration of the Peru Pavilion who, after evaluating the need to apply a water-repellent treatment on the façade to limit water access (Flores-Alés, 2018), proposed three products:

A. Tecnadis PRS: nanoparticulate active agents in isopropanol (5% concentration), which is suitable for porous and low porous materials and protects against the main diseases caused by the action of water and moisture (Costa 2014).

B. Silo 111: product with an active base of oligomeric organo-siloxanes in non-aromatic mineral solvent (12% concentration) (Cultrone 2014).

adecuado para materiales porosos y poco porosos, que protege contra los principales daños causados por la acción del agua y la humedad (Costa 2014).

B. Silo 111: producto con base activa de organosiloxanos oligoméricos en disolvente mineral no aromático (12% de concentración) (Cultrone 2013).

C. Silo 112: producto con base activa de organosiloxanos oligoméricos disuelto en agua desmineralizada (concentración del 10%) (Gherardi 2017). Ambos (B y C) son repelentes de agua recomendados para proteger los materiales porosos; se basan en una formulación de bajo peso molecular.

#### 4. ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO HIDRÓFUGO

Para seleccionar el tratamiento hidrófugo más adecuado, se consideraron como factores más decisivos la disminución de

la absorción de agua (hidrorrepelencia), la modificación del color, y la variación de la permeabilidad al vapor de agua del hormigón y el mortero.

Teniendo en cuenta que la degradación físico-mecánica solo se observaba en los morteros y hormigones por efecto de la corrosión de las armaduras –agrietamientos y desprendimientos de material–, los ensayos de laboratorio para evaluar la idoneidad de los repelentes al agua se realizaron sobre muestras de morteros y hormigones, y no sobre ladrillos, dado su buen estado de conservación. Era de esperar que el hidrófugo que ofreciera un mejor rendimiento en los materiales deteriorados proporcionase igualmente una protección suficiente en las fábricas inalteradas, para las que solo sería necesario confirmar que no sufrían alteraciones cromáticas significativas.

C. Silo 112: product with an active base of oligomeric organo-siloxanes dissolved in demineralized water (10% concentration) (Gherardi 2017); both (B and C) are ready-to-use water repellent for protecting porous materials. They are based on a low molecular weight organ product.

#### 4. CHOICE OF WATER REPELLENT TREATMENT

To select the most suitable water repellent, the factors that were considered most decisive were the decrease in water absorption (water-repellence), the change in colour and the variation in the water vapour permeability of the concrete and mortar. Bearing in mind that physical-mechanical degradation was only observed in mortars and concretes due to the effect of framework corrosion, resulting in

cracking and detachment of material, the laboratory tests to confirm the adequacy of the water repellents were carried out on the mortars and concrete rather than on the brickwork because this was not necessary given the initial state of the latter. It was important to consider that the water repellent that offered the best performance in the deteriorated materials would provide adequate protection on unaltered brickwork. Therefore, it was only necessary to confirm that it did not suffer significant chromatic alterations.

##### 4.1. Methodology

Test pieces from the concrete and mortar controls were cut into square plates measuring approximately 1 cm thick with a surface area of 15-16 cm<sup>2</sup>. The different water-repellent treatments were applied by two layers horizontally and other two vertically with a brush on the test pieces

2. Esquema de los elementos prefabricados con decoración exterior

2. Scheme of prefabricated elements with external decoration

3a-3b-3c. Muestras para ensayo de mortero y hormigón después de la aplicación de los tres productos hidrófugos evaluados. El producto C mostró una absorción más lenta con la formación de una película superficial debido a las características del material (se indica con \*)

3a-3b-3c. Mortar and concrete test pieces after application of the three water-repellent products evaluated. Product C showed slower absorption with the formation of a surface film due to the characteristics of the material, as indicated by \*

#### 4.1. Metodología

Las muestras de hormigón y mortero escogidas para los ensayos se cortaron en placas cuadradas de aproximadamente 1 cm de espesor con una superficie de 15-16 cm<sup>2</sup>. Los diferentes tratamientos hidrófugos se aplicaron sobre las muestras previamente secadas a 40°C, en condiciones de humedad estabilizada durante 48 horas en el laboratorio, mediante pincelado en dos capas en horizontal y otras dos en vertical. Posteriormente, se dejaron reposar durante veinte días para asegurar la correcta curación de los tratamientos (fig. 3a, b, c). A partir de este momento se realizaron los ensayos pertinentes para determinar las propiedades físicas según la norma UNE-EN 16581:2016, a saber: porosidad al vacío, permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua y colorimetría. La porosidad se determinó por saturación

previously dried at 40°C, in balanced humidity conditions for 48h in the laboratory. Then they were left for 20 days to ensure correct curing of the treatments (fig. 3a, b, c). At this point, all relevant tests were carried out to determine physical properties according to UNE-EN 16581:16 standard: vacuum porosity, water vapour permeability, water absorption and colorimetry.

Porosity was determined by water saturation of the sample subjected to vacuum in accordance with the UNE-EN 1936:07 standard. To perform the water vapour permeability test, the wet vessel method defined in the UNE-EN ISO 12571:15 standard was applied (fig. 3d). Absorption was determined by means of a non-standardized test consisting of periodically weighing 1 cm thick specimens arranged on layers of wet blotting paper, thus ensuring that water access occurred

de agua de la muestra sometida a vacío según la norma UNE-EN 1936:2007. Para materializar el ensayo de permeabilidad al vapor de agua se aplicó el método del vaso húmedo definido en la norma UNE-EN ISO 12571:2015 (fig. 3d). En cuanto a la absorción, se determinó mediante un ensayo no normalizado consistente en pesar periódicamente probetas de 1 cm de espesor dispuestas sobre capas de papel secante húmedo, asegurando así que el acceso al agua se produjera exclusivamente desde el lado inferior de la probeta, evitando sus bordes (UNE-EN 15801:2010, UNE-EN 1925:1999). El peso de cada muestra iría aumentando progresivamente hasta estabilizarse, momento en el que el ensayo se daba por terminado (Corpas 2002).

Finalmente, con el fin de comprobar las variaciones de color se realizó un estudio colorimétrico *in situ* con ayuda de un colorímetro portátil Color-Pen

exclusively from the underside of the specimen, avoiding its edges (UNE-EN 15801:10, UNE-EN 1925:99). Thus weight would increase with time until equilibrium was reached, at which moment the trial was deemed to have finished (Corpas 2002).

An on-site colorimetric study was carried out with a Color-Pen DR-Lange portable colorimeter, using as reference the CIE L\*a\*b\* model, to evaluate the mean values of the variations in the L, a and b coordinates, together with tone variation (VT) and overall colour change ( $\Delta E$ ), in order to check the colour variations using the following equations:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)}$$

$$VT = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

Where,  $\Delta L$  measures the difference in light and dark;  $\Delta a$  is the difference in red and green component;  $\Delta b$  is the difference in yellow and blue component. VT defines

DR-Lange, utilizando como referencia el modelo CIE L\*a\*b\* para evaluar los valores medios de las variaciones de las coordenadas L, a y b, junto con la variación de tono (VT) y el cambio de color global ( $\Delta E$ ), mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)}$$

$$V_T = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

en donde:  $\Delta L$  mide la luminosidad;  $\Delta a$ , la componente verde-roja;  $\Delta b$ , la componente azul-amarillo; VT define la cromaticidad; y  $\Delta E$  representa la diferencia total en color. Se considera que el ojo humano puede percibir cambios ( $\Delta E$ ) mayores de cinco y se consideran admisibles diferencias de hasta diez (Delgado 2007), si bien algunos autores plantean unos límites más exigentes para el caso de edificios patrimoniales (Sharma 2005). Teniendo en cuenta la heterogeneidad cromática de

the chromaticness and  $\Delta E$  was the total difference in colour. It is considered that changes greater than 5 can be perceived by the human eye, and differences of up to 10 are considered admissible (Delgado 2014). However, there are authors who consider lower limits for heritage buildings (Sharma 2005), considering the chromatic heterogeneity of the surfaces. The management of the restoration project and the restoration team accepted the criteria mentioned above.

The measurements were carried out at least seven days after the application of water repellent, considering that after 24 h the treatment will be stabilised and dried.

#### 4.2. Analysis of treatment behaviour

The vacuum porosity, water vapour permeability and absorption measurements in the initial evaluation without treatment

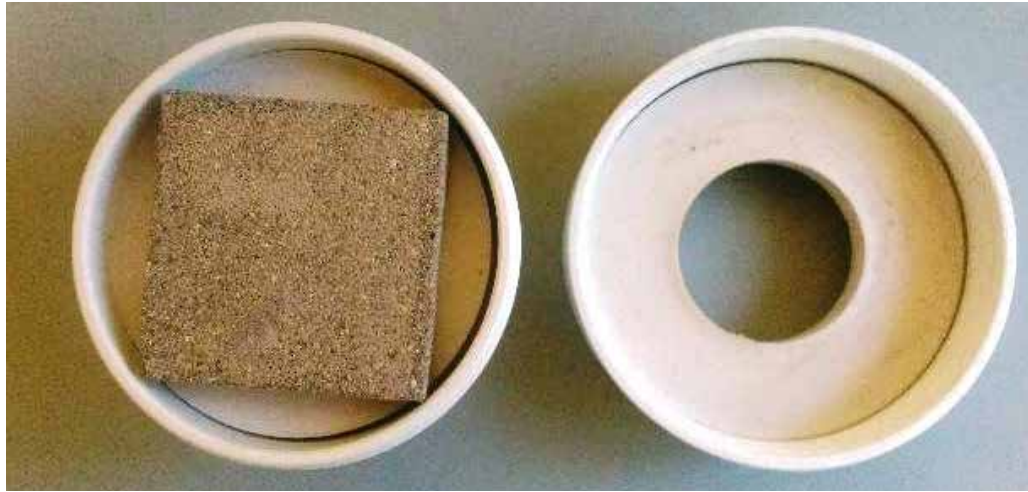
las superficies, la Dirección Facultativa y el equipo de restauración consideraron adecuado y suficiente el criterio señalado. Las mediciones se realizaron transcurridos al menos siete días desde la aplicación del hidrofugante, teniendo en cuenta que el tiempo de estabilización y secado del tratamiento es de 24 horas.

#### 4.2. Análisis del comportamiento del tratamiento

Las medidas de porosidad al vacío, permeabilidad al vapor de agua y absorción obtenidas en la evaluación inicial (sin tratamiento) de las 12 muestras de morteros y hormigones arrojaron valores particularmente altos, sobre todo en los primeros. Los resultados obtenidos se muestran correlacionados en la fig. 4: permeabilidad versus porosidad, y porosidad versus densidad aparente, donde se evidencia que tanto

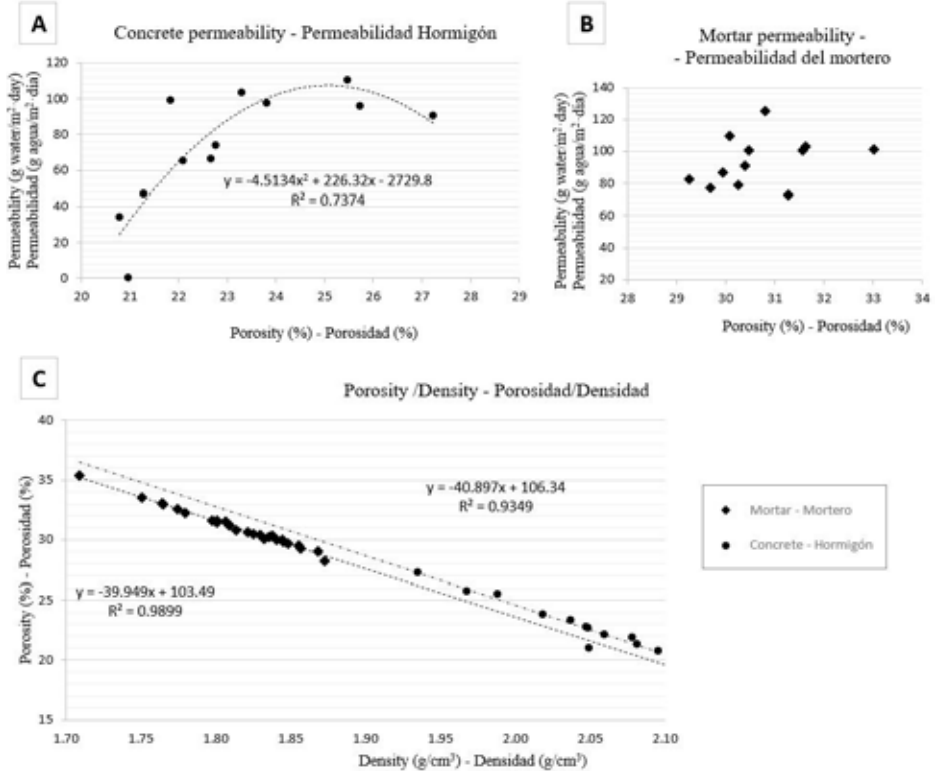
for the 12 mortar and concrete samples yielded particularly high values, especially in the case of the mortar samples. The results obtained are shown correlating permeability vs porosity and porosity vs apparent density in figure 4, with mortar and concrete being susceptible to evident improvement through the application of a water repellent (Basheer 2001). This situation is entirely consistent with the diffusion of CO<sub>2</sub> detected by the phenolphthalein test (Hous 2002) and the penetration of the carbonation front (Huet 2005), as well as rainwater penetration. Both factors favour the oxidation of the reinforcements.

After the corresponding water vapour permeability test at 20°C for 1 cm of thickness, the samples presented an average result of 80.3 + 24.8 g water/m<sup>2</sup>·day in the case of concrete. The values are clearly proportionally linked to porosity,



3d

4



3d. Método del recipiente húmedo para la prueba de permeabilidad al vapor de agua

3d. Wet vessel method for water vapour permeability test

4a-4b. Permeabilidad al agua en función de la porosidad en las muestras de hormigón y de mortero, respectivamente

4a-4b. Water permeability and porosity of concrete and mortar samples

4c. Porosidad en función de la densidad en las muestras de hormigón y mortero

4c. Porosity and density of concrete and mortar samples



el mortero como el hormigón son susceptibles de mejora mediante la aplicación de un hidrofugante (Basheer 2001). Esta situación es plenamente coherente con la difusión de CO<sub>2</sub> detectada por el test de la fenolftaleína (Hous 2002) y la penetración del frente de carbonatación (Huet 2005), así como con la penetración del agua de lluvia. Ambos factores favorecen la oxidación de las armaduras.

Tras el correspondiente ensayo de permeabilidad al vapor de agua a 20°C para 1 cm de espesor, las muestras presentaron un resultado medio de 80,3+24,8 g de agua/m<sup>2</sup>·día en el caso del hormigón. Los valores están relacionados proporcionalmente con la porosidad, como puede verse en las figuras 4a y 4b. El mortero presenta resultados más homogéneos, también relacionados con la porosidad, con una media de 94,1+15,3 g de agua/m<sup>2</sup>·día, aunque es difícil encontrar una correlación determinante entre ambas

características. Este hecho podría deberse a la cantidad de poros, la influencia de la distribución del tamaño de los poros y su conectividad.

La porosidad media obtenida para el mortero fue del 30,95% frente al 23,01% para el hormigón. Estos resultados revelaron una correlación lineal con la densidad, como era de esperar (fig. 4c), muy similar para ambos materiales. Dado que no se observó el fenómeno de la acción capilar en el edificio, las propiedades más relevantes para la evaluación de los tratamientos fueron la impermeabilidad al agua líquida y, en menor medida, la permeabilidad al vapor de agua.

Para valorar el comportamiento de los productos propuestos para la intervención de restauración se seleccionaron nueve probetas de cada material, de las cuales se emplearon tres para cada uno de los tratamientos y se dejaron otras tres sin tratar como referencia. Se observó que la

disminución de la permeabilidad al vapor de agua en el hormigón fue muy acusada en los tres tratamientos. En el caso de los morteros los cambios fueron menores, especialmente con el producto B. Este efecto puede considerarse perjudicial a largo plazo para la conservación del material, ya que dicha diferencia podría dar lugar a un debilitamiento por acción del agua en la zona de transición entre ambos materiales.

En los ensayos de absorción pudo apreciarse que, tanto para el mortero como para el hormigón, el tratamiento con un mejor comportamiento fue el A; el C proporcionó un buen resultado en el hormigón; mientras que el B apenas ejerció efecto hidrorrepelente en ninguno de los dos casos (fig. 5).

Todos los hidrofugantes, cuando se aplican sobre soportes porosos, producen una ligera variación de color en el material base (Coronado 2018). En cuanto a los resultados de la

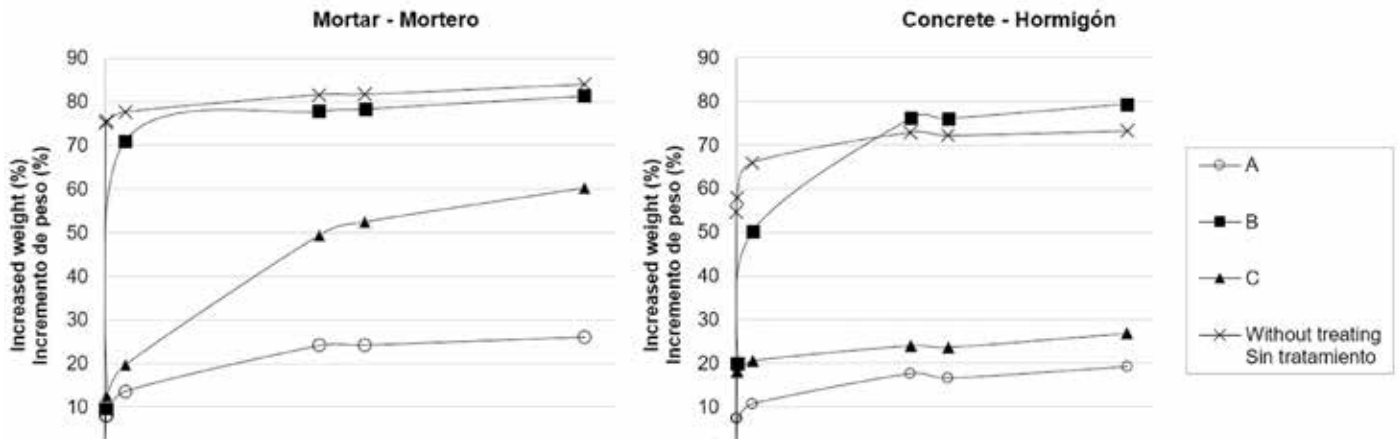
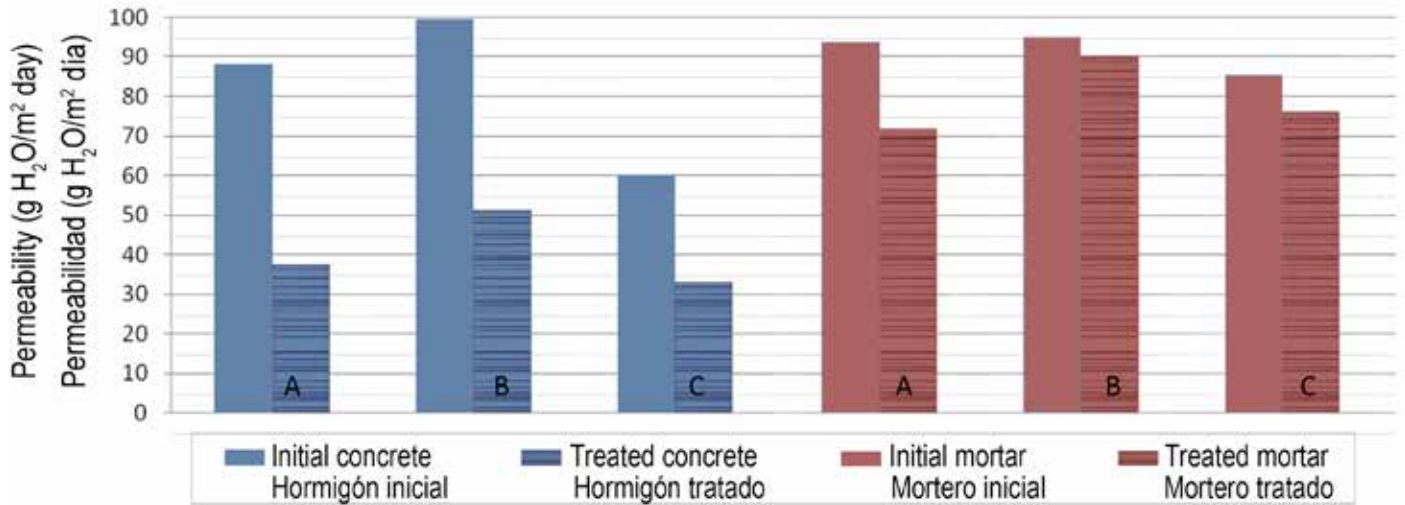
as can be seen on figures 4a and 4b. The mortar presents more homogeneous results, also related to porosity, with an average of 94.1+15.3 g water/m<sup>2</sup>·day, although it's difficult to find a good correlation between both characteristics. This fact could be due to the amount of pores, the influence of the pore size distribution and connectivity of voids.

The average porosity obtained for mortar was 30.95% in comparison with the 23.01% for concrete. These data revealed a linear correlation between porosity and density, as was expected (fig. 4c), very similar for both materials. The phenomenon of capillary action was not observed in the building, so it should be noted that the most relevant properties for the evaluation of the treatments were

impermeability to liquid water and, to a lesser extent, permeability to water vapour. To evaluate the behaviour of the products proposed for the restoration work, 9 samples of each material were selected, using 3 for each of the treatments and leaving another 3 of each untreated material as references. The behaviour of the specimens treated with products A, B and C showed that permeability to water vapour decreased significantly in the concrete with all the treatments. The changes were less noticeable in the case of the mortars, especially with product B. This effect can be considered harmful in the long term for the preservation of the material, as such a difference could lead to water weakening in the transition zone between the two materials.

The absorption tests revealed that the treatment that performed best for both materials (mortar and concrete) was treatment A, with C providing good results in concrete, while B had virtually no water-repellent effect in either of the two cases (fig. 5).

Water repellents applied to a porous material imply a slight colour variation in the base material (Coronado 2018). In relation to the colorimetry results, considering that the treatment had to be applied to all the elements, the change in colour would be homogeneous in all of them and therefore the difference would not be easily noticeable, even more considering the removal of the pre-existent dirt from the façade. The results indicate that A and B water repellents suppose a



5

6

		Initial / Inicial			Treated / Tratado			VT	ΔE
		L	a	b	L	a	b		
Concrete Hormigón	A	58.89	1.43	7.91	52.79	1.95	10.26	2.41	6.56
	B	59.62	1.38	8.73	57.66	1.43	8.98	0.25	1.98
	C	61.55	1.92	6.91	51.66	2.40	9.70	2.83	10.29
Mortar Mortero	A	61.86	0.84	7.45	54.79	1.35	10.16	2.76	7.59
	B	60.18	0.88	7.68	57.57	0.98	8.14	0.47	2.65
	C	61.41	0.83	7.13	49.22	1.59	9.98	2.95	12.54

5. Arriba: Permeabilidad al vapor de agua de las probetas antes y después de la aplicación de los tratamientos. Abajo: Gráficas correspondientes a los ensayos de absorción de los diferentes tratamientos en mortero y hormigón

5. Permeability to water vapour of the test pieces before and after the treatments (above) Graphs corresponding to the absorption tests of the different treatments on concrete and mortar (bottom)

6. Colorimetría tras la aplicación de los distintos productos hidrofugantes en las zonas de ensayo

6. Colorimetric study after application of water-repellent product in the test zones

colorimetría, dado que el tratamiento debía aplicarse a todos los elementos existentes, el cambio de color sería homogéneo y por lo tanto la diferencia no sería fácilmente perceptible, más si cabe teniendo en cuenta la eliminación de la suciedad de la fachada. Los resultados vienen a indicar que los hidrofugantes A y B provocaron un oscurecimiento no perceptible de la fachada, siendo el producto C el de peor rendimiento, con una variación de color superior a 10 (fig. 6).

Por lo que se refiere a la permeabilidad al vapor de agua, ya se ha indicado que actualmente la humedad por capilaridad no es un fenómeno presente en el edificio. Por lo tanto, debía considerarse que el efecto más determinante para la selección del tratamiento era la hidrorrepelencia. De ahí que, teniendo presente la cierta similitud de valoración entre los tratamientos A y C, el tratamiento A fuese finalmente el elegido por mostrar

not noticeable darkening of the façade and that product C was the worst performer, offering a colour variation above 10 (fig. 6). In terms of water vapour permeability, as previously mentioned, the phenomenon of humidity by capillarity does not currently affect the building because there were not water transport mechanisms from the ground. Therefore, the most important effect for the selection of the treatment was water repellence. Hence, given a certain similarity between the assessments for treatments A and C, treatment A was selected because it presented lower absorption of water through the surface of the materials, evidencing a greater liquid water resistance and less variation in tone and overall colour change.

una menor absorción de agua a través de la superficie de los materiales, un mayor grado de impermeabilidad al agua líquida y una menor variación de tono y el cambio de color global.

El tratamiento mejor valorado ha sido, portanto, el producto nanoparticulado de nueva generación (A), cuya prestación básica es su escasa afectación de la porosidad propia de los materiales, sin formación de film y permitiendo la transpirabilidad del material, con muy alta permeabilidad al vapor de agua. Al no formar película superficial se consigue una mayor resistencia a la abrasión. Igualmente hay que señalar que este tipo de productos presenta una alta resistencia a la radiación UV y a los agentes ambientales por lo que el comportamiento a la intemperie puede valorarse como bueno. La baja penetración del producto podría verse mejorada mediante el empleo de alcohol isopropílico como disolvente de baja viscosidad.

The best-valued treatment was the new-generation nano-particulate product (A). The basic technical characteristics of these products are as follows: high resistance to the inherent porosity of the materials, without film formation and facilitating the breathability of the material, and a very high permeability to water vapour. The non-formation of surface film allows them to develop major resistance to abrasion. Significantly, these types of products are highly resistant to UV radiation and environmental agents and, therefore, its behaviour in outdoor spaces is good. Considering the low penetration levels in this kind of products, the use of isopropyl alcohol as a low viscosity solvent favours *a priori* better penetration.

## 5. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO EN LAS FACHADAS DESPUÉS DE LAS OBRAS DE RESTAURACIÓN

### 5.1. Metodología

Para evaluar la eficacia de la intervención, se realizaron ensayos no destructivos sobre los materiales estudiados en las cuatro fachadas del edificio. En aquellos casos en los que fue necesaria la toma de muestras, esta se limitó a la mínima cantidad necesaria.

Sobre muestras pequeñas de material se estudió la profundidad de penetración del hidrofugante con microscopio óptico marca Bresser Biolux NV, tiñendo previamente las secciones de la muestra con una disolución acuosa de azul de metileno. De esta manera, la zona hidrófila sin penetración del hidrofugante se teñía de azul, mientras que la zona hidrofóbica, impregnada del hidrofugante, no permitía la difusión del agua azulada.

## 5. EVALUATION OF THE TREATMENT EFFICIENCY IN THE BUILDING FAÇADES AFTER THE RESTORATION WORK

### 5.1. Methodology

To evaluate the effectiveness of the intervention, non-destructive tests were carried out on the materials on the four façades of the building. In those cases where sampling was necessary, it was limited to the minimum amount needed.

Small samples of material that did not cause substantial damage when extracted were used to study water repellent penetration depth using a Bresser Biolux-NV optical microscope, pre-dyeing the sections of the sample

Asimismo, se estudió la penetración y la concentración del producto hidrofugante en el mortero mediante microscopía infrarroja acoplada a espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR), modelo Tensor 2, y microscopio modelo Hyperion 2000 Bruker, empleando pastillas de bromuro potásico para el registro de espectros, y distinguiendo la muestra obtenida de la cara exterior de una muestra interior. Además, para la evaluación de la profundidad de penetración del hidrofugante se estudiaron dos muestras en el microscopio electrónico: una primera muestra de hidrofugante puro, empleada como patrón, y una segunda muestra que se corresponde con un fragmento superficial de mortero tras la aplicación del producto hidrofugante. El microscopio electrónico JEOL, modelo 6460LV con detectores SE, BSE, EDAX, EBSD, con un detector de energía dispersa de rayos-X (ventana UTW de berilio), permitió la toma de micrografías, la realización de medidas y, con el detector de

rayos-X EDAX, la obtención de un análisis cualitativo y semicuantitativo elemental de la zona estudiada.

Los ensayos *in situ* se plantearon como parte del control de calidad de ejecución para verificar la correcta aplicación y eficacia del hidrofugante. También se efectuaron ensayos en la fábrica de ladrillo para comprobar que no había modificación significativa del color y que el tratamiento había sido efectivo para limitar la absorción de agua, pues no se habían ensayado a nivel de laboratorio.

Para la evaluación del correcto comportamiento del hidrofugante se ensayó la absorción de agua *in situ* a baja presión mediante el método de la pipa RILEM 11.4 (Balakrishna 2013), y se comparó con los resultados obtenidos en el estudio previo (Flores-Alés 2018) sin tratamiento (fig. 7a, b). La valoración de estos resultados se estimó según lo recogido en la figura 8 (Ortega 1994).

En segundo lugar, para comprobar la homogeneidad de color entre las diferentes

with an aqueous solution of methylene blue, so that the hydrophilic area without water-repellent penetration was coloured blue; in contrast, the hydrophobic area, in which the water repellent had penetrated, did not allow the diffusion of bluish water. Likewise, the penetration of the water-repellent product in the mortar and its concentration was studied by means of infra-red microscope coupled to a Fourier-transform infra-red spectrometer (FTIR) (Tensor 2 model), and a Hyperion 2000 Bruker microscope using potassium bromide tablets to record the spectra, distinguishing the sample obtained from the exterior face of an interior sample. In addition, to evaluate the penetration depth of

the water repellent, two samples were studied in the electron microscope; a first sample of pure water repellent concentrated, used as a standard, and a second sample corresponding to a surface fragment of mortar after application of the water-repellent product. A JEOL electronic microscope, model 6460LV with SE, BSE, EDAX and EBSD detectors, equipped with an energy dispersive X-ray detector (UTW beryllium window), was used to take micrographs and measurements. An EDAX X-ray detector was used to perform a qualitative and semi-quantitative elementary analysis of the studied area. The on-site tests were carried out as part of the execution quality control to verify the correct application of the



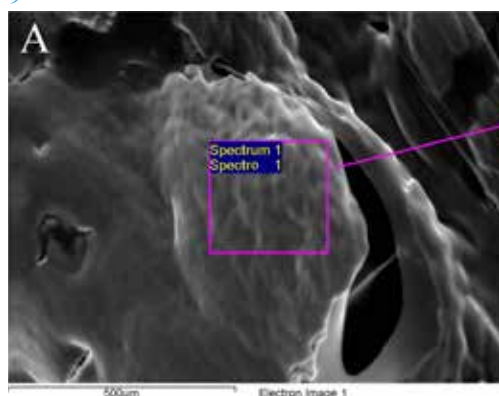
7

7. Medición de la absorción de agua en el hormigón no tratado (a, b) en la fachada norte. Tinción selectiva en zona no hidrofóbica (c). Alto ángulo de contacto de la superficie (d)

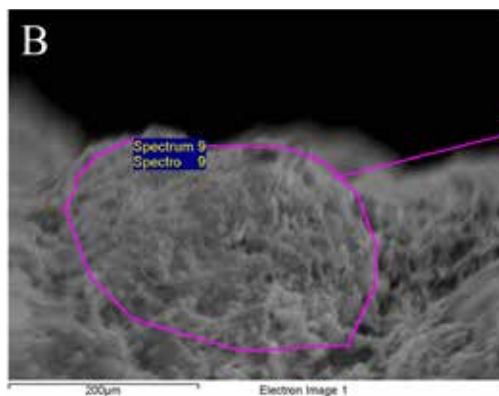
7. Measurement of water absorption in untreated concrete (a, b) on the north façade. Selective staining in non-hydrophobic zone (c). High surface contact angle (d)

Penetration in cm <sup>3</sup> in 10 minutes Penetración en cm <sup>3</sup> en 10 minutos	Estimate / Estimación
More than / Más de 3.0	Very high permeability Muy alta permeabilidad
2.4 to / a 3.0	High permeability Alta permeabilidad
1.0 to / a 2.4	Medium permeability Media permeabilidad
0.4 to / a 1.0	Low permeability Baja permeabilidad
0.2 to / a 0.4	Relative impermeability Impermeabilidad relativa
0.1 to / a 0.2	Impermeable Impermeable
Less than / Menos de 0.1	No capillary activity Sin actividad capilar

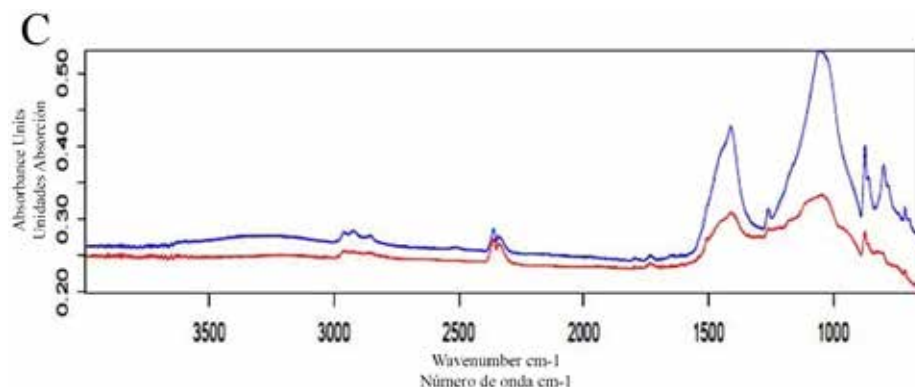
8  
9



Element Elemento	Weight (%) Peso (%)
C	33.59
O	16.81
F	9.15
Si	40.45
Total	100.00



Element Elemento	Weight (%) Peso (%)
C	0.00
O	33.42
F	0.00
Al	20.73
Si	15.82
K	3.15
Ca	22.97
Fe	
Total	100.00



fachadas tras el proceso de limpieza y aplicación de tratamiento y comprobar su influencia sobre el color original se realizó un estudio colorimétrico *in situ*, con colorímetro portátil Color-Pen DR Lange, utilizando como referencia el modelo CIE L\*a\*b\*. Para ello, se procedió a la toma de series de 20 mediciones en las diferentes zonas de las fachadas, y se evaluaron los valores medios de las variaciones de las coordenadas L, a y b, junto con la variación de tono (VT) y el cambio de color global ( $\Delta E$ ).

## 5.2. Evaluación de la profundidad de penetración del hidrofugante

La observación y el análisis de las imágenes de las muestras tomadas de mortero hidrofugado permitieron comprobar la eficacia del tratamiento. A simple vista se pudo verificar la hidrofobicidad del producto aplicado por el gran ángulo de contacto superficial (fig. 7c, d). Al observar las muestras superficiales con

water repellent and its effectiveness. They were also carried out on the brickwork to check that there was no significant change in colour and that it was also effective in limiting water absorption, as they were not tested at laboratory level.

Firstly, to evaluate the correct behaviour of the water repellent, water absorption on-site at low pressure during 20 minutes was tested using RILEM Test Method 11.4 (pipe method) (Balakrishna 2013) and was compared with the results obtained in the previous study (Flores-Alés 2018) without treatment (fig. 7a, b). These results were assessed as shown in figure 8 (Ortega 1994). Secondly, to check colour homogeneity between the different façades after cleaning and treatment application and to determine their influence on the original colour, a colorimetric study was carried out as was described in 4.1. A series of 20

un aumento de 80X en el microscopio óptico, se comprobó que la penetración del tratamiento había sido irregular, advirtiéndose diferentes potencias de penetración que se situaron en el intervalo de 940-3500  $\mu\text{m}$  y que resultan coherentes con el grado de difusión de un hidrofugante en un conglomerado de cemento. Las diferencias encontradas se pueden atribuir a la diferente porosidad y porometría de los materiales sobre los que se ha aplicado el hidrofugante mediante pulverización, siendo mayor en los morteros originales, más deteriorados y porosos (Delgado 2007).

En las figuras 9a y 9b del hidrofugante concentrado obtenidas por el modo SE (Secondary Electrons) solo se ha podido apreciar una textura tipo gel, con fisuras originadas probablemente por la evaporación del disolvente, en la que no se aprecia la existencia de formas cristalinas. La composición química ha puesto de

manifiesto la presencia de Si, C, O y F (silicio, carbono, oxígeno y flúor), lo que indica que estamos ante un producto de la familia de los sílico-fluorados, resultante de la combinación de nanopartículas de sílice con radicales orgánicos fluorados. La presencia en su composición de F podría servir para determinar su difusión en los materiales de la fachada, pues, al no contener habitualmente este elemento los hormigones y la cerámica tradicional, su identificación en cada uno de los soportes es indicativa de la presencia del hidrofugante. Sin embargo, ni siquiera en la superficie del mortero, donde es evidente la presencia del hidrofugante, se ha detectado la presencia de flúor. Este hecho se debe, muy probablemente, a la baja cantidad de hidrofugante tras la pulverización manual sobre la fachada<sup>1</sup> –tal y como se indicó anteriormente– que permanece en el mortero tras la evaporación del disolvente, y más aún de F, que supone menos del 10%

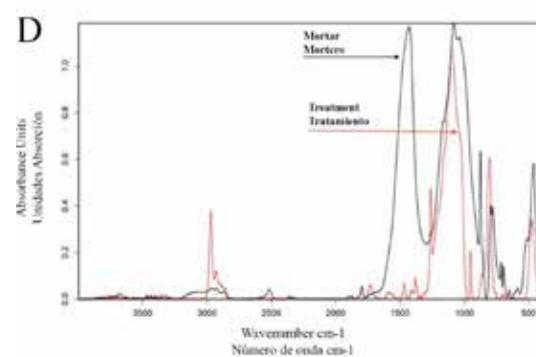
measurements were taken in different parts of the façades of the building to evaluate tone variation (VT) and overall colour change ( $\Delta E$ ), in order to check the homogeneity obtained in the four façades of the building.

## 5.2. Evaluation of water repellent penetration depth

The observation and analysis of images of the samples taken from the water-proofed mortar confirmed the effectiveness of the treatment. Naked-eye examination confirmed the hydrophobicity of the product applied with the large surface contact angle (fig. 7c, d). Observation of the surface samples at 80X magnification in the optical microscope revealed irregular penetration of the treatment, with different penetration depth ranging from 940 to 3500  $\mu\text{m}$ , consistent with

the degree of diffusion of a water repellent in a cement conglomerate. The differences found can be attributed to the different porosity and porometry of the materials to which the water repellent was applied by spraying, being higher in the original, more deteriorated and porous mortars (Delgado 2014).

Figures 9a y 9b, showing the concentrated water repellent obtained using the SE (Secondary Electrons) mode, only reveals a gel-like texture with cracks, probably caused by solvent evaporation, in which the existence of crystalline forms was not observed. Chemical composition revealed the presence of Si, C, O and F (silicon, carbon, oxygen, and fluorine), indicating that this product belongs to the silica-fluorinated family of elements, resulting from the combination of silica nanoparticles and fluorinated organic radicals. The presence



8. Evaluación de absorción de agua *in situ*  
 8. Evaluation of water absorption on-site

9. Microscopía electrónica de barrido SEM-EDAX. Hidrofugante nanoparticulado utilizado en la restauración (a). Mortero de superficie en la fachada oeste (b). Espectros FT-IR de la cara interna del mortero y de la muestra de tratamiento exterior (c). Espectros del tratamiento de nanopartículas y del mortero en los que se observa la superposición de bandas (d)

9. SEM-EDAX scanning electron microscopy. Hydrophobic nano-particulate used in the restoration work (a). Surface mortar on the west façade (b). FTIR Spectra of the inner face of the mortar and the external treatment sample (c). Spectra of the nano-particulate treatment and the mortar in which band overlapping was observed (d)

## NOTA /NOTE

1. El hidrofugante se aplicó mediante pulverización, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, en dos manos en sentido horizontal y otras dos en vertical, con un rendimiento estimado de 8  $\text{m}^2/\text{l}$  / The water-repellent was applied by spraying, according to the manufacturer's instructions, with two coats applied horizontally and two coats applied vertically, with an estimated coverage of 8  $\text{m}^2/\text{l}$

en peso del producto. De ahí que quede fuera del rango de detección de esta técnica instrumental de análisis.

Las figuras 9c y 9d muestran una comparación entre los espectros IR obtenidos en la cara interior del mortero y el espectro de la muestra exterior de tratamiento. Como se puede apreciar, el solapamiento entre ambos espectros es muy evidente, por lo que es imposible discernir la presencia de tratamiento sobre la matriz de la cara exterior del mortero (Pan 2019).

Para confirmar las observaciones anteriores y establecer la viabilidad del método se llevó a cabo un estudio de las muestras mediante espectroscopía infrarroja (FT-IR). Se aprecia que existe un solapamiento importante entre las bandas principales

del tratamiento (centradas en torno a  $1140\text{ cm}^{-1}$ ,  $820\text{ cm}^{-1}$  y  $500\text{ cm}^{-1}$ ) y las bandas características del mortero. Esta identificación es particularmente compleja debido a la baja concentración que este tipo de productos tiene en comparación con el material de partida. Sin embargo permite establecer una hipótesis positiva de cara al comportamiento a largo plazo del tratamiento, ya que la baja concentración garantizaría que la posible degradación por acción de los agentes ambientales no diera lugar a una alteración que afectase visualmente al material.

### 5.3. Análisis y discusión de resultados

Los resultados del ensayo de permeabilidad al agua mediante el «método de la pipa» se pueden considerar óptimos por el aumento

significativo del grado de protección (UNE-EN 15801:2010). Los datos obtenidos en las distintas fachadas para los hormigones, morteros y fábrica de ladrillo se exponen en la figura 10 (Huet 2005).

Los testigos, tanto de hormigón y mortero como de ladrillo, que no habían sido sometidos a limpieza ni hidrofugación presentaban una elevada permeabilidad al agua líquida, siendo sensiblemente más alto el valor obtenido para el ensayo sobre mortero. Ortega (1994) indica valores situados en el intervalo 0,6 - 0,8  $\text{cm}^3/10\text{ min}$  para hormigones H-25 y H-18 respectivamente, y de 4,0 - 5,0  $\text{cm}^3/10\text{ min}$  para morteros de cemento de dosificación 1:3 y 1:4 respectivamente, que son coherentes con los resultados obtenidos. Por otra parte, se pudo observar cómo las muestras hidrofugadas de ambos materiales

of F in its composition could be used to determine its diffusion in the façade materials, because mortars, concretes and traditional ceramics do not usually contain this element. Its identification in each of the supports was therefore indicative of the presence of the water-repellent.

However, the presence of F was not even detected on the surface of the mortar, where the presence of the water-repellent was evident. This is most probably due to the small quantity of water repellent after manual spraying on the façade<sup>1</sup>, as indicated above, and even lower quantity of F (which accounted for less than 10% of the weight of the product), which remained in the mortar after evaporation of the solvent and was therefore outside the detection range of this instrumental analysis technique.

Figures 9c and 9d shows a comparison between the IR spectra obtained on the inner face of the mortar and the spectrum

of the external treatment sample. The overlap between both spectra is very evident; hence, it was impossible to discern the presence of treatment on the matrix of the outer face of the mortar (Pan 2019).

To confirm the abovementioned observations and determine the viability of the method, the samples were studied by means of infra-red spectroscopy (FTIR). A substantial overlap was observed between the main treatment bands (centred around  $1140\text{ cm}^{-1}$ ,  $820\text{ cm}^{-1}$  and  $500\text{ cm}^{-1}$ ) and the characteristic bands of the mortar. This identification was particularly complex due to the low concentration of these products compared with the starting material. This finding allowed to establish a positive hypothesis regarding the long-term behaviour of the treatment, since the low concentration would ensure that

any degradation due to the action of environmental agents would not give rise to the visual alteration of the material.

### 5.3. Analysis and discussion of results

The results of the water permeability test, based on the “pipe method”, can be considered optimal with a significant increase in the degree of protection (UNE-EN 15801:10). The data obtained in the different façades for concrete, mortar elements and facing brickwork are shown in figure 10 (Huet 2005).

The concrete, mortar and brick controls not subjected to cleaning or waterproofing, presented high permeability to liquid water, being significantly higher the value obtained for the mortar test. Ortega (1994) report values in the range of 0.6-0.8

presentaron una potente actividad hidrófoba con calificación de impermeable y con valores similares en todos los casos, lo que confirma la eficacia del hidrofugante aplicado. En el caso del hormigón, la acción del tratamiento ha logrado una disminución media de la absorción de agua del 93%, lo que muestra un nivel relevante de mejora. Las pruebas realizadas en los ladrillos arrojaron pequeñas diferencias entre el estado original y el tratado, ya que los materiales cerámicos no adolecían de ninguna degradación aparente más allá de la simple suciedad.

Los datos obtenidos en el ensayo de colorimetría evidenciaron la eficacia del proceso de limpieza, y permitieron observar igualmente una homogeneidad cromática en los acabados finales de los materiales en las diferentes fachadas. La variación de

tono VT obtenida para el hormigón fue de 0,64 y en el caso del ladrillo 4,1. El cambio de color global  $\Delta E$  resultó de 3,8 para el hormigón y 5,2 para el ladrillo. De acuerdo con los valores obtenidos, y considerando la irregularidad cromática de los materiales, se puede observar que la variación de tono y la variación de color global se encuentran por debajo de las tolerancias detectables por el ojo humano, lo que verifica la homogeneidad conseguida en el tratamiento de limpieza e hidrofugación, salvo el valor  $\Delta E$  del ladrillo, que lo supera levemente, aunque dentro de los límites de tolerancia antes indicados (Huet 2005). Esta circunstancia tiene su explicación en que la fábrica de ladrillo está conformada alternando irregularmente ladrillo amarillos y rojos, lo que da lugar a una mayor diferencia

en los valores  $L^*a^*b^*$  de acuerdo con el conjunto de piezas analizadas en cada fachada.

## 6. CONCLUSIONES

Los estudios previos realizados sobre los materiales de los elementos de fachada del Pabellón del Perú han permitido establecer la carbonatación, despasivación de armaduras y su posterior corrosión como causas principales del deterioro de los elementos ornamentales, procesos afectados por las condiciones ambientales a las que está expuesto. El conocimiento de estas etapas y mecanismos permitió la elección del tratamiento de conservación que mejor se adecuaba a las condiciones de los materiales a preservar. Por ello, es esencial destacar la necesidad de efectuar este tipo de ensayos previos en edificios de alto valor

$\text{cm}^3/10 \text{ min}$  for H-25 and H-18 concrete, respectively, and 4.0-5.0  $\text{cm}^3/10 \text{ min}$  for 1:3 and 1:4 cement mortars, respectively, which are consistent with the results obtained. The water-repellent samples of both materials showed powerful hydrophobic activity, with similar waterproof scores and values in all cases, thus confirming the effectiveness of the water repellent applied. In the case of concrete, the treatment action has achieved an average decrease in water absorption of 93%, which shows a relevant level of improvement. The tests carried out on the bricks showed small differences between the original state and the treated one, since the ceramic materials showed no apparent alteration beyond the dirt.

The data obtained in the colorimetry test confirmed the effectiveness of the cleaning process. Chromatic

homogeneity was also observed in the final finishes of materials on the different façades. The variations in tone VT obtained for concrete and brickwork were 0.64 and 4.1, respectively. Overall colour change  $\Delta E$  was 3.8 for concrete and 5.2 for brick. According to the values obtained, and considering the chromatic irregularity of the materials, it can be observed that the variation in tone and overall colour variation were below the tolerances detectable by the human eye, thus confirming the homogeneity achieved in the cleaning and waterproofing treatment, except for the  $\Delta E$  value in brick, which was slightly higher, falling within the tolerance limits indicated above (Huet 2005). This finding can be explained by the fact that facing brickwork consists of irregularly alternating yellow and red bricks,

resulting in a greater difference in the  $L^*a^*b^*$  values, as evidenced by all the pieces analysed in each façade.

## 6. CONCLUSIONS

The studies carried out on the materials used in the façade elements of the Peru Pavilion confirmed that carbonation, depassivation of reinforcements and their subsequent corrosion were the main causes of the deterioration of the ornamental elements of the façade. These processes are affected by the environmental conditions to which the building is exposed. Knowledge of these stages and mechanisms enabled the selection of the most suitable conservation treatment for the conditions of the materials to be preserved; hence, this kind of tests applied to building with a high heritage value are necessary



Samples / Muestras	Original state Estado original	Water-proofed façade Fachada hidrofugada
Brickwork North Fábrica de ladrillo norte	0.15	0.1
Brickwork South Fábrica de ladrillo sur	0.30	0.05
Brickwork East Fábrica de ladrillo este	0.10	0.10
Brickwork West Fábrica de ladrillo oeste	0.80	0.15
Concrete North Hormigón norte	1.90	0.20
Concrete South Hormigón sur	1.70	0.10
Concrete East Hormigón este	2.00	0.10
Concrete West Hormigón oeste	1.90	0.10
Mortar West Mortero oeste	3.65	0.20

Samples / Muestras	Resulting rating Calificación resultante
Brickwork North Fábrica de ladrillo norte	No capillary activity Sin actividad capilar
Brickwork South Fábrica de ladrillo sur	No capillary activity Sin actividad capilar
Brickwork East Fábrica de ladrillo este	No capillary activity Sin actividad capilar
Brickwork West Fábrica de ladrillo oeste	Impermeable
Concrete North Hormigón norte	Impermeable
Concrete South Hormigón sur	Impermeable
Concrete East Hormigón este	Impermeable
Concrete West Hormigón oeste	Impermeable
Mortar West Mortero oeste	Impermeable

10

10. Resultados del ensayo de absorción al agua (cm<sup>3</sup> / 30 min)

10. Results of the water absorption test (cm<sup>3</sup> / 30 min)

patrimonial con anterioridad a la toma de decisiones definitivas contenidas en el proyecto de restauración, de manera que se garantice al máximo la idoneidad de las acciones de protección previstas.

El ensayo comparativo de propiedades como la porosidad, permeabilidad al agua líquida y color de los distintos tratamientos ha permitido determinar su adecuación a las necesidades de protección de acuerdo con la estimación de las acciones causantes del daño y, a partir de este punto, argumentar científica y técnicamente la selección del hidrofugante nanoparticulado en disolvente orgánico (A) para su aplicación sobre los elementos decorativos originales de hormigón y mortero.

Los ensayos de control sobre los elementos decorativos de hormigón y mortero tras la intervención, mediante ensayos mínimamente invasivos, han verificado

to ensure the suitability of the planned protection actions. The test performed to compare properties such as porosity, permeability to liquid water and colour of the different treatments allowed to determine their suitability given the protection needs, in line with the assessment of the causes of damage. Based on the foregoing, scientific and technical arguments could be presented to justify the selection of a nano-particulate water-repellent in organic solvent (A) for its application on the original decorative concrete and mortar elements.

The control tests performed after intervention on the decorative concrete and mortar elements, through tests that will cause minimum damage, confirmed the correct application of the treatment,

la correcta aplicación del tratamiento, su adecuado nivel de eficacia, así como la consecución de un acabado cromático correcto y homogéneo en las cuatro fachadas del edificio.

No ha sido posible la identificación del producto hidrofugante en la matriz de mortero mediante técnicas analíticas, más allá de la detección de flúor en su composición por SEM-EDAX; no es de extrañar esta circunstancia, ya que la dilución del principio activo en disolvente (<5% peso) y, a su vez, en el material aplicado disminuye enormemente su concentración. Con todo, esta baja concentración también puede valorarse positivamente al considerar altamente improbable que las alteraciones que el producto pueda sufrir por la acción de los agentes ambientales den lugar a algún tipo de afectación cromática.

its adequate level of effectiveness, as well as the achievement of a correct chromatic and homogeneous finish on the four façades of the building.

The water-repellent product could not be detected in the mortar matrix by analytical techniques, beyond the detection of fluorine in its composition by SEM-EDAX. The dilution of the main reagent in solvent (<5 % weight) and, in turn, in the material applied significantly reduces its concentration at the time of any identification, so this circumstance is not unusual. It is very unlikely that the alterations that the product undergoes due to the action of environmental factors can lead to some type of chromatic alteration. Thus, the low concentration can also be evaluated positively.

## AGRADECIMIENTOS

### ACKNOWLEDGMENTS:

A CONDISA, empresa encargada de la ejecución de la restauración de la fachada, por todas las facilidades e interés manifestado en esta investigación, y al personal técnico del laboratorio de materiales de construcción del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II (ETSIE) y del Centro de Investigación, Tecnología e Innovación (CITIUS) de la Universidad de Sevilla / CONDISA, the company entrusted with the execution of the restoration of the façade for providing all facilities and also for its interest in this research, and the technical staff of the construction materials laboratory of the Department of Building Construction (ETSIE) and the Technological Research and Innovation Centre (CITIUS) of the University of Sevilla.

## BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- BALAKRISHNA, M. N.; RAHMAN, M. M.; CHAMBERLAIN, D. A.; MOHAMMAD, F.; EVANS, R.: "Determination of flow rate of water in concrete by Rilem tube method". *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, vol. 2 n° 4 (2013), pp. 98-109.
- BASHEER, L.; KROPP, J.; CLELAND, D. J.: "Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review". *Construction and Building Materials*, vol. 15 n° 2-3 (2001), pp. 93-103. doi: 10.1016/S0950-0618(00)00058-1.
- CORONADO MARTÍN, J. A.; RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA SANTOS, A.: "Mathematical model for prediction of colour in the aging of waterproofed porous face ceramic". *Revista de la Construcción*, vol. 17 n° 2 (2018), pp. 222-300. doi: 10.7764/rdlc.17.2.222.
- CORPAS F. A.; CODINA, S.; RUIZ ROMÁN, J. M.; RUIZ PRIETO, J. M.; ALONSO SANTOS, C.: "Characterization of material composite marble-polyester". *Materiales de Construcción*, vol. 52 n° 268 (2002), pp. 65-71. doi: 10.3989/mc.2002.v52.i268.318.
- COSTA, D.; DELGADO RODRIGUES, J.: "Testing new water repellent solutions to protect deteriorated granite". *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 20 n° 6 (2014), pp. 413-422.
- CRESPO, C.: *Arquitectura doméstica de la Ciudad de los Reyes (1535-1750)*. pp. 231-295, CSIC-Univ. Sevilla-Dip. Sevilla, 2006
- CULTRONE, G.; MADKOUR, F.: "Evaluation of the effectiveness of treatment products in improving the quality of ceramics used in new and historical buildings". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 14 n° 4 (2013), pp. 304-310. doi: 10.1016/j.culher.2012.08.001.
- DEL POZO SERRANO, A.; HARO RUIZ, E.: "El pabellón del Perú". *Aparejadores: boletín del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla*, vol. 21 (1987), pp.13-20.
- DELGADO RODRIGUES, J., GROSSI A.: "Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8 n° 1 (2007), pp. 32-43. doi: 10.1016/j.culher.2006.04.007.
- V. FLORES-ALÉS; F. J. ALEJANDRE; F. J. BLASCO-LÓPEZ; J. R. BAEZA; R. VILLEGAS. *Concrete façade conservation of the Peru Pavilion of Seville (1927). Analysis of decay and evaluation of protection treatments*. pp.197-200. En: *Conserving Cultural Heritage*. Crc Press/Balkema. Cádiz, 2018.
- GHERARDI, F.; GULOTTA, D.; GOIDANICH, S.; COLOMBO, A.; TONIOLO, L.: "On-site monitoring of the performance of innovative treatments for marble conservation in architectural heritage". *Heritage Science*, vol. 5 (2017), pp. 4. doi: 10.1186/s40494-017-0118-5.
- GRACIANI, A.: *La participación internacional y colonial en la Exposición Iberoamericana de Sevilla de 1929*. ICAS - Ayto. Sevilla - Universidad de Sevilla. Sevilla, 2010.
- GUILLITTE, O.: "Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies". *Science of the Total Environment*, vol. 167 n° 1-3 (1995), pp. 215-220. doi: 10.1016/0048-9697(95)04582-L
- HOUS, Y. F.; WITTMANN, F. H.: "Depth profiles of carbonates formed during natural carbonation". *Cement and Concrete Research*, vol. 32 n° 12 (2002), pp. 1923-1930. doi: 10.1016/S0008-8846(02)00908-0.
- HUET, B.; L'HOSTIS, V.; MISERQUE, F.; IDRISSE, H.: "Electrochemical behavior of mild steel in concrete: Influence of pH and carbonate content of concrete pore solution". *Electrochimica Acta*, vol. 51 n° 1 (2005), pp. 172-180. doi: 10.1016/j.electacta.2005.04.014
- ORTEGA ANDRADE, F.: *Patología de la Construcción: Humedades en la edificación*. Editan S.A. Sevilla, 1994
- PAN, X.; SHI, C.; FARZADNIA, N.; HU, X.; ZHENG, J.: "Properties and microstructure of CO<sub>2</sub> surface treated cement mortars with subsequent lime-saturated water curing". *Cement and Concrete Composites*, vol. 99 (2019), pp. 89-99. doi: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2019.03.006.
- SAETTA, A. V.; SCHREFLER, B. A.; VITALIANI, R. A.: "The carbonation of concrete and the mechanism of moisture, heat and carbon dioxide flow through porous materials". *Cement and Concrete Research*, vol. 23 n° 4 (1993), pp. 761-772. doi:10.1016/0008-8846(93)90030-D.
- SHARMA, G.; WU, W.; DALAL, E. N.: "The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations". *Color Research & Application*, vol. 30 n° 1 (2005), pp. 21-30. doi: 10.1002/col.20070
- UNE-EN 16581:2016. *Conservación del patrimonio cultural. Protección superficial para materiales inorgánicos porosos. Métodos de ensayo de laboratorio para la evaluación de las prestaciones de los productos hidrófugos / Conservation of Cultural Heritage - Surface protection for porous inorganic materials - Laboratory test methods for the evaluation of the performance of water repellent products*.
- UNE-EN 1936:2007. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total / Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity*.
- UNE-EN ISO 12571:2015. *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación de las propiedades de sorción higroscópica. (ISO 12571:2013) / Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of hygroscopic sorption properties (ISO 12571:2013)*.
- UNE-EN 15801:2010. *Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad / Conservation of cultural property - Test methods - Determination of water absorption by capillarity*.
- UNE-EN 1925:1999. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad / Natural stone test methods - Determination of water absorption coefficient by capillarity*.
- VILLEGAS, F.: "El Pabellón Peruano en la Exposición Iberoamericana de Sevilla (1929)". *Anales del Museo de América*, vol. 23 (2015), pp.143-183.
- L. E. WUFFARDEN. *Manuel Piqueras Cotolí (1885-1937). Arquitecto, escultor y urbanista entre España y el Perú*. Museo de Arte de Lima, Lima, 2003.