

## Diagnóstico de daños en una edificación de principios del siglo XX en La Habana. Caso de estudio

A. H. Oroza<sup>1\*</sup> , R. G. Hernández<sup>1</sup>

\*Autor de Contacto: [ahernandez@proyectos.ohc.cu](mailto:ahernandez@proyectos.ohc.cu)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.327>

Recepción: 04/07/2018 | Aceptación: 22/05/2019 | Publicación: 30/08/2019

### RESUMEN

El objetivo del trabajo es hacer un diagnóstico del deterioro de una edificación de hormigón armado ubicada en La Habana Vieja, Cuba, construida en el año 1906. Debido a los años de explotación y falta de mantenimiento, el inmueble presenta desprendimientos de hormigón y grietas en casi todos los elementos estructurales. Para evaluar la vida de servicio se realizaron estudios de resistividad aparente del hormigón, ensayos químicos para cuantificar los niveles de cloruro libre y sulfato, ensayos de potenciales, pérdidas de sección de las barras, extracciones de probetas de hormigón y análisis visual de las lesiones presentes. Los resultados obtenidos demostraron que, aunque el inmueble presenta un avanzado deterioro, este puede ser rehabilitado siendo posible extender su tiempo de vida de servicio.

**Palabras clave:** diagnóstico, corrosión, resistividad, vida de servicio, durabilidad.

**Citar como:** Oroza, A. H., Hernández, R. G. (2019), “*Diagnóstico de daños en una edificación de principios del siglo XX en La Habana. Caso de estudio*”, Revista ALCONPAT, 9 (3), pp. 336 – 349, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.327>

<sup>1</sup> Departamento de Diagnóstico y Levantamiento. UEB Restaura. Empresa de Restauración del Patrimonio. Oficina del Historiador. La Habana. Cuba.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2020.

## **Diagnostic of damage in a building of the early twentieth century in Havana. Case study**

### **ABSTRACT**

The objective of this work is to diagnostic the existing deterioration in a reinforced concrete building located in Old Havana, Cuba, built in 1906. Due to the years of exploitation and lack of maintenance, the property began to show detachment of concrete and cracks in almost all structural elements. To evaluate the service life, electrical resistivity studies of the concrete were carried out, chemical tests to quantify the levels of free chloride and sulphate, corrosion potential tests, section losses of the reinforcement bars, extractions of concrete specimens and visual analysis of the present damages. The results obtained showed that although the building presents an advanced deterioration, it can be rehabilitated, and it is possible to extend its service lifetime.

**Keywords:** diagnostic, corrosion, resistivity, service life, durability.

## **Diagnóstico de danos em um edifício do início do século XX em Havana. Caso de estudo**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é diagnosticar a deterioração atual em um edifício de concreto armado localizado em Havana Velha, Cuba, construído em 1906. Devido aos anos de exploração e falta de manutenção, a propriedade começou a apresentar deslizamentos de concreto e rachaduras em quase todos os elementos estruturais. Para avaliar a vida útil, estudos de resistividade elétrica do concreto foram realizados, testes químicos para quantificar os níveis de cloreto e sulfato livres, ensaios potenciais, perdas de seção das barras de reforço, extrações de amostras de concreto e análise visual dos ferimentos presentes. Os resultados obtidos mostraram que, embora a propriedade apresente uma deterioração avançada, ela pode ser reabilitada e é possível estender sua vida útil.

**Palavras-chave:** diagnóstico, corrosão, resistividade, vida útil, durabilidade

## **1. INTRODUCCIÓN**

A partir del empleo del hormigón armado en el siglo XIX en la esfera de la construcción este material ha demostrado un gran desempeño y durabilidad, aún expuesto a diferentes niveles de agresividad corrosiva atmosférica (Castañeda et al., 2018; Howland, 2012; Vera et al., 2009). En Cuba se instala por primera vez una planta de hormigón en junio de 1895, convirtiendo a La Habana en la primera ciudad de Iberoamérica en fabricar hormigón de cemento Portland (Toraya, 2001). A pesar de este avance tecnológico nacional, muchas de las edificaciones erigidas con hormigón armado mostraban pobre desempeño y la necesidad de recurrentes acciones de reparación. Esto se debió en gran medida al desconocimiento existente acerca del efecto negativo del empleo de arena de mar sin lavar en la preparación de la mezcla de hormigón, planificación urbanística ineficiente, cambios de uso, modernizaciones y estimaciones erróneas de los efectos ambientales. Como consecuencia, muchas edificaciones alcanzaban el tiempo de vida de servicio o la vida útil última (Castro-Borges and Helene, 2007; Howland, 2012) en los primeros 50 años de explotación. Los daños provocados por la corrosión de los aceros de refuerzo debido al ingreso de cloruros, sulfatos o por carbonatación del hormigón han sido profundamente estudiados por diversos investigadores en diferentes regiones del mundo (Andrade and Dal Molin, 2000; Castañeda et al., 2012; Chávez et al., 2013; Helene and Castro-Borges, 2009), en donde se ha demostrado la pérdida significativa de la capacidad portante del elemento estructural afectado.

Una vez que comienzan los desprendimientos de material, debido a las tensiones por corrosión de las barras de refuerzo y la pérdida de adherencia, aparecen también los riesgos a la vida de los explotadores del inmueble, y se elevan drásticamente los costos de reparación y mantenimiento (Castañeda and Rodriguez, 2014). La profundización en el conocimiento de estos aspectos es la clave para el diseño y la ejecución de estructuras durables, así como para la rehabilitación racional de las mismas (Costa and Appleton, 2002).

El presente trabajo tiene como objetivo discutir los resultados obtenidos del diagnóstico realizado a una edificación de hormigón armado erigida entre el año 1900 y 1906 para la firma Casteleiro y Vizoso (Figura 1). De estilo ecléctico y siete niveles de altura, la misma se proyectó para que todos los niveles contaran con puntales de 4 m de alto, excepto para la planta baja con 6.3 m. El inmueble se erigió sobre una estructura de acero, recubierto en hormigón hidráulico con cimentaciones y cubierta de hormigón armado. Las cimentaciones consistieron en balsas de sustentación calculadas para soportar una carga promedio de 3 Kg/cm<sup>2</sup>. El hormigón preparado para conformar todos los entresijos y escaleras se dosificó en proporción de 1 volumen de cemento, 3 de arena y 5 de grava. El cálculo de la carga accidental de los pisos se estimó para 366 Kg/m<sup>2</sup> y a la estructura metálica se le aplicó un factor de seguridad de 4.

El inmueble se encuentra ubicado a dos kilómetros de la bahía de La Habana y a menos de 50 m de la avenida del Puerto, en un entorno urbano-costero. Desde su construcción y hasta la actualidad ha tenido diferentes usos, siendo el primero un edificio comercial para las negociaciones de la firma. Posterior a 1960 pasó a ser oficina de correos, después escuela y finalmente desde hace dos décadas, inmobiliaria para el alquiler de apartamentos a inversionistas extranjeros. Para satisfacer las necesidades de los tiempos modernos, se actualizó el sistema hidráulico mediante la instalación de una línea de agua caliente en cada apartamento, en las zonas destinadas a cocina y baño.



Figura 1. Inmueble estudiado

## 2. PROCEDIMIENTO

### 2.1 Metodología de investigación

Para la selección de los ensayos de diagnóstico a emplear, se aplicó una metodología de investigación basada en dos etapas (Geocisa, 2002). La primera tiene como objetivo realizar un levantamiento fotográfico detallado de cada una de las lesiones visibles, y la segunda de tipo experimental, fundamentada en el análisis de los resultados organolépticos obtenidos y conclusiones alcanzadas en la primera etapa (Oroza and Bouza, 2015).

La evaluación de la corrosión se realizó acorde al procedimiento estándar descrito por (NACE SP0390, 2009) el cual plantea como objetivos fundamentales, la definición de la naturaleza del ambiente en el que se encuentra ubicada la estructura, la inspección de las condiciones físicas, el establecimiento de la extensión, la naturaleza de la corrosión y los datos históricos de la estructura presente.

## 2.2 Medición del potencial de corrosión ( $E_{corr}$ )

El método de evaluación de la corrosión mediante el potencial de media celda es una técnica que permite medir la posible actividad corrosiva a partir del valor  $E_{corr}$  obtenido, sin embargo no ofrece información acerca de la cinética del proceso ni de la  $i_{corr}$  resultante (Yu et al., 2017). Cuando  $E_{corr} < 350$  mV vs. CSE, indica que existe una probabilidad superior al 90% de que exista corrosión de las barras de refuerzo. De manera contraria, si la  $E_{corr} > -250$  mV vs. CSE, la probabilidad es menor del 10% (ASTM C876, 2009). El equipo empleado para las mediciones fue Proceq Canin<sup>+</sup>. Para la aplicación del mapa de potencial en las losas se establecieron áreas de trabajo de 2x2 m y la malla fijada (grid) fue de 50x50 cm.

## 2.3 Medición de resistividad aparente ( $\rho$ ) del hormigón

Para estimar el riesgo de corrosión que presentan los aceros de refuerzo, se empleó el equipo Proceq Resipod el cual funciona basado en el método de Wenner (Gowers and Millard, 1999). Esta técnica consiste en evaluar el riesgo de corrosión que presentan las barras de refuerzo en función del nivel de saturación de los poros del hormigón. Está muy relacionado con la calidad del hormigón (microestructura, relación agua/cemento, porosidad, curado, resistencia a compresión), y por tanto de su durabilidad (Andrade and D'Andrea, 2011; Azarsa and Gupta, 2017; D'Andréa and Andrade, 2009; Sanchez et al., 2017). El equipo funciona aplicando una corriente sobre la superficie del material a través de las dos sondas exteriores, midiendo el potencial resultante entre las interiores. El contenido de humedad (agua o vapor) presente en los poros del hormigón es capaz de transportar la corriente entre las sondas, lo cual hace posible obtener la resistividad del material, así como calcular la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ). La preparación de la superficie y las mediciones se ejecutaron acorde a las indicaciones del fabricante. Para evitar interferencias en la lectura debido al efecto de las barras (Presuel Moreno et al., 2009), se localizaron e identificaron las mismas mediante pacómetro Proceq Profoscope. Para la evaluación de la  $i_{corr}$ , se aplicó la ecuación propuesta por RILEM (Andrade and Alonso, 2004) donde:

$$I_{corr} = \frac{3 \times 10^4}{\rho} \quad (1)$$

## 2.4 Extracción de testigos

Para conocer la resistencia a compresión ( $R_c$ ) del hormigón de las losas, se extrajeron testigos en todos los niveles. Se utilizó para la extracción el equipo Hilti DD-160E y como prensa una Controls Automax 5 de 2000 KN. Se extrajeron 5 testigos por nivel para un total de 35.

## 2.5 Ensayos químicos de cloruro y sulfato

Se extrajeron 8 muestras en las losas de hormigón armado de cada nivel, excepto para planta baja, para un total de 48 muestras. El método empleado para las extracciones de muestras fue el indicado por ASTM C-1152 (C1152/C1152M-04, 2004). El procedimiento de análisis químico utilizado fue el desarrollado por (Oroza et al., 2016).

# 3. RESULTADOS

## 3.1 Diagnóstico de las losas

### 3.1.1 Resultados de la inspección visual

Se identificaron losas con pérdida del recubrimiento de hormigón, aceros expuestos y grietas longitudinales en el sentido de dirección de las barras de refuerzo (Figura 2a). En la losa de techo del séptimo nivel, adicional a las lesiones previamente indicadas, se detectaron manchas de eflorescencias y lixiviación debido a filtraciones de agua pluvial desde la cubierta.

En los techos de todos los apartamentos se observó que las losas habían sido previamente reparadas. El material empleado para la restauración fue un mortero estructural a base de cemento. Durante la inspección fue posible comprobar que a estas losas no se le conformó nuevamente el espesor original. De igual manera, tampoco fue aplicado tratamiento anticorrosivo sobre las barras de acero de refuerzo y como consecuencia, la mayor parte del mortero de restauración aplicado ya mostraba agrietamientos, abofados y desprendimientos en diversas zonas (Figura 2b)

Los espacios más afectados fueron los destinados a cocina y baño a causa del vapor de agua generado debido al uso de agua caliente. Los aceros de refuerzos en las losas de estas áreas presentaron severas afectaciones por corrosión atmosférica. Algunas de las barras existentes se encontraron fracturadas o con una pérdida de sección localizada muy avanzada (Figura 2c), poniendo en peligro la estabilidad estructural del elemento por posible fallo a flexión. La profundidad de carbonatación medida osciló entre 5-6 cm, con una  $K_{CO_2}$  calculada de 5,2 mm/año. Los espesores de recubrimiento ( $e_c$ ) se encontraban entre 1-2 cm.

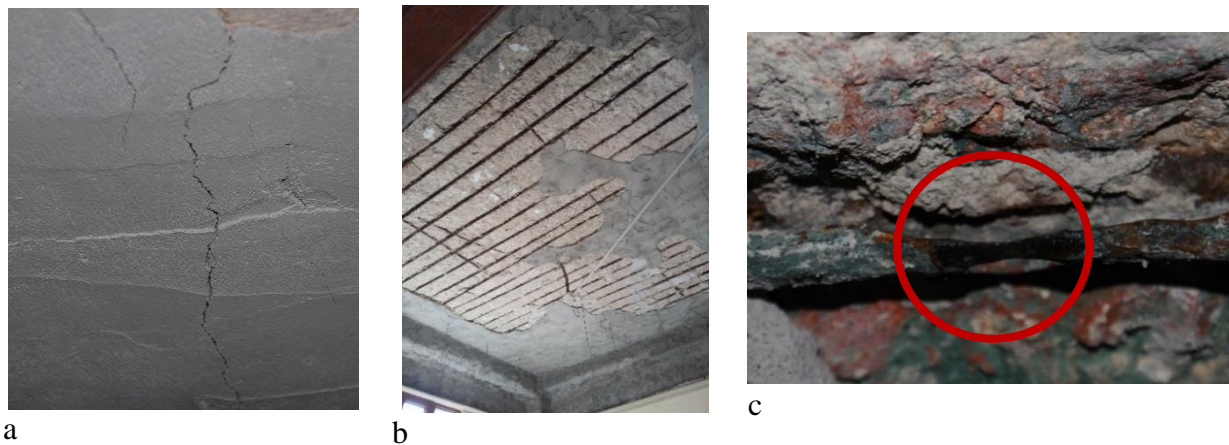


Figura 2. Lesiones identificadas en las losas de techo. a) Grietas longitudinales en el sentido de las barras de acero producto de la corrosión. b) Pérdida de recubrimiento del mortero de reparación en amplias zonas de losas de techo del recibidor. c) Corrosión localizada en barra de refuerzo

### 3.1.2 Resultados de los ensayos de diagnóstico

Basado en los resultados de la evaluación visual de lesiones, se identificaron dos zonas con manifestaciones de lesiones diferentes. Una ubicada en los primeros ejes destinados a recibidor y dormitorios, y otra al fondo con baños y cocinas. El empleo de agua caliente en estas áreas incrementa la humedad del medio y produce condensación del vapor en la superficie de las losas de hormigón. Como consecuencia del aumento del contenido de agua en la masa del hormigón, se aceleran los mecanismos de transporte y la movilidad iónica entre los poros capilares, acelerando la corrosión de los refuerzos de acero de las losas de hormigón armado. Para evaluar el riesgo de corrosión de las barras se realizaron mediciones de  $E_{corr}$ , se construyeron mapas de potenciales y se midió la  $\rho$  en cada zona por separado. En las figuras 3 y 4 se presentan los mapas de potenciales obtenidos en el tercer nivel, así como en las figuras 5 y 6 se muestran graficados los niveles de  $\rho$  correspondientes a los espacios preparados para medidas de  $E_{corr}$ .

Los resultados entre ambas técnicas demuestran que existe una correspondencia entre los valores de  $E_{corr}$  y  $\rho$ . En las zonas con empleo de agua caliente se incrementa la difusión del oxígeno, así como su disponibilidad al nivel de los refuerzos. En elementos de hormigón armado en donde no hay protección primaria debido al avance de la carbonatación y la presencia de sales de cloruro, la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) establecida se convierte en el parámetro principal que determina la razón de deterioro de la estructura. En las zonas más secas se registran  $E_{corr}$  más positivos con niveles de resistividad superiores a los 80  $K\Omega$ -cm.



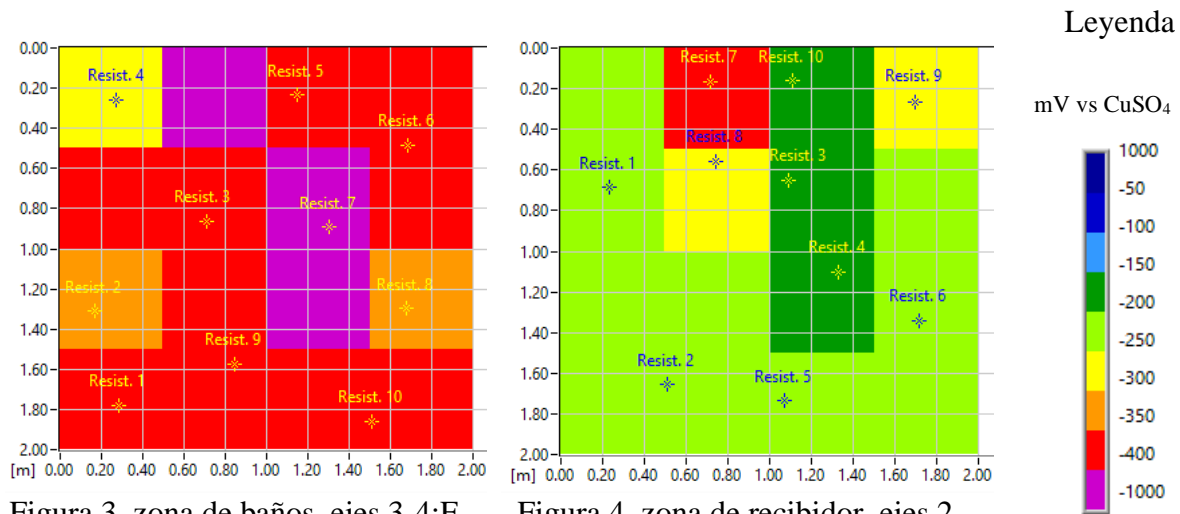


Figura 3. zona de baños, ejes 3-4:F-G

Figura 4. zona de recibidor, ejes 2-5:A-C

Figura 3 y figura 4. Mapas de  $E_{corr}$  en las losas de hormigón del tercer nivel

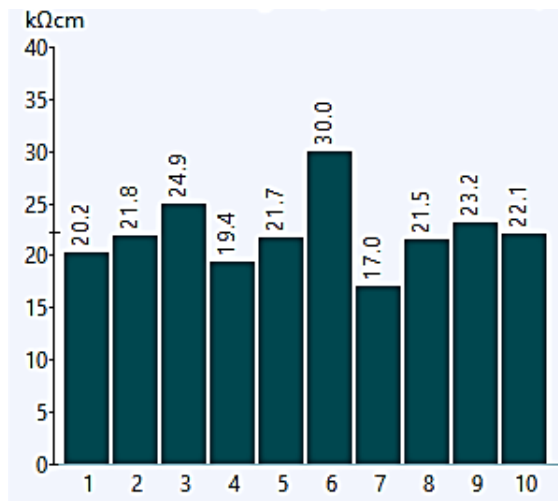


Figura 5. zona de baños, ejes 3-4:F-G

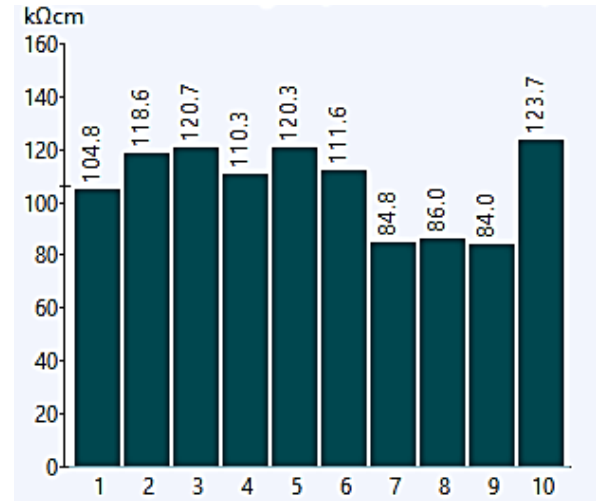


Figura 6. zona de recibidor, ejes 2-5:A-C

Figura 5 y figura 6. Resultados de los ensayos de resistividad en las losas de hormigón del tercer nivel

En la tabla 1 se presentan los resultados promedios obtenidos en donde se correlacionan la resistividad aparente, la  $i_{corr}$  y los ensayos químicos de las muestras de hormigón, en cada nivel del inmueble.

Tabla 1. Resumen de los resultados promedios obtenidos por nivel

| Nivel | $\rho$<br>(KΩ-cm) | $i_{corr}$<br>( $\mu A/cm^2$ ) | Cl <sup>-</sup><br>(% peso hormigón) | SO <sub>4</sub><br>(mg/L) |
|-------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 2do   | 17,0              | 1,76                           | 0.11                                 | <100                      |
| 3ro   | 21,1              | 1,42                           | 0.12                                 | 107                       |
| 4to   | 36.7              | 0,82                           | 0.14                                 | <100                      |
| 5to   | 30.1              | 1,00                           | 0.11                                 | 118                       |
| 6to   | 43.2              | 0,69                           | 0.12                                 | <100                      |
| 7mo   | 12.6              | 2,38                           | 0.13                                 | <100                      |

Los valores más bajos de  $\rho$  se obtuvieron en la losa de cubierta del 7mo nivel como consecuencia de las filtraciones de agua pluvial. Esto conlleva a que la losa de cubierta esté expuesta a ciclos de humectación-secado, con procesos de lixiviación que disminuyen la alcalinidad del material e incrementan la porosidad. Como consecuencia la  $i_{\text{corr}}$  resultante es superior a  $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

El análisis químico a las muestras de hormigón refleja una elevada concentración de iones  $\text{Cl}^-$ , lo cual está en correspondencia con las  $\rho$  y las  $i_{\text{corr}}$  obtenidas en cada nivel. El empleo de arena de mar sin lavar era práctica común en las edificaciones de la primera mitad del siglo XX, en donde no se conocía el efecto negativo de este anión sobre el acero de refuerzo. Con relación a las concentraciones de  $\text{SO}_4$  obtenidas, estas no son suficientes para promover una formación significativa de etringita tardía capaz de provocar fisuraciones en el hormigón (Howland, 2012).

Para determinar las pérdidas de sección de los refuerzos de acero en las losas, se realizaron mediciones en todos los niveles. Se descubrieron mediante remoción del recubrimiento de hormigón entre 5-8 barras por zona de trabajo. A modo de ejemplo, se muestra en la tabla 2 los valores registrados en el 5to nivel. Todos los aceros principales encontrados fueron de sección cuadrada de 16 mm (cuadrados torcidos) con un área nominal de  $256 \text{ mm}^2$  y espaciados entre 12-16 cm. Los aceros de temperatura son de sección cuadrada de 10 mm.

Tabla 2. Valores de pérdida de sección medidos en el 5to nivel

| Ubicación | No. de barra | Lado medido (mm) | Área residual ( $\text{mm}^2$ ) | Lado nominal (mm) | Área nominal ( $\text{mm}^2$ ) | Pérdida de sección (%) |
|-----------|--------------|------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------|
| Recibidor | 1            | 14,15            | 200,22                          | 16,00             | 256,00                         | 21,8                   |
|           | 2            | 15,04            | 226,20                          |                   |                                | 11,6                   |
|           | 3            | 14,38            | 206,78                          |                   |                                | 19,2                   |
|           | 4            | 15,28            | 233,48                          |                   |                                | 8,8                    |
|           | 5            | 15,17            | 230,13                          |                   |                                | 10,1                   |
|           | 6            | 15,1             | 228,01                          |                   |                                | 10,9                   |
|           | 7            | 14,9             | 222,01                          |                   |                                | 13,3                   |
|           | 8            | 14,67            | 215,21                          |                   |                                | 15,9                   |
| Cocina    | 1            | 1,73             | 2,99                            | 16,00             | 256,00                         | 98,8                   |
|           | 2            | 7,62             | 58,06                           |                   |                                | 77,3                   |
|           | 3            | 2,61             | 6,81                            |                   |                                | 97,3                   |
|           | 4            | 7,03             | 49,42                           |                   |                                | 80,7                   |
| Baño      | 1            | 12,13            | 147,14                          | 16,00             | 256,00                         | 42,5                   |
|           | 2            | 12,4             | 153,76                          |                   |                                | 39,9                   |
|           | 3            | 12,6             | 158,76                          |                   |                                | 38,0                   |
|           | 4            | 11,9             | 141,61                          |                   |                                | 44,7                   |
|           | 5            | 11,6             | 134,56                          |                   |                                | 47,4                   |

Las mayores pérdidas de cuantía de acero se registraron en los espacios destinados a cocina y baño. El resultado obtenido es la disminución de sección en algunas barras de hasta el 99% en la zona de la cocina, próxima a la ubicación del calentador de agua. En el resto de las áreas de los apartamentos, aunque las mediciones de  $\rho$  y  $E_{\text{corr}}$  muestran un material más “seco” las pérdidas de cuantía de acero oscilan entre 10-20%, siendo necesario un recálculo estructural, para evaluar la factibilidad en cuanto a sustitución o empalme de nuevas barras de acero en su reparación. El recálculo respectivo no es parte de este trabajo. Sin embargo, la estructura en cuestión es aporticada, constituidas las columnas por perfiles metálicos tipo I, y en casos puntuales existen columnas con un refuerzo adicional de acero ordinario y otras con el refuerzo completo de acero ordinario. Dicha estructura está recubierta con hormigón, que le sirve de protección al acero que

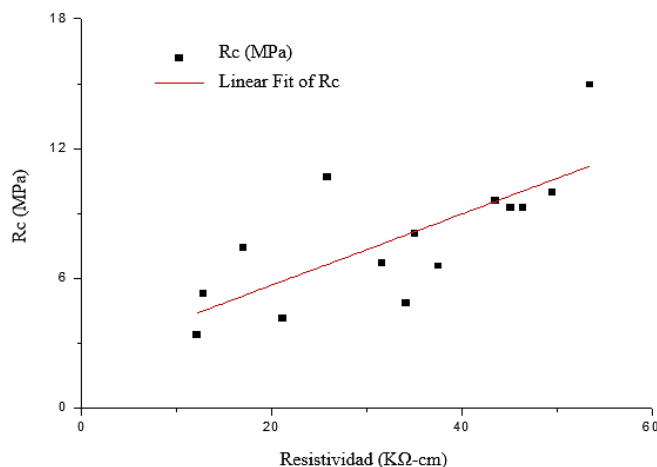
las conforma. Las losas están reforzadas con barras de acero ordinario y las mismas soportan las cargas de uso, así como su peso propio y se las transmiten a la estructura aperticada, por lo que se infiere que el trabajo lo realizan ambos elementos. Con los resultados obtenidos se evidenció que la resistencia actual del hormigón está muy afectada.

En las estructuras de hormigón armado las lesiones (grietas y fisuras) provocadas debido al fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo, las transformaciones químicas producto de la carbonatación, los cloruros y los años de exposición influyen significativamente en la resistencia del hormigón. Adicionalmente deben considerarse las cargas que han actuado durante el tiempo de vida del inmueble, las cuales también provocan disminución en la Rc debido a un fenómeno similar a la relajación, conocido como efecto Rüsck (Couto et al., 2015). Los resultados de los testigos de hormigón extraídos en las losas se muestran en la tabla 3. Las mayores resistencias obtenidas fueron en el 5to nivel con valores promedios de 8,71 MPa. La norma (ACI:562M-16, 2016) establece como herramienta de evaluación que los elementos de hormigón armado construidos entre 1900-1919 debían presentar una resistencia a compresión entre 7-14 MPa. Este criterio aún se cumple en la edificación para casi todos los niveles, excepto para el tercero y cuarto lo cual puede deberse a algunas de las causas debatidas previamente.

Tabla 3. Valores promedios de Rc de las muestras de hormigón extraídas en las losas

| Niveles | Rc (MPa) |
|---------|----------|
| 2do     | 7.40     |
| 3ro     | 4.11     |
| 4to     | 6.91     |
| 5to     | 8.71     |
| 6to     | 8,03     |
| 7mo     | 7.13     |

Otros autores (Ramezaniapour et al., 2011) demostraron que para un mismo diseño de mezcla de material de cemento, existe una relación lineal entre la resistencia a compresión y la  $\rho$  debido a la similitud química de la solución de los poros. Para evaluar la correspondencia entre la permeabilidad del hormigón de las losas de hormigón armado y la  $\rho$  medida directamente en las losas, se correlacionaron ambos resultados a partir de las resistencias de las probetas extraídas. En la Figura 7 se refleja la gráfica obtenida en cuanto a la correlación entre la Rc y  $\rho$  para las losas de entrepiso del inmueble estudiado.



|           |                    |         |         |       |         |
|-----------|--------------------|---------|---------|-------|---------|
| <b>Rc</b> | <b>Intercepto</b>  | Valor   | 2,38046 | Error | 1,56301 |
|           | <b>Pendiente</b>   | 0,16484 | 0,04373 |       |         |
|           | <b>Estadística</b> | $R^2$   |         |       |         |
|           |                    | 0,50396 |         |       |         |

Figura 7. Relación entre la Rc y la  $\rho$  para las losas de hormigón armado



A modo de resumen de las mediciones en las losas, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 4. Resumen de resultados de las mediciones realizadas por niveles

| Niveles | $\rho$<br>( $K\Omega$ -cm) | $i_{corr}$<br>( $\mu A/cm^2$ ) | Cl <sup>-</sup><br>(% peso de<br>hormigón) | SO <sub>4</sub><br>(mg/L) | Rc<br>(MPa) | Sección de<br>acero<br>(AP- principal<br>AT-<br>temperatura) | Pérdida<br>de<br>sección<br>(%) | Espaciamiento<br>acero principal<br>(cm) |
|---------|----------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|-------------|--|---------------------------------|--|
| 2do     | 17,0                       | 1,76                           | 0.11                                       | <100                      | 7.40        | AP- Ø16<br>AT- Ø10   | 42.9                            | 12-16                                    |
| 3ro     | 21,1                       | 1,42                           | 0.12                                       | 107                       | 4.11        |  | 25.1                            |  |
| 4to     | 36.7                       | 0,82                           | 0.14                                       | <100                      | 6.91        |  | 27.7                            |  |
| 5to     | 30.1                       | 1,00                           | 0.11                                       | 118                       | 8.71        |  | 45.1                            |  |
| 6to     | 43.2                       | 0,69                           | 0.12                                       | <100                      | 8.03        |  | 30.2                            |  |
| 7mo     | 12.6                       | 2,38                           | 0.13                                       | <100                      | 7.13        |  | 65.1                            |  |

### 3.2 Lesiones en columnas

La inspección visual se realizó en las columnas ubicadas en la última crujía, penúltima e intermedias. Para la construcción de las columnas se emplearon como refuerzo indistintamente perfiles tipo I, y barras de acero Ø16. Se identificó que la gran mayoría de estas habían sido intervenidas previamente y aun así presentan un estado de deterioro marcado fundamentalmente por grietas longitudinales (Figuras 8 y 9), como consecuencia de la corrosión de los refuerzos. De manera general, tanto los perfiles de acero, como las barras que conforman las columnas mostraron un elevado nivel de corrosión con pérdida de sección.



Figura 8



Figura 9

Figura 8 y figura 9. Deterioro existente en las columnas

En el caso particular del segundo nivel se observó de manera generalizada un elevado nivel de corrosión con pérdida de sección en los diferentes refuerzos de las columnas. Todos los elementos estudiados están constituidos por perfiles tipo I. Las calas se realizaron en las columnas indicadas en la Figura 10. Seguidamente en la tabla 5 se presentan los números de las calas realizadas y los espesores de ala medidos.

Tabla 5. Especificaciones de las calas realizadas en columnas

| Cala | Ejes    | Ubicación         | Medición (mm) |
|------|---------|-------------------|---------------|
| C1   | 1':H    | extremo del ala   | 22,07         |
| C2   | 3:D-E   | extremo del ala   | 15,25         |
| C3   | 6:H'    | extremo del ala   | 20,40         |
| C4   | 4:G     | extremo del ala   | 22,90         |
| C5   | H: 1'-2 | extremo del ala   | 5,49          |
| C6   | 1':J    | diámetro de barra | 16,00         |
| C7   | 4: E-F  | extremo del ala   | 20,00         |
| C8   | 6: D-E  | extremo del ala   | 7,38          |

En el caso de la cala C1, el perfil se encuentra acompañado por un refuerzo tipo escalerilla con barras de 10 mm de diámetro que también presenta corrosión. En el quinto nivel, al ejecutar las calas (Figura 11) se observó que el refuerzo de la columna que corresponde a la C6, es una armadura de acero ordinario que aún conserva su color gris metálico. En las calas C5, C7 y C8 se observó corrosión con pérdida de sección en los refuerzos constituidos por perfiles tipo I.

En el séptimo nivel el refuerzo de las columnas que corresponde a las C9 y C10, es una armadura de acero ordinario que muestra buen estado de conservación. En el caso de la C9 y de la C10, presentan corrosión con ínfima pérdida de sección. En las calas C11 y C12, el refuerzo está constituido por perfiles tipo I, donde existe un elevado nivel de corrosión con pérdida de sección. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos a los elementos medidos:

Tabla 6. Pérdida de sección de los aceros medidos en columnas

| Cala | Ejes | Ubicación         | Medición (mm) | Pérdida de sección (%) |
|------|------|-------------------|---------------|------------------------|
| C9   | 1':H | diámetro de barra | 16,00         | 0,0                    |
| C10  | 3:F  | diámetro de barra | 15,37         | 7,7                    |
|      |      | diámetro de cerco | 9,36          | 12,4                   |
| C11  | 4:H' | extremo del ala   | 9,99          | No determinada         |
| C12  | 4:C  | extremo del ala   | 8,57          | No determinada         |

Es preciso resaltar que en el caso de la cala C9, como se explicó previamente, el acero de refuerzo presenta un color gris metálico, sin embargo, en la columna se aprecia una grieta longitudinal que recorre toda su altura. Esta lesión se originó producto de un esfuerzo de flexo-compresión que no fue capaz de soportar el hormigón debido a su baja resistencia mecánica y excentricidad de la armadura de refuerzo.

Por otra parte, en el caso de las columnas con barras de acero ordinario, se calculó la pérdida de sección a partir del diámetro nominal de las barras que conforman la armadura. Para las columnas cuyo refuerzo es un perfil metálico tipo I, no fue posible calcular el porcentaje de pérdida debido a que no se conocen las medidas nominales de dichos perfiles.

Es importante destacar que el hormigón que conforma las columnas presentó muy baja resistencia mecánica, pues en el proceso de ejecución de las calas no ofreció resistencia al corte, desmoronándose con gran facilidad. En la medida en la que se desciende en los niveles, desde el séptimo al segundo, se evidencia una disminución de la resistencia, siendo este último nivel el más vulnerable al corte.

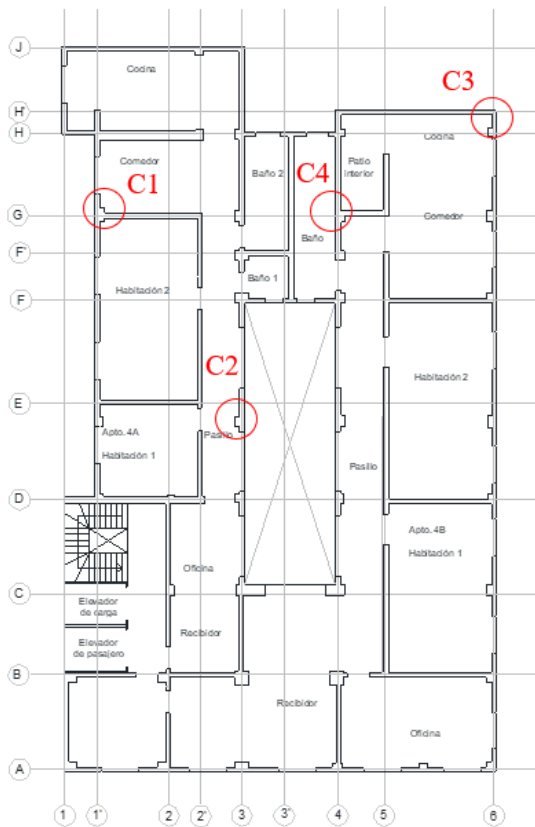


Figura 10. Ubicación de las calas en el 2do nivel

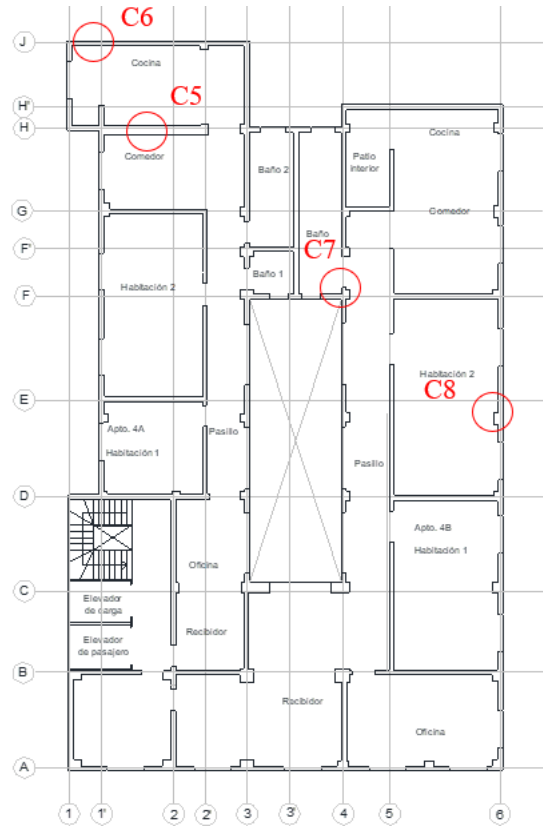


Figura 11. Ubicación de las calas en el 5to nivel

### 3.3 Evaluación del tiempo de vida

La Figura 12 muestra una representación gráfica de la vida de servicio de una estructura propuesta por (Castro-Borges and Helene, 2007).

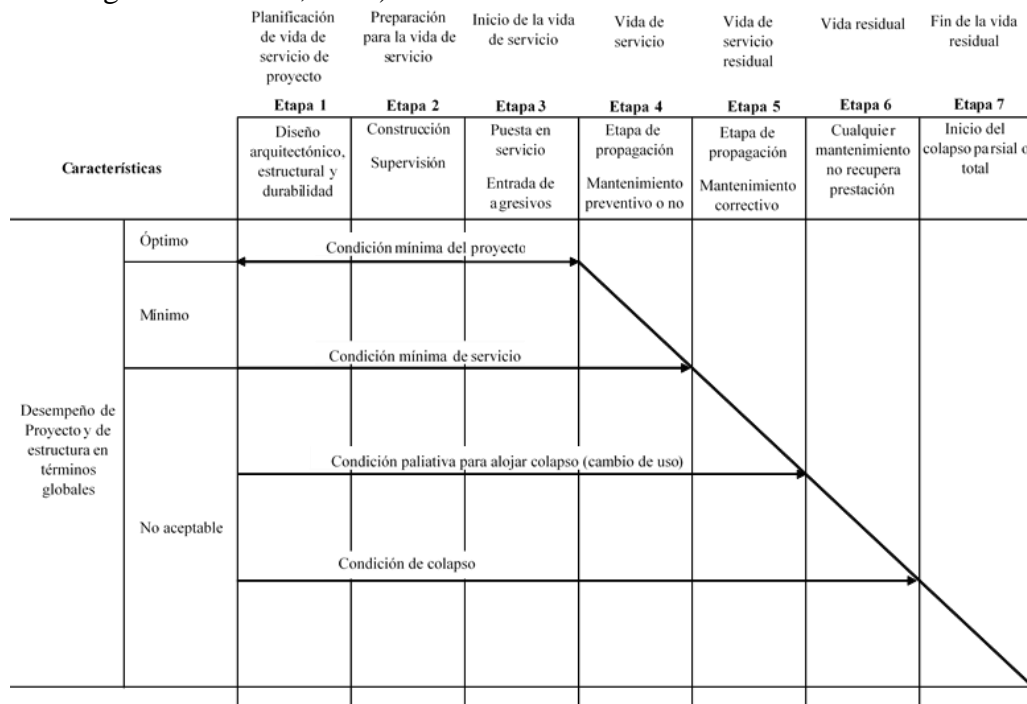


Figura 12. Modelo conceptual de vida de servicio de una estructura (Castro-Borges y Helene, 2018)

Los resultados del diagnóstico en losas y columnas muestran un avanzado deterioro que se extiende a todos los niveles de la edificación. La extensión, magnitud y severidad de las lesiones evidencian que estas han venido desarrollándose durante un prolongado periodo de tiempo, sin la aplicación de mantenimientos adecuados en el tiempo de servicio, de forma programada o sistemática. Basado en todo el análisis previamente presentado, es de considerar de acuerdo con el modelo de vida propuesto, que la edificación se encuentra en el “estado 5” en tránsito de su vida residual, en donde pueden continuar los deterioros de no tomarse a tiempo las medidas correctivas necesarias de reparación y mantenimiento.

#### 4. CONCLUSIONES

Se diagnosticaron los daños de una edificación de principios del siglo XX en la Habana. De manera general en toda la estructura se registraron daños provocados fundamentalmente por corrosión de los aceros de refuerzo. En el caso de las losas de entrepiso y cubierta, la magnitud de las lesiones presentes en las zonas de cocinas y baños no permite su rehabilitación mediante labores rutinarias de mantenimiento, debido a que las barras han perdido más del 90% de su sección.

Considerando que la estructura se basa en un sistema aporticado, estas losas pueden demolerse y sustituirse por nuevos sistemas que aligeren las cargas de las columnas y la estructura en general, como pudiera ser vigueta y bovedilla, u otras técnicas de entrepiso.

Con respecto a las columnas, muchas de ellas se encuentran agrietadas como resultado de la corrosión de las barras y perfiles, sin embargo, las afectaciones no son tan significativas y pueden ser debidamente rehabilitadas.

El estado actual de conservación del inmueble no presenta condiciones de seguridad aceptables para continuar con su explotación, siendo necesarias realizar diversas acciones de reparación y la elaboración de un plan de mantenimiento correctivo que permita extender el tiempo de vida de la estructura.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

ACI:562M-16. (2016). *Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary*.

Andrade, C. and Alonso, C. (2004), *Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method*. RILEM TC 154-EMC: Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion.

Andrade, C. and D’Andrea, R. (2011), *La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad*. Revista ALCONPAT, 1(2): 93-101, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i2.8>

Andrade, J. and Dal Molin, D. (2000), *A Case Study about Degradation of Reinforced Concrete Structures in a Marine Macro environment in Brazil*. NDT.net, <http://www.ndt.net/article/v05n02/andrade/andrade.htm>.

ASTM C876 (2009). *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*.

ASTM C1152/C1152M-04 (2004), *Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*.

Azarsa, P. and Gupta, R. (2017), *Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review*. Advances in Materials Science and Engineering, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>

Castañeda, A., Howland, J. J., Corvo, F. and Pérez, T. (2013), *Corrosion of steel reinforced concrete in the tropical coastal atmosphere of Havana City, Cuba*. Quimica Nova, 36: 220-229.

- Castañeda, A. and Rodriguez, M. R. (2014), *Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 45: 52-59.
- Castañeda, A., Valdés, C. and Corvo, F. (2018), *Atmospheric corrosion study in a harbor located in a tropical island*. Materials and Corrosion, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1002/maco.201810161>
- Castro-Borges, P. and Helene, P. (2007), *Service Life of Reinforced Concrete Structures: New Approach*. ECS Transactions, 9(13): 9-14. <http://dx.doi.org/10.1149/1.2721426>
- Castro-Borges, P., and Helene, P. (2018). *Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo*. Revista ALCONPAT, 8(3), 280 - 287. doi: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>
- Chávez, E., Chab, R. C., Baz, M. S., Castro-Borges, P. and López, T. P. (2013), *Corrosion Process of Reinforced Concrete by Carbonation in a Natural Environment and an Accelerated Test Chamber*. International Journal of Electrochemical Science, 8: 9015-9029.
- Costa, A. and Appleton, J. (2002), *Case studies of concrete deterioration in a marine environment in Portugal*. Cement and Concrete Composite, 24: 169-179.
- Couto, D., Carvalho, M., Cintra, A. and Helene, P. (2015), *Concrete structures. Contribution to the safety assessment of existing structures*. IBRACON Structures and Materials Journal, 8(3): 365-389. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000300007>
- CYTED (2003), *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección*, Red temática XV.B.
- D'Andréa, R. and Andrade, C. (2009), *Predicción de la vida útil de las estructuras mediante el uso de la resistividad como indicador de durabilidad*. In: IETCC (Editor), Aplicaciones prácticas de seguridad y durabilidad de estructuras de hormigón, Buenos Aires. Argentina, pp. 1-31.
- GEOCISA S. A. (2002), *Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura*. In: Geocisa (J. Rodríguez y J. Aragoncillo). Y por el Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja" del CSIC (C. Andrade y D Iquierdo) dentro del proyecto de Innovación CONTECVET-IN 309021, pp. 152.
- Gowers, K. R. and Millard, S. G. (1999), *Measurement of Concrete Resistivity for Assessment of Corrosion Severity of Steel Using Wenner Technique*, American Concrete Institute.
- Helene, P. and Castro-Borges, P. (2009), *A novel method to predict concrete carbonation*. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, 1(1): 25-35.
- Howland, J. J. (2012), *"Desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón armado"*. Instituto Politécnico de La Habana, Departamento de Ingeniería Civil, 196 pp.
- NACE SP0390 (2009), *Maintenance and rehabilitation considerations for corrosion control of atmospherically exposed existing steel-reinforced concrete structures*.
- Oroza, A. H. and Bouza, D. G., (2015), *Influencia del micro-ambiente en el interior de una edificación sobre la corrosión del acero de refuerzo*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 46: 45-55.
- Oroza, A. H., Pimentel, F. R., Parrab, E. P., León, L. M. D. and Amorós, Y. G. (2016), *Development of two analytical methods for determination of water-soluble chlorides and sulfates in the conservation of concrete heritage buildings*. Journal of Building Chemistry, 1: 61-68. <http://dx.doi.org/10.17461/j.buildchem.2016.201>
- Presuel Moreno, F., Liu, Y. and Paredes, M. (2009), *Understanding the Effect of Rebar Presence and/or Multilayered Concrete Resistivity on the Apparent Surface Resistivity Measured via the Four Point Wenner Method*. NACE International.
- Ramezaniapour, A. A., Pilvar, A., Mahdikhani, M. and Moodi, F. (2011), *Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength*. Construction and Building Materials, 25: 2472-2479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.069>



- Sanchez, J., Andrade, C., Torres, J., Rebolledo, N. and Fullea, J. (2017), *Determination of reinforced concrete durability with on-site resistivity measurements*. Materials and Structures, 50(41): 1-9. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-016-0884-7>
- Toraya, J. C. (2001), "*500 Años de construcciones en Cuba*". D.V. Chavín, Servicios Gráficos y Editoriales, S.L., Madrid, 557 pp.
- Vera, R., Villarroel, M., Delgado, D., Carvajal, A. M., De Barbieri, F. and Troconis, O. (2009), *Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto. Parte 2*. Revista de la Construcción, 8(1): 13-23.
- Yu, B., Liu, J. and Chen, Z. (2017), *Probabilistic evaluation method for corrosion risk of steel reinforcement based on concrete resistivity*. Construction and Building Materials, 138: 101–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.100>