



1. Vista de las fachadas este y norte / View of the east and north facades

## Diagnóstico y análisis del Urnario de Bayardo en el Cementerio del Norte de Montevideo

### *Diagnosis and analysis of the Bayardo's Municipal Colombarium in the North Cemetery of Montevideo*

Juan José Fontana<sup>1</sup>, Carola Romay<sup>2</sup>, Claudia Varin<sup>3</sup>, Guillermo Zubeldía<sup>4</sup>

1, 3, 4. Instituto de Tecnologías (IT) de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU), Universidad de la República (Udelar) 2. IT, FADU e Instituto de Ensayo de Materiales (IEM) de la Facultad de Ingeniería, Udelar.

**Palabras clave:** Patrimonio; brutalismo; hormigón visto; patologías; ensayos

**Keywords:** Heritage; brutalism; exposed concrete; pathologies; tests

El Urnario Municipal del Cementerio del Norte, ubicado en el municipio D de Montevideo, Uruguay, fue declarado Monumento Histórico Nacional en 2014. No cuenta hasta la fecha con un plan que habilite su conservación y mantenimiento a pesar de las claras señales de deterioro que presenta. Se plantea en este artículo un análisis de la configuración constructiva del edificio basado en levantamientos, resultados de ensayos y una modelización teórica de su estructura. Las lesiones detectadas se han clasificado según el grado de afectación del edificio. Finalmente, se establece un diagnóstico. El edificio presenta síntomas de afectación, especialmente de sus elementos estructurales horizontales. En las condiciones actuales estas deficiencias no comprometen su estabilidad; sin embargo, dada la naturaleza progresiva de los procesos patológicos detectados, vinculados a la pérdida de alcalinidad y a la alta permeabilidad del hormigón, es previsible que pueda verse comprometido su desempeño a corto plazo.

*The Municipal Colombarium in the North Cemetery of Montevideo was declared a National Historical Monument in 2014. To date, however, it does not have a plan that enables its conservation and maintenance despite the clear signs of deterioration it presents. An analysis of the constructive configuration of the building based on surveys, test results and a theoretical modeling of its structure is proposed in this article. The pathologies detected are classified according to the degree of affectation of the building. Finally, a diagnosis is established. The building shows signs of damage, especially its horizontal structural components. Under current conditions, these effects do not compromise its stability, however, given the progressive nature of the pathological processes detected linked to the loss of alkalinity and the high permeability of the concrete, it is foreseeable that its performance may be compromised in the short term.*

\*Texto original: castellano. Traducción al inglés: Patricia Draper de Freitas (revisión).

\*Original text: Spanish. English translation: Patricia Draper de Freitas (revisión).

## 1. INTRODUCCIÓN

El Urnario Municipal del Cementerio del Norte en Montevideo es una de las obras arquitectónicas más significativas construidas en Uruguay en la segunda mitad del siglo XX (Méndez, 2013; Fontana *et al.*, 2021). Proyectado por el arquitecto Nelson Bayardo y el calculista José Pedro Tizze en 1959, fue completado en 1961 y declarado Monumento Histórico Nacional por el Ministerio de Educación y Cultura en 2014. Los valores artísticos de la obra determinaron su inclusión en la muestra *La Aldea Feliz*, realizada para la Bienal de Arquitectura de Venecia de 2014 (Nisivoccia *et al.*, 2014), y en la exposición *Latin America in Construction*, celebrada en el Museo de Arte Moderno de Nueva York en 2015.

Debido a su preocupante estado de conservación, en 2019 fue firmado un convenio para la redacción de un plan para su conservación integral<sup>1</sup>.

Este artículo presenta el trabajo realizado por un grupo de docentes del Instituto de Tecnologías en el marco del mencionado convenio a efectos de analizar la configuración constructiva del edificio, de comprender su funcionamiento estructural, de documentar las lesiones que presenta y de realizar un diagnóstico de su situación actual que sirva de base para el desarrollo de un proyecto de reparación y mantenimiento (fig. 1).

## 2. METODOLOGÍA

El estudio de la configuración constructiva tuvo por objetivo precisar las características de los materiales y componentes que conforman los diferentes sistemas, de acuerdo con las recomendaciones de la norma UNE 41805

## 1. INTRODUCTION

The Municipal Columbarium in the North Cemetery of Montevideo is one of the most significant architectural works built in Uruguay in the second half of the 20th century (Méndez, 2013; Fontana *et al.*, 2021). Projected by architect Nelson Bayardo and structural calculator José Pedro Tizze in 1959, it was completed in 1961 and declared a National Historic Monument by the Ministry of Education and Culture in 2014. The artistic values of the work determined its inclusion in the exhibition *La Aldea Feliz*, made for the 2014 Venice Architecture Biennale (Nisivoccia *et al.*, 2014), and in the *Latin America in Construction* exhibition, held at the Museum of Modern Art in New York in 2015.

Due to its alarming state of conservation, an agreement was signed in 2019 to draft a plan for its comprehensive conservation.

This article presents the work carried out by a group of professors from the Institute of Technologies within the framework of the aforementioned agreement in order to analyze the constructive configuration of the building, understand its structural behavior, document the pathologies it presents and carry out a diagnosis of its current state as a basis for the development of a repair and maintenance project (fig. 1).

### 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

relativa al diagnóstico de edificios (AENOR, 2009). Incluyó cuantificaciones dimensionales con métodos manuales tradicionales, análisis termográfico para detección de nervios estructurales, definición de la posición y recubrimiento de las armaduras con pachómetro, y la ejecución de calas para conocer la configuración constructiva de las losas nervadas. Asimismo, comprendió la realización de ensayos de caracterización química, física y mecánica del hormigón: composición mineralógica por difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS), resistencia a la compresión, resistividad eléctrica, permeabilidad al aire y al agua, contenido de cemento, dureza superficial y resistencia a la penetración. Para la extracción de muestras se aplicó un plan de muestreo siguiendo el criterio de mínima afectación.

Con el fin de evaluar el funcionamiento teórico de la estructura, así como de obtener una aproximación numérica a sus deformaciones, tensiones, cuantías y fisuraciones, se elaboró un modelo estructural con el programa RFEM de Dlubal. El estudio del estado de conservación se basó en el registro y análisis de las lesiones. El registro se realizó a través de la inspección ocular con ayuda de instrumentos manuales y del levantamiento fotográfico, determinando las manifestaciones patológicas presentes en los diferentes componentes. Para las áreas inaccesibles se trabajó con un dron y lentes de aumento (en particular, fueron aplicados al estudio de la cara inferior de la cubierta y de las fachadas). La tipificación de las lesiones distinguió entre fisuras leves, moderadas y grietas en función de su apertura media, armadura expuesta, oquedades, craquelado, desprendimientos, desplomes,

## 2. METHODOLOGY

The study of the constructive configuration aimed to specify the characteristics of the materials and elements that compose the different systems, in accordance with the recommendations of the UNE 41805 standard regarding the diagnosis of buildings (AENOR, 2009). It included dimensional quantifications with traditional manual methods, thermographic analysis to detect structural concrete reinforcements, definition of the position and cover of the steel reinforcements with a pachometer, and the execution of searches to determine the constructive configuration of the ribbed slabs. It also included the execution of tests for the chemical, physical and mechanical characterization of concrete: mineralogical composition by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM-EDS), compressive strength, electrical resistivity, air and water permeability, cement content, surface hardness and resistance to penetration. For the extraction of samples, a sampling plan was applied following the criterion of minimal affectation.

In order to evaluate the theoretical performance of the structure, as well as to obtain a numerical approximation to its deformations, stresses, amounts of steel reinforcements and cracks, a structural model was developed with Dlubal RFEM software. The study of the conservation was based on the registration and analysis of the pathologies. The registration was made through ocular inspection with the help of manual instruments

acumulación o caída de agua, colonización biológica y animal, manchas de óxido, eflorescencias, suciedad, irregularidad en la textura superficial, reparaciones y adiciones impropias.

Este rastreo se complementó con la ejecución de ensayos en laboratorio sobre profundidad de pérdida de alcalinidad, contaminación por ion cloruro y detección de la composición química de eflorescencias.

Las acciones emprendidas se ajustaron a las recomendaciones metodológicas planteadas por el Laboratorio de investigaciones de monumentos históricos de la dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura de Francia (Marie-Victoire, 1996; Bouichou y Marie-Victoire, 2009). Una vez obtenidos los resultados, estos se recogieron en gráficos de mapeo de lesiones y en fichas de registro de lesiones por elementos constructivos. A partir del registro detallado del edificio, del modelado de su comportamiento estructural, y de la definición y análisis de las patologías detectadas, fue efectuado finalmente un diagnóstico.

### 3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos permitieron desvelar la configuración constructiva del edificio y las lesiones que lo afectan, tal como a continuación se detalla.

#### 3.1. Materiales

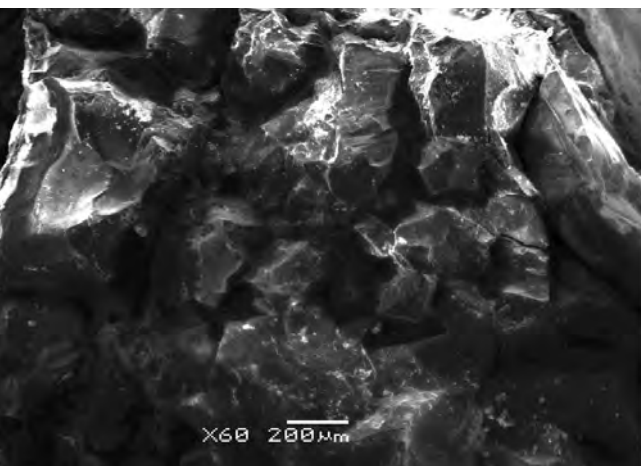
La resistencia a compresión del hormigón fue determinada sobre 4 testigos extraídos de 2 pilares y 2 vigas. Los resultados obtenidos fueron ponderados teniendo en cuenta la dimensión de los testigos y su esbeltez. La resistencia

and photographic survey, determining the pathological manifestations present in the different components. For the inaccessible areas, a drone and magnifying lenses were used (in particular, they were applied to the study of the underside of the roof and the facades). The typification of the lesions distinguished between slight, moderate fissures and cracks based on their average opening, exposed reinforcements, cavities, cracking, detachments, lead loss, accumulation and drop of water, biological and animal colonization, rust stains, efflorescence, dirt, irregularity in surface texture, improper repairs and additions. This registration was complemented with laboratory tests on the depth of alkalinity loss, chloride ion contamination and detection of the chemical composition of efflorescence.

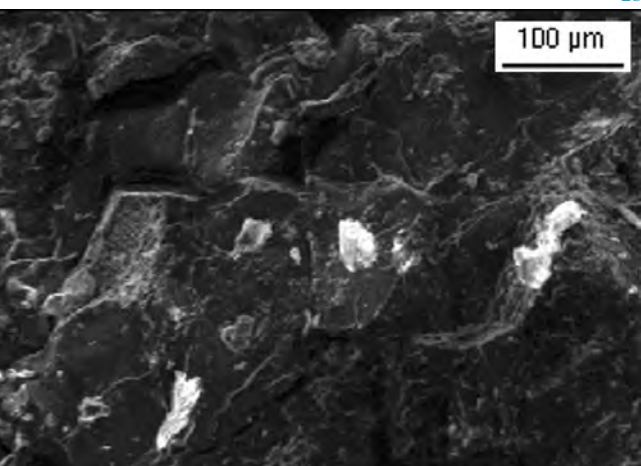
The actions undertaken were adjusted to the methodological recommendations proposed by the Historical Monuments Research Laboratory of the Heritage Directorate of the French Ministry of Culture (Marie-Victoire, 1996; Bouichou and Marie-Victoire, 2009).

Once the results were obtained, they were recorded in pathology mapping graphs and pathology record sheets, ordered by construction elements.

From the detailed record of the building, the modeling of its structural behavior, and the definition and analysis of the pathologies detected, a diagnosis was finally made.



2a



2b

media resultó de 35,2 MPa y la resistencia mínima de 30,1 MPa. Los valores obtenidos en el ensayo de resistividad eléctrica del hormigón oscilaron entre 144 y 216  $\Omega\cdot m$ , estando comprendidos en el rango entre 100 y 500  $\Omega\cdot m$  indicado como de riesgo moderado de corrosión.

El ensayo de profundidad de pérdida de alcalinidad indicó que la pérdida media oscila entre los 3 mm en una viga del sector oeste y los 26 mm en una viga de la fachada oeste. La pérdida de alcalinidad máxima, por su parte, fluctuó entre los 10 y los 50 mm.

En el análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) se obtuvieron imágenes representativas de la textura microscópica del material, así como la identificación de los elementos presentes. Se analizaron dos muestras extraídas de techos de losas y una procedente de un pilar. La presencia detectada de sílice, carbono y calcio se corresponde con los compuestos de dióxido de sílice y carbonato de calcio revelados por difracción de rayos X (DRX), mientras que el sodio y el aluminio podrían referir al agregado feldespático que es común en la conformación de granitos de nuestro país (fig. 2).

### 3.2. Comportamiento estructural

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de compresión, se seleccionó para el modelo de cálculo un hormigón con una resistencia característica de 30 MPa.

## 3. RESULTS

The results obtained revealed the constructive configuration of the building and the pathologies that affect it, as detailed below.

### 3.1. Materials

The compressive strength of the concrete was determined on 4 specimens extracted from 2 pillars and 2 beams. The results obtained were weighted taking into account the size of the specimens and their slenderness. The average resistance was 35.2 MPa and the minimum resistance 30.1 MPa.

The values obtained in the electrical resistivity test of the concrete ranged between 144 and 216  $\Omega\cdot m$ , being included in the range between 100 and 500  $\Omega\cdot m$  indicated as a moderate risk of corrosion.

The alkalinity loss depth test indicated that the average loss ranges from 3 mm in a beam in the west sector to 26 mm in a beam in the west façade. The maximum loss of alkalinity, on the other hand, fluctuated between 10 and 50 mm.

In the scanning electron microscopy (SEM-EDS) representative images of the microscopic texture of the material were obtained, as well as the identification of the elements present. Two samples taken from slabs and one from a pillar were analyzed. The detected presence of silica, carbon and calcium corresponds to the compounds of silica dioxide and calcium carbonate revealed by X-ray diffraction (XRD), while sodium and aluminum could refer to the feldspathic aggregate that is common in the conformation of uruguayan granites (fig. 2).

El estudio comparado del modelo y los datos recogidos de las compilaciones gráficas originales muestra que la armadura inferior en los nervios de las losas del primer piso, así como en los del entrepiso, cubren el área de acero necesaria de  $11,2 \text{ cm}^2/\text{m}$  con una holgura de 3%.

En las fachadas exteriores, la malla indicada de barras de 8 mm de diámetro cada 15 cm es insuficiente para cubrir la armadura horizontal necesaria. Según el modelo de cálculo, en las zonas superiores de los tramos centrales esta cuantía cubre aproximadamente el 76% de la armadura máxima necesaria. Y es también insuficiente para cubrir la armadura vertical necesaria en las zonas superior e inferior de las vigas. Por el contrario, los refuerzos de barras de 22 mm de diámetro dispuestos a ambos lados de los pilares cubren holgadamente la armadura necesaria (fig. 3, 4).

### 3.3. Análisis y diagnosis del estado de conservación

Durante la ejecución de las labores de inspección se detectaron sectores como la cubierta en los que, por la naturaleza y gravedad de las deficiencias registradas, se estimó la necesidad de una intervención inmediata. En consecuencia, se elaboró un informe preliminar y una memoria descriptiva de las obras de urgente realización para su impermeabilización (fig. 5).

En base al mapeado de lesiones y a los resultados de los ensayos y del modelo de comportamiento estructural, se entendió que las lesiones

### 3.2. Structural behavior

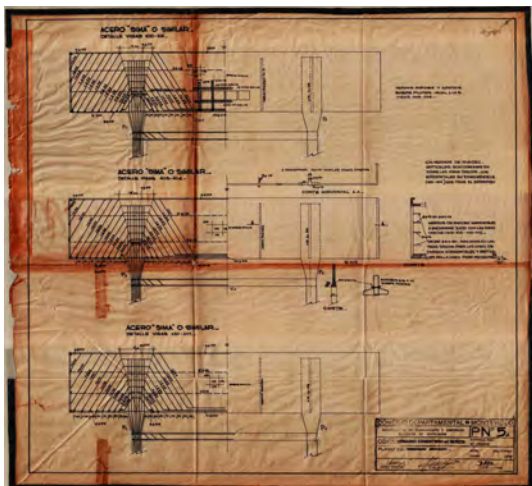
According to the results obtained in the compression tests, a concrete with a characteristic resistance of 30 MPa was selected for the calculation model. The comparative study of the model and the data collected from the original graphic compilations shows that the lower reinforcement in the slabs's ribs of the first floor, as well as those of the mezzanine, cover the necessary steel area of  $11.2 \text{ cm}^2/\text{m}$  with a clearance of 3%.

On exterior facades, the indicated mesh of 8 mm diameter bars every 15 cm is insufficient to cover the necessary horizontal steel reinforcement. According to the calculation model, in the upper areas of the central sections this amount covers approximately 76% of the maximum reinforcement required. And it is also insufficient to cover the necessary vertical reinforcement in the upper and lower areas of the beams. However, the 22 mm diameter bar reinforcements arranged on both sides of the pillars provide the necessary reinforcement (figs.3, 4).

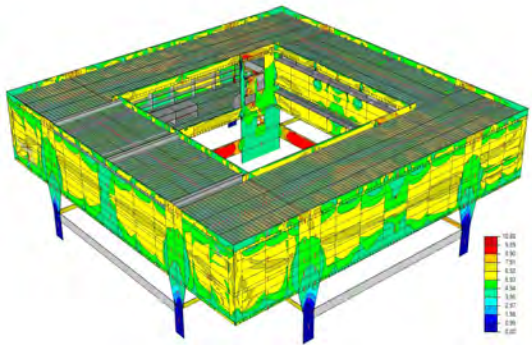
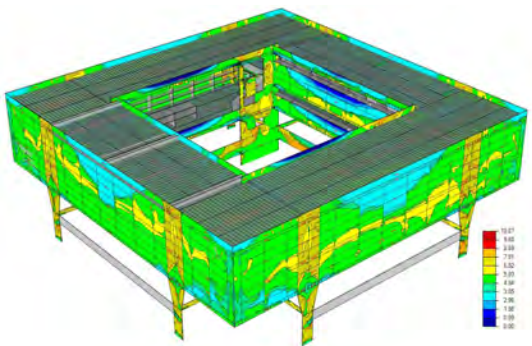
### 3.3. Analysis and diagnosis of the state of conservation

During the inspection, sectors were detected in which the need for immediate intervention was estimated due to the nature and seriousness of the deficiencies observed. The roof was one of them. Consequently, a preliminary report and a memory of the urgently needed works for its waterproofing, were prepared (fig. 5).

2. Imagen del MEB-EDS sobre muestra de techo en losa  
2. MEB-EDS image on a slab sample



3  
4



3. Detalles de armado de las vigas de fachada en la planimetría original (Fuente: Archivo del Instituto de Historia, FADU)

3. Reinforcement details of the facade beams in the original planimetry (Source: Archive of the Institute of History, FADU)

4. Armadura mínima necesaria (cm<sup>2</sup>/m) en las direcciones de los ejes principales

4. Minimum necessary reinforcement (cm<sup>2</sup>/m) in the directions of the main axes

5. Planos de mapeo de lesiones: techos de planta baja y fachadas interiores este y oeste

5. Pathology Mapping Plans: Ground Floor Ceilings and Interior East and West Facades.

detectadas podrían ser clasificadas en tres grupos. El primero integraría aquellas lesiones que afectan de manera generalizada a los elementos estructurales alterando los materiales que los componen; el segundo, las lesiones generalizadas de carácter superficial que comprometen a diversas piezas estructurales y no estructurales; mientras que el tercer grupo comprendería las lesiones puntuales o concentradas, que en su gran mayoría afectan a componentes no estructurales.

### 3.3.1. Lesiones del Grupo 1

La formación de fisuras y grietas presenta una mayor intensidad en las capas inferiores de las losas nervadas de todos los niveles. Las de mayor extensión y abertura fueron detectadas en los tramos centrales de los distintos paños, en concordancia con las deformaciones arrojadas por el modelo estructural. Además de las referidas al comportamiento estructural, la presencia generalizada de fisuras puede deberse a otras causas. Es posible considerar que los cajones de madera empleados como encofrados perdidos pudieran haber modificado el agua disponible para la hidratación del cemento durante el proceso de fraguado y posterior endurecimiento, generando microfisuras iniciales, tal como señala Queirolo en un artículo publicado en la década de 1960. Asimismo, es probable que se produjeran fenómenos de retracción por secado conducentes a la formación de microfisuras. Del mismo modo,

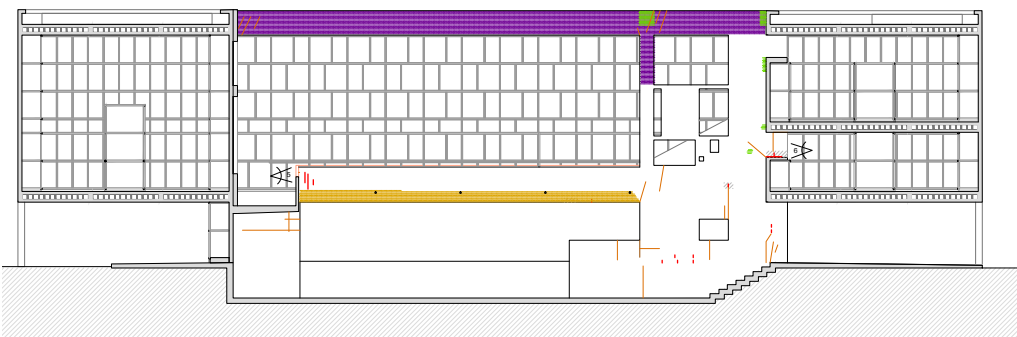
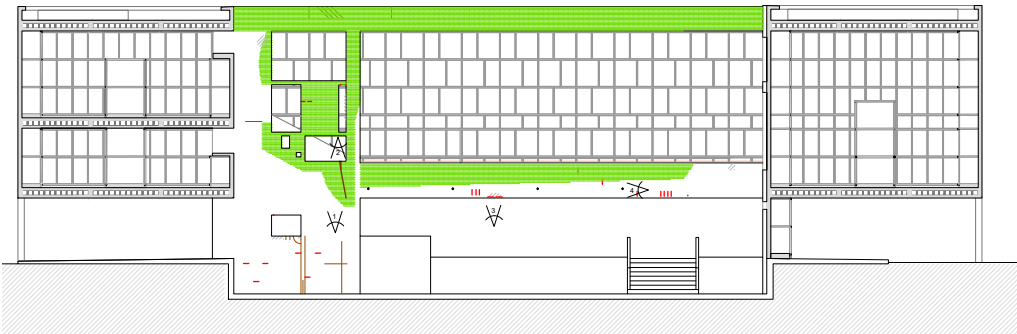
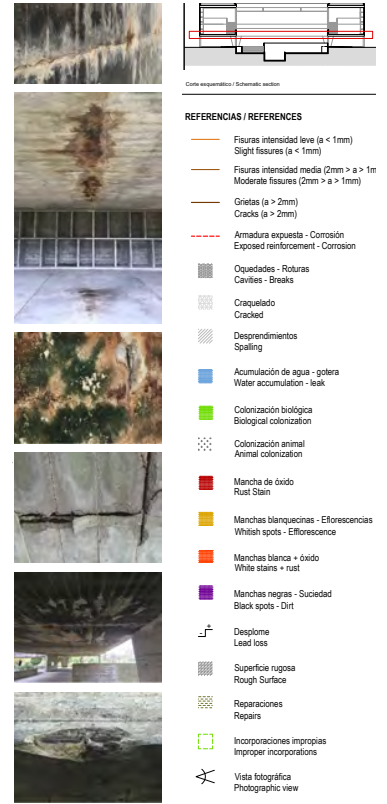
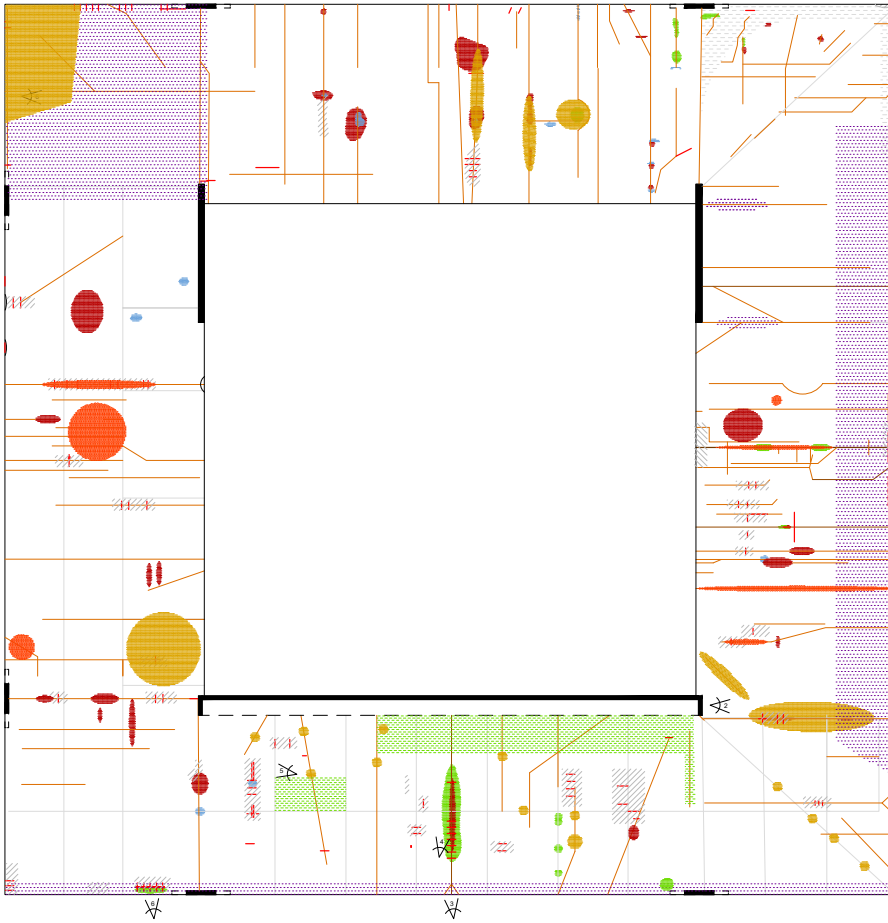
Based on the pathology maps and the results of the tests and the structural behavior model, it was interpreted that the pathologies detected could be classified into three groups. The first would integrate those pathologies that affect structural elements in a general way, altering the materials that compose them. The second group would be defined by generalized lesions of a superficial nature that compromise various structural and non-structural elements. The third group would include punctual or concentrated pathologies, the majority of which affect non-structural components.

### 3.3.1. Group 1 pathologies

The formation of fissures and cracks presents a greater intensity in the lower layers of the ribbed slabs. The ones with the greatest extension and opening were detected in the central sections of the different panels, in accordance with the deformations observed in the structural model.

The generalized presence of cracks may be due to other causes, in addition to those related to structural behavior. It is possible that the wooden boxes used as lost formwork could have modified the water available for the hydration of the cement during the setting and subsequent hardening process, generating initial microcracks, as pointed out by Queirolo in an article published in the 1960s. Likewise, it is probable that drying shrinkage phenomena were produced, leading to the formation of microcracks. In the same way, the eventual occurrence of thermal

5





6. Deformaciones globales iniciales (mm) en Estado Límite de Servicio

6. Initial global deformations (mm) in Serviceability Limit State

7. Fisuras en la viga baranda de la terraza

7. Cracks in the terrace beam

ha de considerarse la eventual concurrencia de fenómenos de dilatación y contracción térmica que pueda afectar a las fachadas y la cubierta (fig. 6). Se advirtió la existencia de infiltración de agua que se acumula en el interior de los elementos estructurales. Esta escurre copiosamente por diferentes puntos tras los días de lluvia y es uno de los factores desencadenantes de la corrosión de las armaduras. Se advierte que en algunos sectores la corrosión ha provocado ya una pérdida significativa de la sección de acero. El origen de este problema no podría ser atribuible a la presencia de iones cloruro, ya que la concentración detectada de dicho ion fue inferior al máximo admitido por las normas internacionales para armaduras pasivas (fig. 7).

En vigas y pilares se detectó una alta permeabilidad al aire, circunstancia de la que se infiere la mala calidad del hormigón y su ineficiencia como capa protectora de las armaduras. Si se compara el espesor de la capa de recubrimiento con la profundidad de carbonatación medida, puede advertirse que las vigas de fachadas constituyen los elementos de mayor vulnerabilidad. Los pilares y vigas de las fachadas interiores, en cambio, no presentan riesgo de corrosión generalizada.

El estudio del modelo estructural permitió comparar las flechas medidas *in situ* con las deducidas por cálculo. En concreto, las flechas obtenidas en las vigas del primer piso y las de cubierta en las fachadas al patio interior son entre

expansion and contraction phenomena that may affect the facades and the roof must be considered (fig. 6). The infiltration of water that accumulates inside the structural elements was noted. This drips copiously through different points after rainy days and is one of the factors that triggers the steel corrosion. It is noted that, in some sectors, corrosion has already caused a significant loss of the reinforcements section. The origin of this problem could not be attributable to the presence of chloride ions, since the detected concentration of that ion was lower than the maximum allowed by international standards for passive reinforcements (fig. 7).

High air permeability was detected in beams and pillars, a circumstance from which the low quality of the concrete and its inefficiency as a protective cover of the reinforcements are inferred. If the thickness of the covering layer is compared with the measured carbonation depth, it can be seen that the façade beams are the most vulnerable elements. The pillars and beams of the interior facades, on the other hand, do not present a risk of generalized corrosion.

The analysis of the structural model made it possible to compare the deflections measured *in situ* with those deduced by calculation. Specifically, the deflections obtained in the beams of the first floor and those of the roof on the facades to the interior patio are between four and six times greater than the initial deflections obtained in the calculation

cuatro y seis veces mayores que las flechas iniciales obtenidas en el modelo de cálculo. Estimando la flecha a largo plazo como dos veces y media la flecha inicial, los valores medidos resultan del orden del doble de los teóricamente calculados. Esta diferencia podría explicarse por deformaciones remanentes producidas en períodos en los que la sobrecarga de urnas fue mayor (fotografías de las décadas de 1980 y 1990 muestran acumulaciones no previstas de urnas en los pasillos y en las losas superiores de las estanterías centrales), por el peso adicional de agua acumulada en el interior de las losas, o por deformaciones de los encofrados durante el proceso de ejecución de la obra.

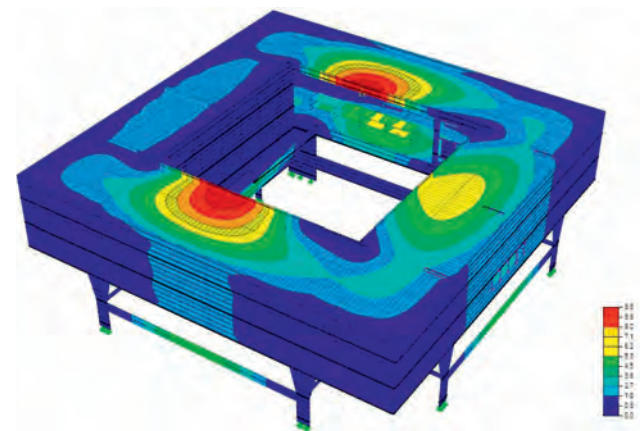
Las fisuras observadas en el modelo de cálculo en las zonas de apoyos de las vigas de las fachadas al patio interior que soportan las losas de cubierta en las alas este y oeste, así como aquellas en el tramo horizontal superior de remate de los pilares calados con anchos que alcanzan los 0,48 mm, coinciden con la ubicación de algunas de las fisuras registradas. En algunos sectores de los pilares calados, por otra parte, se observaron fisuras que coinciden con zonas en que el modelo de cálculo indica picos en los anchos de fisuración de hasta 0,37 mm.

Respecto a las vigas de la fachada exterior este, se detectaron pequeñas fisuras verticales en la zona inferior del tramo central, que coinciden con las previstas en el modelo teórico, con anchos de hasta 0,21 mm. Fisuras análogas se observaron en la fachada sur.

model. Estimating the long-term deflection as two and a half times the initial deflection, the measured values result in the order of double those theoretically calculated. This difference could be explained by remnant deformations produced in periods in which the overload of urns was greater (photographs from the 1980s and 1990s show unforeseen accumulations of urns in the aisles and on the upper slabs of the central shelves), by the additional weight of water accumulated inside the slabs, or due to deformations of the formwork during the construction of the building.

The cracks observed in the calculation model in the support areas of the beams of the facades to the inner courtyard, which support the roof slabs in the east and west wings, as well as those in the upper horizontal section of the finish of the openwork pillars with widths that reach 0.48 mm, coincide with the location of some of the cracks recorded. In some sectors of the openwork pillars, on the other hand, cracks were observed that coincide with areas in which the calculation model indicates peaks of up to 0.37 mm in crack widths.

Regarding the beams of the exterior east façade, small vertical cracks were detected in the lower area of the central section, which coincide with those foreseen in the theoretical model, with widths of up to 0.21 mm. Similar fissures were observed on the south façade.



6

7





8

### 3.3.2. Lesiones del Grupo 2

Manchas, eflorescencias, oquedades y patologías asociadas a la colonización biológica vegetal resultan generalizadas en diferentes superficies de elementos constructivos y estructurales.

La confirmación de la naturaleza y especie a la que pertenecen los microorganismos presentes requiere de estudios especializados no incluidos en este trabajo. No obstante, en virtud de la apariencia general de la colonización, puede avanzarse la existencia de algas, líquenes y musgos. La causa general del desarrollo de estos organismos está fuertemente vinculada con la presencia de humedad y nutrientes retenidos por las superficies porosas. Se sospecha la presencia de algas de tonos negros y verdes. Estas últimas se distinguen en horas posteriores a los días lluviosos, en que las superficies adquieren un color intenso. Por su parte, fueron observados líquenes en las caras horizontales de las vigas que definen las fachadas internas del edificio y en las tejas de terminación de la azotea. Finalmente, en las juntas entre tejas de la azotea se detectaron colonizaciones de musgo. A estos organismos se suman plantas de pequeño porte localizadas en la azotea y claveles del aire sujetos a los paramentos verticales. Las eflorescencias contribuyen, igualmente, al fenómeno de enmugrecido superficial. La solubilidad persistente es

### 3.3.2. Group 2 pathologies

Stains, efflorescence, cavities and pathologies associated with plant biological colonization are generalized on different surfaces.

The confirmation of the nature and species to which the present microorganisms belong, requires specialized studies not included in this work. However, due to the general appearance of the colonization, the presence of algae, lichens and mosses can be estimated. The general cause of the development of these organisms is strongly linked to the presence of moisture and nutrients retained by porous surfaces. The presence of algae of black and green tones is suspected. The latter are distinguished in the hours after rainy days, when the surfaces acquire an intense color. On the other hand, lichens were observed on the horizontal faces of the beams that define the internal facades of the building and on the finishing tiles of the roof. Finally, in the joints between roof tiles, moss colonizations were detected. There are also small plants located on the roof and air carnations attached to the vertical walls.

Efflorescence also contributes to the phenomenon of surface fouling. Persistent solubility is a sign of the existence of fluids that run through the material, an aspect that is directly linked to the leaks mentioned as causes of group 1 pathologies.

señal de la existencia de fluidos que recorren el material, aspecto que se vincula directamente con las filtraciones mencionadas como causas de las patologías del grupo 1.

Finalmente, las oquedades y fisuras paralelas a las estanterías detectadas en las soleras del primer nivel están relacionadas con el desgaste provocado por las ruedas de la escalera móvil empleada para la manipulación de las urnas. En otras zonas de las soleras, se observaron fisuras que pueden tener origen en la retracción, en movimientos de las losas o en defectos de ejecución. Su presencia facilita el ingreso de agua de lluvia y de limpieza a la capa superior de las losas (fig. 8).

### 3.3.3. Lesiones del Grupo 3

Las patologías incluidas en este grupo hacen referencia al craquelado de las superficies, acumulación de agua por desnivelación, incorporaciones impropias, desplomes de los marcos de las tapas de las estanterías, reparaciones previas y colonización biológica animal.

El craquelado probablemente indique problemas locales de retracción o presencia de agentes reactivos internos. Su efecto es considerado menor en virtud del tamaño reducido del área en que se aprecia el fenómeno. La acumulación de agua, que pudo ser constatada en días de lluvia (sin

Finally, the holes and fissures parallel to the shelves detected in the floors of the first level are related to the wear caused by the wheels of the mobile ladder used for handling the urns. In other areas of the screeds, cracks were observed that may originate from shrinkage, slab movements or execution defects. Its presence facilitates the entry of rainwater and cleaning water to the upper layer of the slabs (fig. 8).

### 3.3.3. Group 3 pathologies

The pathologies included in this group refer to the cracking of the surfaces, accumulation of water due to unevenness, improper incorporations, collapse of the frames of the shelf covers, previous repairs and animal biological colonization.

Cracking probably indicates local shrinkage problems or the presence of internal reactive agents. Its effect is considered minor due to the reduced size of the area in which the phenomenon is observed. The accumulation of water, which could be verified on rainy days (without the possibility of establishing the maximum limits of its extension), constitutes a possible factor of water seepage or runoff towards permeable areas, for which its correction is desirable.

8. Vista del patio interior  
8. View of the inner courtyard

posibilidad de establecer los límites máximos de su extensión), constituye un factor posible de filtraciones directas o escurrimientos hacia áreas permeables, por lo que es deseable su corrección.

Se ha advertido, asimismo, la incorporación de elementos disonantes impropios que alteran la propuesta circulatoria y formal del edificio, tales como una reja de cierre en el extremo superior de la terraza, la aplicación de pintura superficial en algunas zonas y la ampliación de la zona pavimentada en la planta baja. Las reparaciones previas se refieren a sectores intervenidos cuyo material original fue sustituido por otro, también de base cementicia, aunque su color y textura difieren notablemente, además de mostrar fisuras perimetrales por retracción diferencial.

Finalmente, cabe destacar la presencia de aves tales como palomas, que habitan diferentes sectores del edificio y que realizan un aporte permanente de guano con ácido fosfórico. Sus efectos bajo la influencia de corrientes de agua, ya sea de lluvia o de limpieza, puede derivar en un ataque químico moderado al hormigón. Su superficie se torna más porosa, ya que los compuestos cálcicos de la pasta de cemento endurecido reaccionan con el ácido formando sales cálcicas. Bálzamo y otros (2012) señalan que estas sales son poco solubles y precipitan en la superficie de manera que resultan en depósitos de difícil remoción. También se detectaron nidos de otras especies animales como abejas, avispas y pájaros en zonas puntuales del mural de E. Studer (fig. 9, 10).

Likewise, the incorporation of inappropriate dissonant elements that alter the circulatory and formal proposal of the building has been noted, such as a closing grillwork at the upper end of the terrace, the application of surface paint in some areas and the extension of the paved area on the ground floor. Previous repairs refer to intervened sectors whose original material was replaced by another, also cement-based, although its color and texture differ notably, in addition to showing perimeter cracks due to differential shrinkage.

Finally, it is worth noting the presence of birds such as pigeons, which inhabit different sectors of the building and which make a permanent supply of depositions with phosphoric acid. Its effects under the influence of water currents, whether rain or cleaning, can lead to a moderate chemical attack on concrete. Its surface becomes more porous, since the calcium compounds of the hardened cement paste react with the acid forming calcium salts. Bálzamo *et al.* (2012) point out that these salts are poorly soluble and precipitate on the surface, resulting in deposits that are difficult to remove. Nests of other animal species such as bees, wasps and birds were also detected in specific areas of the E. Studer mural (figs. 9, 10).

---

9. Colonización biológica vegetal en fachada interior del ala norte

9. Plant biological colonization on the interior façade of the north wing

10. Mural de E. Studer

10. Mural by E. Studer

#### 4. CONCLUSIÓN

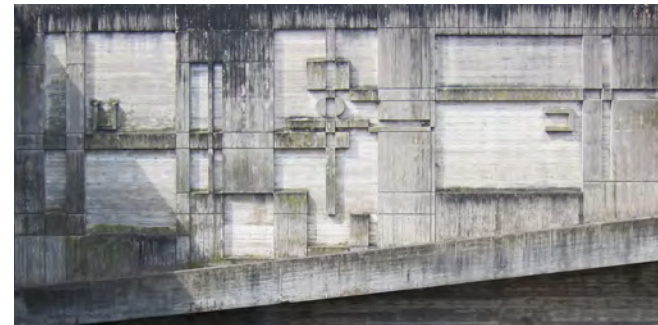
En base al análisis expuesto puede concluirse que el edificio presenta síntomas de afectación, especialmente de sus elementos estructurales horizontales (losas) y, en menor medida, de los verticales (vigas y pilares). En las condiciones actuales, estas deficiencias no comprometen la estabilidad global del edificio. Sin embargo, dada la naturaleza progresiva de los procesos patológicos detectados vinculados a la pérdida de alcalinidad y a la alta permeabilidad del hormigón de recubrimiento, tales como desprendimientos, corrosión y pérdida de sección de las armaduras, es previsible que a corto plazo pueda verse comprometido el desempeño de algunas piezas estructurales.

Las significativas deficiencias funcionales de las capas de impermeabilización que protegen las losas, especialmente en la cubierta, donde también se detectó una deficiencia del sistema de evacuación de pluviales, constituyen causas primarias directas de las lesiones que alteran la composición del material. Por ello, se estima urgente intervenir para evitar la entrada y el paso del agua a través de los diferentes elementos constructivos.

Desde un punto de vista expresivo y formal, las alteraciones generalizadas de la superficie del hormigón visto, entre las cuales se encuentran la colonización biológica vegetal, las eflorescencias y manchas, representan



9  
10




#### 4. CONCLUSION


Based on the above analysis, it can be concluded that the building shows signs of damage, especially in its horizontal structural elements (slabs) and, to a lesser extent, its vertical ones (beams and pillars). Under current conditions, these deficiencies do not compromise the overall stability of the building. However, given the progressive nature of the pathological processes detected linked to the loss of alkalinity and the high permeability of the covering concrete, such as spalling, corrosion and loss of reinforcement section, it is foreseeable that in the short term the performance of some structural parts may be compromised. The significant functional deficiencies of the waterproofing layers that protect the slabs, especially on the roof, where a deficiency of the rainwater evacuation system was also detected, constitute direct primary causes of the pathologies that alter the composition of the material. Therefore, it is considered urgent to intervene to prevent the entry and passage of water through the different construction elements .

From an expressive and formal point of view, the general alterations of the surface of the exposed concrete, among which are biological plant colonization, efflorescence and stains, represent a substantial variation of the original appearance of the building. These factors, added to the incorporation of

una variación sustantiva de la apariencia originaria del edificio. Estos factores, sumados a la incorporación de añadidos impropios y a la desaparición de componentes tales como las tapas de las estanterías, modifican en gran medida la propuesta espacial y el carácter del edificio, por lo que deben revertirse.

El proyecto de puesta en valor de la estructura que actualmente se está desarrollando da prioridad a tres aspectos. El primero es la consideración de que las patologías asociadas a la corrosión de armaduras son consecuencia de la carbonatación y de la alta permeabilidad del hormigón de recubrimiento. El segundo es la durabilidad del material. Es necesario que el sistema de reparación prevea la aplicación de inhibidores de la corrosión y de una terminación superficial hidrorrepelente compatible, a efectos de prevenir la aparición de nuevas patologías. El tercer aspecto remite a la textura, el color y el patrón geométrico de la superficie de hormigón expuesta, que forman parte de los atributos patrimoniales del edificio. Por este motivo, la modulación y el acabado superficial de las reparaciones deben ser compatibles con la imagen original. Es indispensable, pues, la ejecución de estudios de textura y color en aquellas zonas donde sea necesario reponer material, así como la realización de pruebas de reparación, con el fin de diseñar procedimientos que aseguren una adecuada integración estética. 

inappropriate additions and the disappearance of components such as the doors of the shelves, greatly modify the spatial proposal and the character of the building, so they must be reversed.

The enhancement of the structure that is currently being developed gives priority to three aspects. The first is the consideration that the pathologies associated with reinforcement corrosion are a consequence of carbonation and the high permeability of the covering concrete. The second is the durability of the material. It is necessary that the repair system includes the application of corrosion inhibitors and a compatible water-repellent surface finish, in order to prevent the appearance of new pathologies. The third aspect refers to the texture, color and geometric pattern of the exposed concrete surface, which are part of the heritage attributes of the building. For this reason, the modulation and surface finish of the repairs must be compatible with the original image of the building. Therefore, it is essential to carry out texture and color studies in those areas where it is necessary to replace material, as well as carrying out repair tests, in order to design procedures that ensure adequate aesthetic integration. 

## NOTAS / NOTES

1. Urnario Municipal, Cementerio del Norte. Plan de Manejo: Convenio entre la Intendencia de Montevideo y la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU). Aprobación: mayo de 2019. Objetivos primarios: conocer integralmente el edificio, analizar su estado de conservación, establecer pautas para su recuperación y generar mecanismos para su registro testimonial. Asesores locales: Profs. Juan José Fontana (Estructuras), Jorge Gambini (Proyecto), Mary Méndez (Historia), Fernando Tomeo (Construcción), Carola Romay (Patrimonio y Técnicas de ensayo). Asesoras externas de la Universidad de San Pablo, Brasil: María Lucía Bressan (Historia), Claudia de Andrade (Estructuras) y Beatriz Mugayar (Historia y Patrimonio) / Municipal Colombarium, North Cemetery. Management Plan: Agreement between the Municipality of Montevideo and the Faculty of Architecture, Design and Urbanism (FADU). Approval: May 2019. Primary objectives: to fully understand the building, analyze its state of conservation, establish guidelines for its recovery and generate mechanisms for its testimonial registration. Local advisors: Profs. Juan José Fontana (Structures), Jorge Gambini (Project), Mary Méndez (History), Fernando Tomeo (Construction), Carola Romay (Heritage and Testing Techniques). External advisors from the University of São Paulo, Brazil: María Lucía Bressan (History), Claudia de Andrade (Structures) and Beatriz Mugayar (History and Heritage).

## BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- ASOCIACIÓN ARGENTINA DE TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN (2012). *Durabilidad del hormigón estructural*. 2a edición. Buenos Aires: AATH
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (2005). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad* (UNE-EN 1504-2: 2005). Madrid: AENOR
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (2009). *Diagnóstico de edificios* (UNE 41805: 2009). Madrid: AENOR
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (2013). *Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1. Reglas generales y reglas para edificación* (UNE-EN 1992-1-1:2013). Madrid: AENOR
- BÁLZAMO, H. (2012). *Ese material llamado hormigón*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
- BOUICHOU, M.; MARIE VICTOIRE, E. (2009). *Le nettoyage des bétons anciens: guide des techniques et aide à la décision*. París: Cercle des partenaires du Patrimoine
- FONTANA, J.; GAMIBINI, J.; MENDEZ, M.; TOMELO, F. (2021). *Miradas múltiples. Estudio integral del Urnario Municipal. Convenio FADU-IM*. Textos de Tecnología, 03(2), 67-97. <https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/RTdT/article/view/571>
- MARIE VICTOIRE, E. (1996). *Les altérations visibles du béton: définitions et aide au diagnostic*. París: Cercle des partenaires du Patrimoine
- MENDEZ, M. (2013). *Umbral concreto. Sobre el Urnario de Montevideo*. X Seminario Docomomo Brasil, Arquitectura moderna e internacional: conexõesbrutalistas 1955-75, Curitiba
- NISIVOCCIA, E.; CRACIUN, M.; GAMBINI, J.; MEDERO, S.; MÉNDEZ, M.; NUDELMAN, J. (2014). *La aldea feliz. Episodios de la modernización en Uruguay*. Montevideo: Facultad de Arquitectura, Ministerio de Relaciones Exteriores y Ministerio de Educación y Cultura
- QUEIROLO, E. (1961). "La inclusión de moldes de madera en losas huecas de hormigón armado". *Revista de Ingeniería*, Asociación de ingenieros del Uruguay, año LV, n.º 637-38, 90-91

## AGRADECIMIENTOS

### ACKNOWLEDGMENTS:

Se agradece a la Intendencia de Montevideo por la financiación de las actividades realizadas / We thank the Municipality of Montevideo for financing the activities carried out.