

# La Iglesia de Cristo obrero de Eladio Dieste. Caracterización y evaluación de los morteros y cerámicos empleados

Stela Sabalsagaray<sup>1,a</sup>, Carola Romay<sup>2,b</sup>, Gianella Mussio<sup>2,c</sup> y Alina Aulet<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

<sup>2</sup> Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República, Uruguay

<sup>a</sup>sabalsa@fing.edu.uy, <sup>b</sup>cromay25@hotmail.com, <sup>c</sup>gianellamussio@gmail.com, <sup>d</sup>aaulet@fing.edu.uy

**Palabras clave:** Iglesia de Cristo Obrero, Ing. Dieste, cerámica armada, morteros y cerámicos, caracterización

## RESUMEN

Durante la segunda mitad del siglo XX el ladrillo cerámico empleado “a la vista” fue considerado un símbolo de la tradición constructiva local en el Uruguay, dando lugar a la reflexión acerca de sus cualidades estéticas y formales, tanto como técnico-constructivas, en base a las cuales muchos edificios de ladrillo visto del período alcanzaron valor patrimonial. Entre ellos se destacan los correspondientes a la obra del ingeniero Eladio Dieste, quien desarrollara el sistema de la cerámica armada para dar lugar a estructuras y envolventes en ladrillo visto, caracterizadas por su perfil ondulante, utilizando materias primas y piezas cerámicas elaboradas en fábricas nacionales.

En el presente artículo se exponen y analizan los avances en materia de caracterización mineralógica, física y mecánica de morteros y piezas cerámicas utilizadas en la Iglesia de Cristo Obrero, construida por Dieste en 1958 y hoy declarada Monumento Histórico Nacional. Estos avances se enmarcan en el trabajo de elaboración del Plan de Manejo y Sistema de Gestión para el edificio, financiado por la Fundación Getty a través de su programa Keeping It Modern, en el cual participan, entre otros actores, la Facultad de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de la República

Los resultados representan un aporte directo para la conservación del edificio en particular así como un antecedente relevante para el diagnóstico y conservación de otros edificios destacados del autor, cuya obra ha sido recientemente incluida en la lista indicativa de Unesco para su consideración como patrimonio de la humanidad.

## INTRODUCCIÓN

La iglesia de Cristo Obrero y Nuestra Señora de Lourdes, encargada por un grupo de obreros al ingeniero Eladio Dieste, fue construida por la empresa Dieste & Montañez entre los años 1958 y 1960 gracias a la donación de Alberto Giudice y contando además con la colaboración de los ingenieros R. Romero y M. Sasson. Se emplaza en Estación Atlántida, sobre ruta nacional N° 11, Departamento de Canelones, una localidad suburbana distante 50 km de la ciudad capital. Fue declarada Monumento Histórico Nacional en el año 1998.

El conjunto edilicio se compone de una gran nave central de planta rectangular y 528 m<sup>2</sup> donde se integran la zona del presbiterio y el altar y a la que se vinculan la sacristía y la antesacristía, así como los espacios de confesionarios. Esta nave permite el acceso al coro, entrepiso elevado, que recostado contra el muro calado de la fachada principal se vuelca a través de la baranda calada al espacio central. Del mismo modo la nave se vincula internamente con el Baptisterio ubicado en el subsuelo, al cual se accede también desde el exterior gracias a la escalera que emerge como cuerpo exento al frente del edificio y en forma independiente a la nave. Complementa el conjunto el campanario, una estructura independiente, en forma cilíndrica de 3 metros de diámetro y 15 metros de altura. Aunque planimétricamente el conjunto aparenta regirse por una composición geométrica simple, la forma ondulada de las paredes laterales de la nave y de la propia cubierta, sumados a los volúmenes exentos del campanario y el acceso al Baptisterio, le confieren un grado de complejidad y riqueza formal singular, característico, podría decirse, de las obras de Eladio Dieste (Fig. 1).



Figura 1: Vista de la iglesia desde el acceso principal

Todo el conjunto está construido empleando básicamente mampuestos cerámicos (ladrillos, ticholos y tejuelas), morteros de cemento portland y barras de acero, dispuestos de acuerdo a un modelo estructural único, desarrollado y calculado por Dieste, quien supervisó además el avance de las obras que fueron ejecutadas por operarios formados por el propio ingeniero.

El comportamiento estructural del edificio obedece sintéticamente al equilibrio de una cáscara de doble curvatura que involucra tanto la cubierta como las paredes laterales onduladas. En la cubierta, la cáscara adopta la forma de bóveda gausa con una luz media de 16,0 metros y una flecha proyectada para variar entre 7 y 147 cm, la cual es recibida por una viga de borde en forma ondulada, construida en ladrillo y hormigón, que remata el extremo superior de las paredes. Esta viga ondulada constituye una de las directrices de las paredes que definen una sucesión de conoides al acompañar la directriz recta dispuesta a

nivel de piso. Los esfuerzos horizontales de las bóvedas son absorbidos a través de tensores alojados en el espesor de la cubierta y ubicados en cada uno de los valles (zonas bajas). En palabras del propio Dieste, esta solución de conjunto entre paredes y bóvedas "es de gran rigidez transversal, ya que forman una suerte de pórtico superficial de dos articulaciones".

El empleo de los materiales sin embargo, debe ser analizado más allá de los aspectos meramente estructurales, dado que su disposición es determinante para definir el sistema de iluminación natural, tanto como las terminaciones superficiales de los diferentes cerramientos, entre otros aspectos, colaborando así en la caracterización singular del espacio interior (Fig. 2). En este sentido podríamos destacar por ejemplo, la disposición inclinada de los esbeltos tabiques de ladrillo armado en el nivel superior de la fachada de acceso que permite el ingreso de luz rasante por sobre el nivel del coro y el dentado del paramento interior de la fachada posterior, que genera una textura en escamas, barrido por la luz difusa que ingresa por la abertura horizontal de la fachada sur a nivel de la cubierta interna de la sacristía y recibe, en palabras de Dieste, en forma "serena" y llameante", la gran silueta en sombra del importante Cristo en madera, emplazado en el altar, obra del artista Eduardo Yepes.



Figura 2: Espacio interior de la nave principal, detalles de la disposición variada de los ladrillos

En el año 2016, en el marco de un interés creciente por la obra de Dieste que ha derivado en su integración en la lista indicativa de Unesco para su consideración como patrimonio de la humanidad, se iniciaron algunas acciones tendientes a la puesta en valor de este edificio, entre las cuales figura su postulación al programa Keeping It Modern de la Fundación Getty. Dicha postulación incluía el desarrollo de un Plan de Manejo y conservación del bien, que abarcaba entre otros aspectos, el desarrollo de estudios previos para la determinación de su estado de conservación. Intervino en la formulación de esta propuesta un amplio equipo técnico integrado por actores de la Comisión de Patrimonio Cultural de la Nación, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Arquitectura y el Centro Regional Este de la Universidad de la República, la Intendencia de Canelones y la empresa Dieste & Montañez, bajo la coordinación general del Dr. Ciro Caraballo, consultor de Unesco en materia de conservación del patrimonio en la región.

Seleccionada la propuesta para su ejecución por la Fundación Getty, la misma comenzó a desarrollarse en julio de 2016 y durante el mes de octubre de dicho año fueron llevados a cabo los estudios in situ y la extracción de muestras para su estudio en laboratorio, a partir de los cuales se determinaron las características de los materiales de construcción empleados en la materialización del edificio. Estos análisis estuvieron a cargo de los grupos técnicos de Facultad de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de la República, contando con el apoyo de expertos internacionales integrados al proyecto. Los mismos han permitido avanzar en la definición de las medidas de restauración preventiva y curativa que deberán ser implementadas para salvaguardar los valores patrimoniales del bien. En los apartados siguientes se detallan en particular los avances alcanzados en la caracterización de dos tipos de mampuestos y de los morteros de junta, a través de la ejecución de diferentes ensayos y de acuerdo a normas técnicas específicas.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales estudiados incluyeron ladrillos y tejuelas, así como morteros de junta en base a cemento portland. Los mismos integran diferentes sistemas constructivos y responden a la descripción que se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 3.

Tabla 1: Materiales estudiados, características generales

| Material  | Sistemas constructivos en que fue detectado según relevamiento in situ                                   |
|---|--|
| Ladrillo de prensa, prismático, macizo          | Fachadas, Muros portantes, tabiques, barandas, entrepisos, hornacina, escaleras                          |
| Tejuela "liviana" de prensa, prismática, maciza | Cubierta (Terminación superficial exterior)  |
| Mortero de cemento portland                     | En juntas de fachadas, muros portantes, cubiertas, tabiques, barandas, entrepisos, hornacina y escaleras |



Figura 3: Materiales estudiados, ladrillo de prensa, tejuela liviana, mortero de junta

### Características de composición mineralógica

La caracterización mineralógica fue llevada adelante aplicando dos técnicas diferentes, la Difracción por Rayos X (DRX) y la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con sonda de dispersión acoplada.

La primera de ellas, Difracción de Rayos X es una de las técnicas utilizadas para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases sólidas cristalinas, tanto orgánicas como inorgánicas que se puede aplicar en muestras de polvo, capas finas o cristales, de gran cantidad de materiales como minerales, rocas, sedimentos, metales, aleaciones, plásticos, materiales de construcción, productos químicos, entre otros. El instrumento para la medida del difractograma de Rayos X es el difractómetro de polvo (Fig. 4). Consiste en una fuente productora de rayos X, un porta-muestras montado sobre un goniómetro giratorio, donde se

coloca la muestra a analizar en polvo y un detector. La figura de difracción se obtiene en un barrido automático (ángulo con que inciden los RX sobre los planos cristalinos de la muestra), entre la muestra y el detector. En este trabajo las muestras fueron barridas variando el ángulo de  $0^\circ$  a  $2\theta$ , y se obtuvieron las composiciones químicas de las muestras estudiadas.

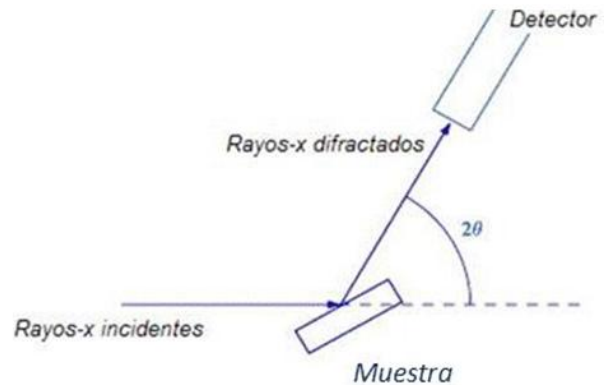
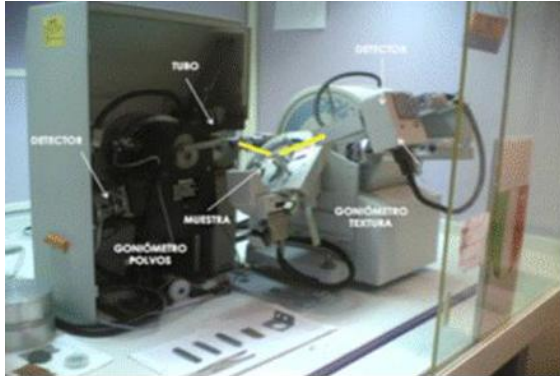


Figura 4: Equipamiento de Difracción de Rayos X, detalle del barrido automático.

La Microscopía Electrónica de Barrido por su parte permite la caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos. Consiste en hacer incidir un haz de electrones que "barre" la muestra. Cuando esto ocurre, se generan, a partir de la colisión, distintos tipos de señal cuya detección permite examinar distintas características, pudiéndose realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de diversos materiales, además del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas para conocer la composición de elementos de la muestra. En este trabajo se obtuvo información morfológica de las muestras analizadas, en combinación con microanálisis por sonda EDS (Fig. 5).

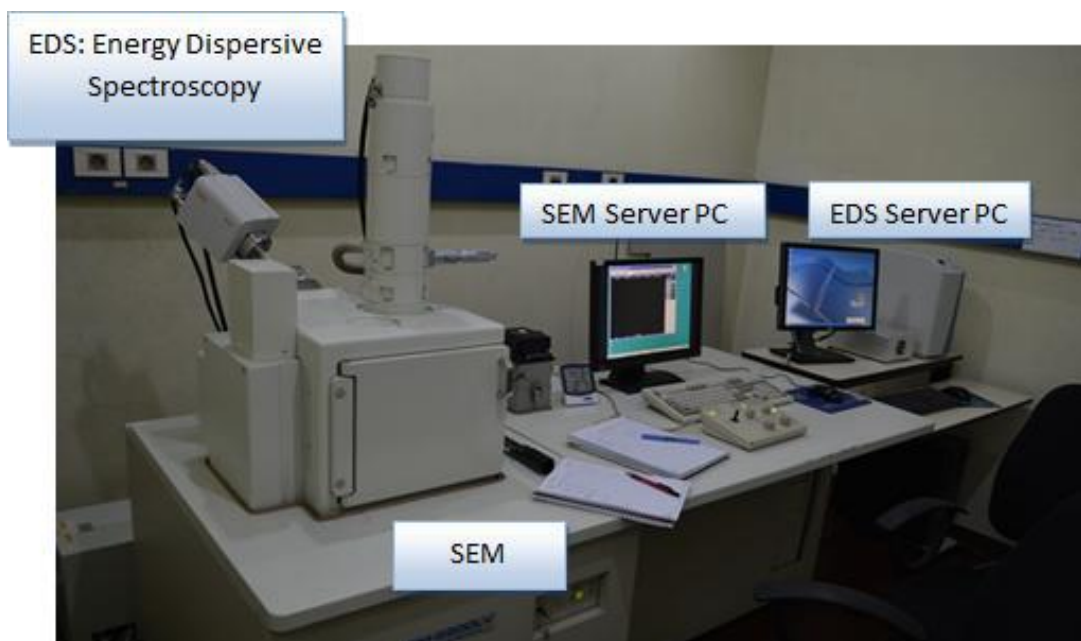


Figura 5: Equipamiento de Microscopías Electrónica de Barrido utilizado.

En las Tablas 2 y 3 se detallan los elementos químicos, la morfología y los compuestos químicos presentes en las muestras analizadas, a partir de la aplicación de las técnicas descritas.

Tabla 2: Caracterización mineralógica de ladrillos y tejas

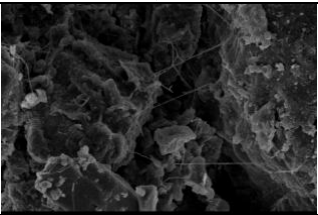
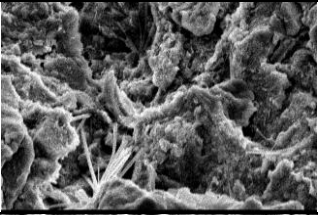
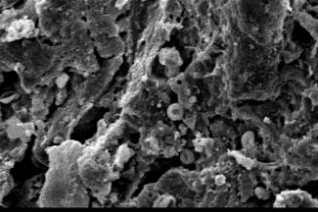
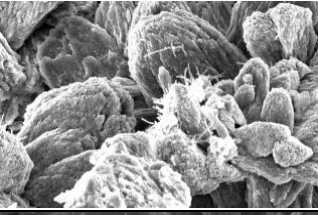
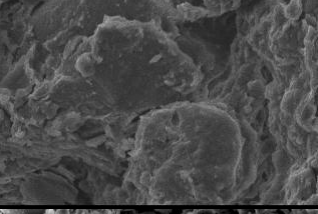
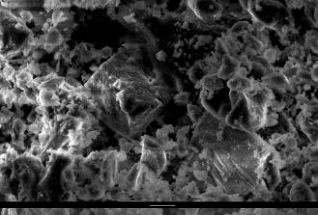
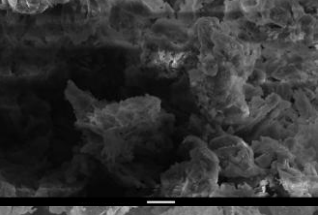
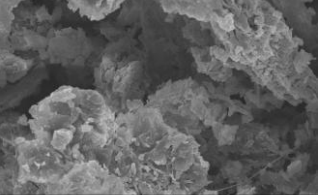
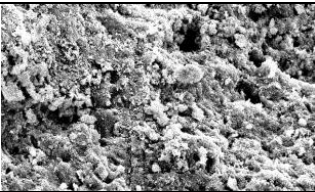
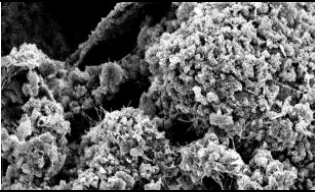
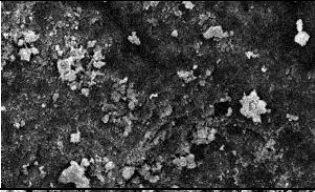
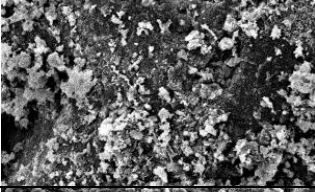
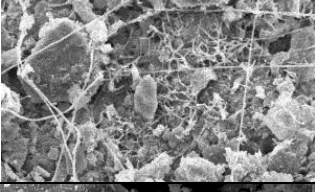
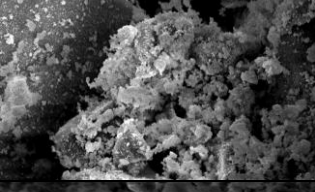
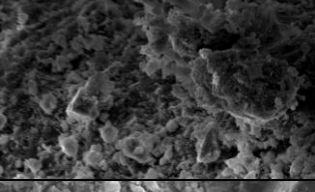
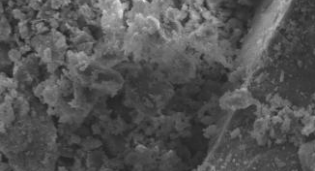
| Muestra                   | Ubicación                              | Elementos (EDS)                | MEB (Morfología) 10µm  | Compuestos (RX)   |
|---------------------------|--|--------------------------------|--|---|
| L1<br>Ladrillo pared      | Campanario                             | Ca/Si/K/Al/Mg/<br>Na/O/C/N/Fe  |    | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$   |
| L2<br>Ladrillo escalón    | Campanario                             | Ca/Si/K/Al/Mg/<br>O/C/Fe       |    | $\text{Si O}_2$<br>$(\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.02})(\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8)$ |
| L3<br>Ladrillo exterior   | Hornacina Sur exterior<br>Fachada Este | Ca/Si/K/Al/Na/<br>O            |    | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Ca}_{0.88}\text{K}_{0.12}\text{Al}_{1.77}\text{Si}_{2.23}\text{O}_8$      |
| L4<br>Ladrillo Cielo Raso | Baptisterio                            | Ca/Si/K/Al/Mg/<br>Na/O/C/Fe    |   | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Ca}_{0.88}\text{K}_{0.12}\text{Al}_{1.77}\text{Si}_{2.23}\text{O}_8$      |
| L5<br>Ladrillo exterior   | Fachada Oeste exterior                 | Ca/Si/K/Al/Mg/<br>Na/O/C/Fe/Ti |  | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Ca}_{0.88}\text{K}_{0.12}\text{Al}_{1.77}\text{Si}_{2.23}\text{O}_8$      |
| L6<br>Ladrillo            | Sacristía                              | Na/Mg/Al/Si/Fe                 |  | $\text{Si O}_2$<br>$(\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.02})(\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8)$ |
| T1<br>Tejuela             | Cubierta                               | Na/Mg/Al/Si/K/<br>Ca/Fe/Ti     |  | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Al}_{4.64}\text{Si}_{1.36}\text{O}_{9.68}$                                |
| T2<br>Tejuela             | Cubierta                               | Mg/Al/Si/K/Ca/<br>Fe/Ti/Cu     |  | $\text{Si O}_2$<br>$\text{Al}_{4.64}\text{Si}_{1.36}\text{O}_{9.68}$                                |

Tabla 3: Caracterización mineralógica de morteros

| Muestra | Ubicación                     | Elementos (EDS)            | MEB (Morfología) 10µm  | Compuestos (RX)   |
|---------|-------------------------------|----------------------------|--|---|
| M3      | Fachada Oeste exterior        | Ca/Si/K/Al/Mg/Na/O/C/Fe    |    | Ca(CO <sub>3</sub> )<br>Si O <sub>2</sub><br>Na(Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) |
| M4      | Cielorraso Baptisterio gris   | Ca/Si/K/Al/Mg/Na/O/C/Fe    |    | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )   |
| M5      | Cielorraso Baptisterio blanco | Ca/Si/K/Al/Na/O/C/Fe       |    | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )   |
| M6      | Hornacina Sur exterior        | Ca/Si/K/Al/Mg/Na/O/C/Fe/Mn |   | Ca(CO <sub>3</sub> )<br>Si O <sub>2</sub>   |
| M7      | Escalón Campanario            | Ca/Si/K/Al/Mg/O/C/Fe       |  | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )<br>MgSiO <sub>3</sub>                     |
| M8      | Pared Campanario              | Ca/Si/K/Al/Mg/Na/O/C/Fe/Ti |  | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )<br>Ca <sub>3</sub> SiBr                   |
| M9      | Muro Oeste exterior           | Mg/Al/Si/K/Ca/Fe/Cu        |  | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )<br>Ba <sub>2</sub> ZnSi <sub>2</sub>      |
| M11     | Cubierta interior             | C/Na/Mg/Al/Si/S/K/Ca/Cr/Fe |  | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )   |
| M12     | Cubierta interior             | C/Na/Mg/Al/Si/K/Ca/Cr/Fe   |  | Si O <sub>2</sub><br>Ca(CO <sub>3</sub> )   |

## Características físico – mecánicas, materiales y métodos

Los ladrillos y tejas obtenidas de la Iglesia fueron evaluadas en relación a las siguientes propiedades y de acuerdo a las normas citadas: características geométricas (UNE EN 772-16) [1], densidad (IRAM 12593) [2], tasa inicial de absorción (UNE EN 772-11) [3], absorción total, (UNE 67027) [4], resistencia a la penetración (ASTM C 803) [5], dureza superficial (ASTM C 805) [6], permeabilidad (NCh 2256 - Rilem 11.4) [7] [8] y resistencia a compresión (UNE-EN 772-1) [9]. Por su parte los morteros de junta fueron evaluados en relación a la resistencia a la penetración y dureza superficial, según las normas antes mencionadas.

Algunos de estos ensayos tienen la ventaja de presentar un carácter no destructivo, que para el caso en estudio resulta relevante por cuanto se trata de un bien declarado patrimonial. La ubicación concreta de los ensayos, así como la extracción de muestras estuvieron determinadas especialmente por la accesibilidad y por la disponibilidad de andamios para el trabajo en altura. Se consideró además la posibilidad de comparar sectores que presentaban síntomas patológicos que podían incidir en su desempeño y zonas no afectadas de acuerdo a la inspección ocular primaria llevada a cabo.

El caso particular de la resistencia a penetración fue evaluada aplicando el equipo Windsor Pin, que consiste en un dispositivo mecánico que utiliza un resorte para introducir un clavo de acero en el material. Este clavo provoca la formación de una cavidad, cuya profundidad una vez determinada es interpretada como la resistencia a la penetración del material. Para este estudio fue aplicado en paramentos interiores, evaluando ladrillos que no presentaban afectaciones aparentes y otros que mostraban síntomas de erosión superficial.

En el caso de dureza superficial se empleó un esclerómetro tipo L, de baja energía recomendado para evaluar la dureza superficial de los materiales propios de la mampostería. Este análisis fue ejecutado en los paramentos interiores y exteriores de las fachadas laterales de la nave, así como en el paramento interior del Baptisterio y en el paramento exterior del Campanario, a diferentes alturas.

Del mismo modo, el ensayo de permeabilidad fue realizado empleando los tubos karsten que permiten evaluar la absorbencia de los materiales de construcción cuando se ven sometidos a la presión ejercida por una columna de agua. Esta situación permite simular condiciones de lluvia con viento a las que se ven generalmente solicitadas las fachadas. Los tubos definen un área de contacto con el mampuesto equivalente a  $4,9 \text{ cm}^2$  y son ajustados a la superficie utilizando un adhesivo elástico que sella herméticamente el perímetro de contacto entre el material y el tubo. La evaluación en este caso correspondió a tres franjas verticales del muro Este, a alturas diferentes y por el interior, dado que no fue posible instalar los tubos en condiciones de seguridad, por el exterior de las fachadas.

La Figura 6 y la Tabla 4 muestran la ejecución de algunos ensayos y consignan los resultados obtenidos



Figura 6: Ensayos in situ: Resistencia a penetración, Dureza superficial y Permeabilidad.

Tabla 4: Resultados de la caracterización físico mecánica

| Propiedad  | Estudio en laboratorio                |  | Propiedad                                     | Estudio in situ   |  |
|--|---------------------------------------|--|---|---|--|
|  | Ladrillo                              | Tej. liviana                           |   | Ladrillo  | Mortero  |
| Caract. geométricas (cm)                         | Long: 24,7<br>Ancho: 12,2<br>Alto:5,3 | Long.: 23,1<br>Ancho: 11,7<br>Alto:2,2 | Resist. a penet. (prof. en pulgadas)          | Fach. param int.<br><b>0,14</b> (s/ afectación)<br><b>0,19</b> (c/afectación)<br>En Baptisterio:<br><b>0,18</b> (s/ afectación)<br><b>0,21</b> (c/afectación) | <b>0,2</b><br>Fachada Oeste:<br>paramento exterior             |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )                    | <b>1,69</b>                           | <b>1,18</b>                            | Dureza superficial (valor promedio N° rebote) | <b>40</b><br>F. Oeste ext:<br>(1,2m s/NPT)  | <b>26</b><br>F. Oeste ext:<br>(1,2m s/NPT)                     |
| Tasa inicial de absorc. (kg/m <sup>2</sup> .min) | <b>3,47</b>                           | <b>0,93</b>                            |   | <b>41</b><br>F.Oeste int:<br>(1,2m s/NPT)   | <b>26</b><br>F. Oeste int:<br>(1,2m s/NPT)                     |
| Absorción (%)                                    | <b>14,50</b>                          | <b>32,75</b>                           |   | <b>37</b><br>F. Este ext<br>(a media altura y remate de muro)   | <b>21</b><br>F. Este ext:<br>(a media altura y remate de muro) |
| Resist. a comp. (MPa)                            | <b>17,0</b>                           | Sin determinar                         |   | <b>40</b><br>Muro Este Bapt.  | <b>25</b><br>Campanario  |
|  |                                       |  |   | <b>21</b><br>Muro Curvo Bapt.<br>1,0m altura  | Sin determinar   |
|  |                                       |  | <b>33</b><br>Campanario                       | Sin determinar  |  |
|  |                                       |  | Permeabilidad (ml/min) a 60 min               | F. Oeste:<br>0,4m: 0,28-0,37-0,98<br>1,5m: 0,74-0,70-0,48<br>2,7m: 1,16-1,02<br>F. Este:1,5m: 0,85  | Sin determinar   |

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos pueden ser analizados tanto en su carácter cualitativo, lo que permite comparar diferentes situaciones dentro del mismo edificio, así como ser contrastados cuantitativamente contra valores de referencia vinculados a mampuestos analizados previamente en los laboratorios de la Universidad. Se plantean a continuación algunas observaciones en ambos sentidos, tomando como elemento de referencia para la evaluación cuantitativa los resultados obtenidos del ensayo de ladrillos plateados, de fabricación artesanal, que constituyen actualmente los ladrillos de mejor calidad que pueden ser adquiridos en plaza en Montevideo y bibliografía específica sobre el tema [10] [11] [12] [13].

En base a estas consideraciones y en relación a las diferentes propiedades analizadas puede inferirse de los resultados obtenidos en ladrillos y tejas que:

- la composición mineralógica de los ladrillos y tejas, obtenida a través de las técnicas de DRX y MEB, muestra la presencia de silicatos, que son minerales que contienen los derivados de óxido de aluminio y sílice, y que conforman la materia prima de los cerámicos. Específicamente en los ladrillos se detectó la presencia del mineral denominado "albita": aluminosilicato de sodio (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). También la presencia de "anortita":

aluminosilicato de calcio ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), correspondiente a rocas metamórficas procedentes de calizas.

- en el caso de las tejas se observó, además del dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), la presencia del compuesto llamado "mullita", que corresponde a composiciones que contienen  $\text{AlSiO}$ , y que normalmente presentan diferentes coloraciones, entre ellas amarillo y rojo. Las muestras de tejas analizadas contenían poca presencia de calcio, en comparación con el resto de elementos presentes.

- en cuanto a la morfología que se obtuvo de MEB, los resultados permiten observar las diferencias con los morteros como se menciona más adelante. En el caso de ladrillos esta morfología se aprecia más laminar, aunque irregular, propia de los silicatos de aluminio.

- los ladrillos de la iglesia presentan una mayor densidad, una considerable menor absorción de agua y una succión por capilaridad ligeramente menor a los ladrillos de referencia.

- la dureza superficial en ladrillos de las fachadas de la iglesia muestra una gran homogeneidad con ligeras diferencias entre la fachada oeste y este en sus paramentos exteriores. En el Campanario se observa una pequeña reducción en relación a los ladrillos de la iglesia, mientras que en el muro curvo del Baptisterio, en sectores particulares, esta reducción es más importante. En general, los valores son francamente superiores (en el orden del 45%) a los obtenidos en los ladrillos de referencia.

- la resistencia a compresión, resulta superior en más de un 65% a la resistencia de los ladrillos de referencia.

- la resistencia a penetración de los ladrillos de la iglesia es francamente superior a los valores obtenidos en ladrillos de referencia. Se advierte que los ladrillos afectados por la erosión superficial ofrecen una menor resistencia a la penetración.

- la permeabilidad medida por tubos karsten muestra variaciones importantes de acuerdo al emplazamiento de los tubos, sin permitir una correlación directa con la altura de las determinaciones. En todos los casos la permeabilidad determinada in situ ha sido inferior a la hallada para los ladrillos de referencia, evaluada en condiciones de laboratorio.

- la densidad de las tejas es significativamente menor a la de los ladrillos, indicando que cumplen con el requisito de aligerar el peso total de la cubierta aunque su absorción es elevada (supera en un 40% los valores obtenidos para los ladrillos de referencia).

Del mismo modo para los morteros de junta analizados se puede inferir que:

- desde el punto de vista de la composición mineralógica puede realizarse una distinción entre los correspondientes a las fachadas interiores y exteriores. Los morteros que se pudieron analizar, a través de DRX, ubicados en lugares interiores de la Iglesia: M4, M5, M11 y M12 (cielo raso del baptisterio y cubierta interior), mostraron de manera predominante, la presencia de los compuestos característicos de las calizas: carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y de los áridos: dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

- a través de los ensayos de MEB también se observa la presencia de los elementos que conforman los diferentes óxidos componentes del cemento: magnesio, potasio, aluminio, hierro, sodio, entre otros. En el caso de la muestra M11, correspondiente a una zona del interior reparada, se observó la presencia de azufre, no así en el resto de las muestras analizadas. La morfología de este tipo de mortero analizado, se corresponde con los conocidos "racimos" que representa la presencia de carbonato de calcio.

- en el caso de los morteros del exterior, situados en el campanario, así como fachadas exteriores: M3, M6, M7, M8, M9, además de la presencia de los compuestos mencionados anteriormente, fueron identificados según DRX otros como silicatos de bario-zinc, y bromuro de sílice tricálcico, aluminosilicatos de sodio (albita) y silicatos de magnesio, en mayor proporción que en los morteros interiores.

- los valores de resistencia a la penetración resultan similares a los de los ladrillos, mientras que la dureza superficial muestra gran homogeneidad con ligeras diferencias a la baja para el caso de la fachada este, evaluada en las proximidades de la cubierta.

## **CONCLUSIONES: APORTES PARA LA CONSERVACIÓN DEL BIEN**

Los avances alcanzados a través de la ejecución del proyecto en el que se enmarcan los resultados presentados, han permitido en primer lugar, conocer el desempeño de los materiales básicos y originales en que se sustenta la obra, en condiciones de servicio, en el entendido de que no se han practicado, salvo en localizaciones puntuales, acciones de mantenimiento y reparación desde su construcción. Este conocimiento implica disponer de valores de referencia que pueden ser considerados para el estudio de otras obras del ingeniero Dieste, en las cuales, aunque se trate de edificios de las más variadas funciones, rigen principios estructurales y compositivos equivalentes, en base al empleo de materiales de similares características (del mismo proveedor o de idéntica formulación).

En segundo lugar, los resultados han posibilitado realizar análisis comparativos de carácter cualitativo, entre los diferentes sectores abordados del edificio, contribuyendo de este modo a la formulación de un diagnóstico ajustado del estado de conservación del mismo, punto de partida para cualquier iniciativa futura de intervención y de conservación preventiva, que su carácter actual de Monumento Histórico Nacional y candidata a integrar el Patrimonio de la humanidad, justifican ampliamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras desean agradecer a la Fundación Getty que financió los estudios realizados en el marco del premio otorgado a través del programa Keeping it Modern, al equipo docente que participó en forma interdisciplinar en la redacción del Plan de Manejo y conservación de la iglesia de Cristo Obrero de Atlántida y a la empresa Dieste y Montañez.

## **REFERENCIAS**

[1] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2001) "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones". UNE-EN 772-16.

[2] Instituto argentino de normalización y certificación (IRAM) (2004). "Ladrillos y bloques cerámicos para muros y tabiques. Método de ensayo de la densidad, del volumen total y del volumen macizo".

[3] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2001). "Piezas para fábrica de albañilería. Parte 11. Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería y de la tasa inicial de agua". UNE-EN 772-11.

[4] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (1984). "Ladrillo de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua". UNE 67027.

- [5] ASTM. (2017). Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. ASTM C803
- [6] ASTM. (2013). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM C805
- [7] Instituto Nacional de Normalización de Chile. (2013). "Morteros- Parte 1 Requisitos generales". NCh 2256/1.
- [8] Reunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions.(1987). "Measurement of water absorption under low pressure". RILEM test method 11.4.
- [9] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2011). "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión". UNE–EN 772-1.
- [10] Morquio A. et al (2016). "Evaluación y control de estructuras del patrimonio arquitectónico nacional en mampostería cerámica aplicando técnicas no destructivas". Ed. Udelar, Montevideo ISSN/ISBN: 9789974013735.
- [11] Morquio A. et al (2015). Evaluación de la utilidad de diferentes técnicas no destructivas con el objetivo de determinar el contenido de humedad en materiales tradicionales del patrimonio arquitectónico del Uruguay. En anales del 11° Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR 2015.Porto Alegre.
- [12] Fernandes et al. (2010). Materials, Technologies and Practice in Historic Heritages Structures. Chapter 3: Ancient Clay Bricks: Manufacture and properties. Eds. Bostenaru Dan, Poikryl, Torok, Springer.
- [13] American Concrete Institute (ACI) (2007) "Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures," Report ACI 228.2R.