

Cathodic Protection and Concrete Repairs at Sound of the Sea II Condominiums

Assessment after a decade indicates long-lasting success

by David G. Tepke, Clement A. Firlotte, and Stephen P. Robinson

Constructed in 1984, Sound of the Sea II is a six-level reinforced concrete condominium building with 36 individually owned units. It is on the 0.75 mile (1.2 km) wide Bogue Banks Island within a few hundred feet of the Atlantic Ocean in Emerald Isle, NC, USA. It includes exterior common access corridors (walkways) on the front side of the building and private balconies for each unit (Fig. 1).

The location of Sound of the Sea II makes it highly susceptible to chloride penetration from ocean-borne salts and associated corrosion-related distress of embedded steel. Deck coatings were reportedly installed on corridors and balconies circa 1999. These deck coatings did not effectively arrest corrosion, as was evidenced by the formation of subsequent delaminations. Given the cost, inconvenience, and impact on renter and owner occupancy associated with capital repair projects, the owners commissioned a comprehensive repair project in 2007/2008 to address corrosion-related concrete distress, including preservation of existing concrete with cathodic protection (CP). The repair project, totaling approximately \$1.2 million, was completed in December 2008 and included:

- Structural concrete repairs;
- Impressed current cathodic protection (ICCP) on balconies;
- Localized galvanic cathodic protection (GCP) in corridors and roof parapet repairs;
- Steel stair repairs;
- Improved drainage; and
- Protective coatings.

Evaluation

Evaluation of the structure prior to design included review of previous testing and assessment reports, on-site assessment, and sample collection by the design team. The design team



(a)



(b)

Fig. 1: Sound of the Sea II condominiums: (a) viewed from the beach; and (b) viewed from the front parking lot in 2019 (more than 10 years after repairs)

reviewed and used information from a preliminary durability assessment report and a delamination survey report prepared by a testing and consulting firm in 2006. The reports were provided to the design team by the management company for review and included results and general recommendations. The reports indicated generally low reinforcing steel cover, chlorides at reinforcing steel depth in sufficient concentrations to initiate corrosion (approximately 500 to 1500 parts per million in some locations), significant delamination, and evidence of corrosion based on half-cell potential testing. Considerably more delaminations were identified on balconies as compared to corridors.

In 2007, excavations were made as part of the design effort to review embedded steel and structural conditions. Core samples were extracted from one corridor area and one balcony for resistivity testing by a third party. Resistivity was found to be relatively low and thus conducive for active corrosion for both samples. Of note, the balcony sample (4800 ohm-cm as received; 3000 ohm-cm after 12 hours of saturation and removal from bath) had about 60% the resistivity of the sample taken from the corridor (7700 ohm-cm; 4700 ohm-cm). Excavations revealed significant reinforcing steel corrosion (Fig. 2).



Fig. 2: Example of test excavation during 2007 assessment

Design

Budget was of the utmost importance to the owners. Thus, it was necessary to evaluate repair/preservation options that would extend service life but not be overconservative and cost prohibitive. The designers discussed the merits of global ICCP and GCP with the owners. Given the spatial differences in exposure, identified differences in magnitude of distress, budgetary constraints, and the owners' directives, two separate approaches for repair and protection were adopted. Concrete repair—an alternate for ICCP—and cementitious deck coatings were specified for balconies where distress was more severe. Limited concrete repairs, urethane deck coatings, and an alternate for localized GCP were specified for corridors where distress was more sporadic and exposure somewhat less severe. Alternates were provided in the bid for CP to provide flexibility for the owners. A general overview of primary repairs to the corridors and balconies is summarized in Fig. 3.

As required by the owners, sliding glass doors remained in place during balcony repairs and existing embedded guardrails were not replaced. Ability to remove, store, and reuse guards to conduct repairs required special approval from the code official.

The design included a performance specification with additional prescriptive requirements for ICCP, including a 10-year no-corrosion warranty. Repair materials compatible with localized GCP and the global ICCP were specified.

Construction

General

The owners elected to accept the alternates for ICCP for balconies and localized GCP for corridors and roof parapets.

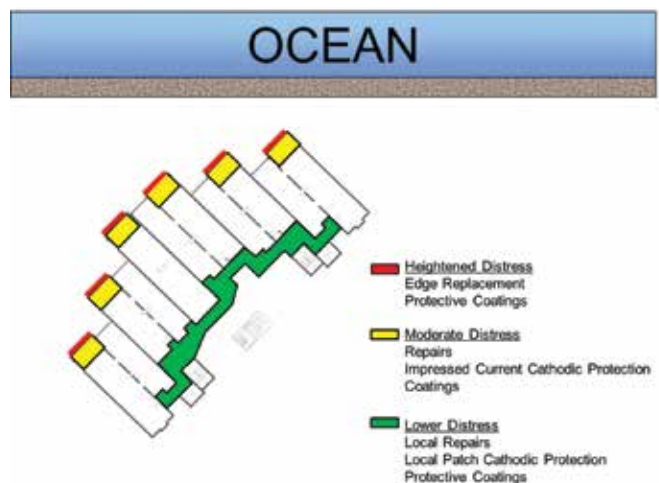


Fig. 3: Schematic showing tower position and final repair strategy

The Notice to Proceed was issued in October 2007. The project was substantially complete for all items except corridor coatings by December 2008, with completion of coatings following within a few months.

Repairs included horizontal, full-depth, vertical, and overhead orientations and were more substantial on balconies as compared to corridors. Repairs were completed by saw-cutting surfaces at repair extents, chipping deficient concrete, preparing surfaces via sandblasting, and conditioning to achieve a saturated-surface dry condition. Prepackaged portland cement-based repair materials were used for all repairs. Pre-extended repair mortars were used for deeper repairs. Repairs were moist-cured after installation.

All horizontal surfaces were shotblasted and coated with cementitious (balconies) and polyurethane (corridors) deck coatings after concrete repairs. Overhead and vertical surfaces were prepared and coated with a breathable acrylic coating where required.



Fig. 4: Balcony repairs: (a) general construction access with visible swing stage; (b) extent of distress; and (c) one of the more severely distressed balconies requiring shoring. Note demising walls at balcony sliding glass doors

Balconies

Swing stages were used for balcony access (Fig. 4 (a)). Due to project logistics and the amount of uncovered distress (Fig. 4(b)), it became immediately evident that the most efficient and cost-effective manner to address slab edges was to remove the entire slab edge. Although some sound concrete was removed, this method was less complicated and allowed for more efficient installation of supplemental reinforcement to address severely corroded reinforcing steel. It also allowed for effective coordination and installation of drip edges and guardrail posts after repairs. A significant challenge to the project was to minimize damage to guardrails during removal, storage, and reinstallation, and to make sure that slab edge installation was coordinated with new precisely located post pockets.

In general, less concrete removal than typical was necessary due to the use of ICCP. However, some balconies required full-depth repairs over substantial areas that required temporary support (Fig. 4(c)). Finite element analysis was used during the project to evaluate conditions for making field decisions. Mechanical splices and adhesive anchors were used where severely corroded reinforcing steel or inadequate steel was encountered and limited space was available for lap splicing. This also allowed for reduced quantities of concrete removal.

Balcony repairs required protection of sliding glass doors. Repairs generally terminated at the doors; however, distress at a limited number of areas required that repairs continue under thresholds into units. This required careful and well-planned execution of concrete repairs, as well as rapid cure repair materials to minimize impact to interiors and occupants.

Concrete repairs and reinstallation of guardrails were coordinated with the ICCP system. Reinforcing steel was tied together at repair areas to reduce the potential for stray current corrosion. Reinstalled aluminum guard posts were placed in polyvinyl chloride (PVC) pockets filled with epoxy to provide a dielectric barrier between guards and concrete subjected to ICCP. Textured, breathable cementitious deck coatings were installed at balconies for aesthetics and functionality.

Corridors and other areas

Lift and foot access were used on corridors. Repairs at corridors (Fig. 5(a)), columns, and walls were less frequent and generally smaller than those at balconies. Repairs at roof parapets (Fig. 5(b) and (c)) were variable. Commercially available alkali-activated galvanic zinc anodes were embedded in patch repairs to help prevent incipient anodes directly outside repair areas and associated distress. Anodes were tied to reinforcing steel within patches and all reinforcing steel and anodes within patches were confirmed electrically continuous. Reinforcing steel was coated with a cementitious/epoxy anticorrosion bonding agent. This had the likely added effect of diverting current from the anode to the existing substrate concrete.

Flood testing was conducted to identify ponded areas. Additional drains to address significant ponding and a urethane



Fig. 5: In-progress repairs: (a) exposed reinforcement in corridor; (b) exposed reinforcement in parapet; and (c) GCP and formwork installed at parapet repair



Fig. 6: ICCP system features: (a) anode and isolation from low-cover reinforcing bar; (b) grouted anode slots; (c) balcony deck as finished with vertical conduit (photo taken 2010); and (d) control and power system components (May 20, 2019)

deck coating were installed as water management and waterproofing measures. Deck coatings extended up the wall with mesh reinforcement at the transition.

Balcony ICCP system

The ICCP system (Fig. 6) was designed by the manufacturer to meet project and contract requirements during the project and was installed by an experienced specialty contractor. It includes 3/8 in. (10 mm) wide titanium/mixed metal oxide (MMO) mesh ribbon anodes with a current rating of 0.85 mA/ft (2.79 mA/m) grouted into 9/16 in. (14 mm) wide and 1/2 in. (13 mm) deep slots spaced approximately 12 in. (305 mm) on center and connected to 1/2 in. wide titanium headers. Testing was conducted to confirm continuity of reinforcement and separation of reinforcement from anodes. Embedments were grounded to the system negative. Where anodes and reinforcement were found to be continuous, they were isolated. System negative and anode connections were led through concrete to a junction box at each of the 36 balconies and then to the constant voltage transformer/rectifier in

the mechanical room at the roof via PVC conduits painted to match the building.

Circuitry was split into three cathodic protection zones, each with 12 units over two vertical balcony stacks. Wiring for each balcony was connected to the assigned zone through a variable resistor for individual balcony control. Each zone included four embedded Ag/AgCl/KCl reference electrodes (silver/silver chloride reference electrodes immersed in a potassium chloride solution) for depolarization testing, commissioning, and future monitoring. Remote monitoring equipment and a modem were installed that allowed for system review.

The system was commissioned and adjusted in September 2008 with approximately 60 mA current delivered to the average balcony (approximately 0.73 mA/ft²_{steel, design} [7.86 mA/m²_{steel, design}]; 0.48 mA/ft²_{concrete} [5.17 mA/m²_{concrete}]; 0.41 mA/ft²_{anode} [1.35 mA/m²_{anode}]). Depolarization testing per NACE Publication 35108¹ over a 4-hour period was used to evaluate the system, with 100 mV depolarization being considered

effective protection. Depolarization data during commissioning are shown in Fig. 7.

Overall Repair Totals

The final project cost was approximately \$1.2 million. About 830 ft² (77 m²) of horizontal concrete repairs, 275 ft² (26 m²) of overhead repairs, and 30 ft² (3 m²) of vertical repairs were conducted. Approximately 4660 ft² (430 m²) of balconies are protected by ICCP.

Recent Site Visits and Closing Remarks

The management company has communicated that no major repairs associated with the work conducted in 2007/2008 have been needed and that only a minimal amount of maintenance has been necessary. This contrasts with other nearby properties requiring much more extensive repair and maintenance. Guardrails were reportedly replaced subsequent to the project in 2015; however, concrete repairs, coatings, and cathodic protection installed as part of the 2007/2008 project generally have performed well and are in serviceable condition, even withstanding a number of

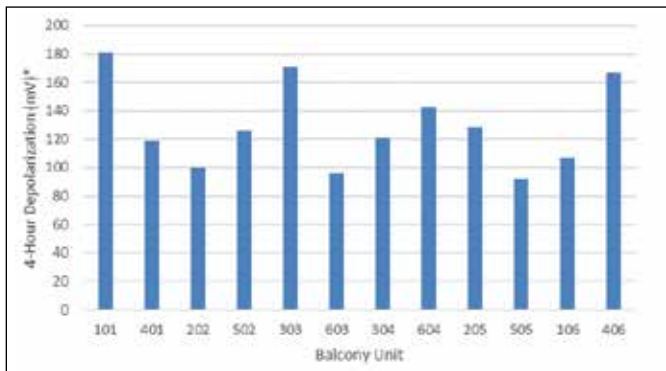


Fig. 7: Four-hour depolarization (September 25, 2008) (Note: Unit 505–97 mV at 6.25 hours; Unit 603–102 mV at 5.25 hours)

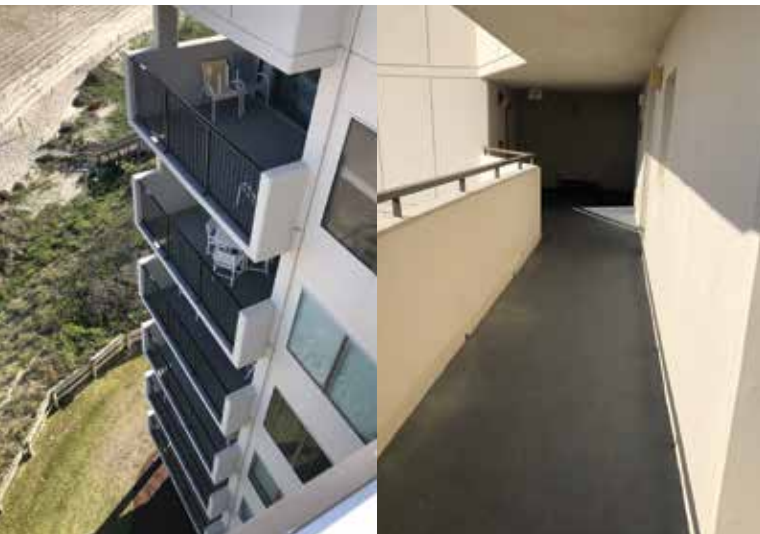


Fig. 8: Typical balconies and corridor area as of May 20, 2019

Table 1: Summary of 2008 and 2019 depolarization data

ICCP depolarization*	September 2008	May 2019
Average 4-hour depolarization of reinforcing steel, mV	130	182
Average depolarized potential of reinforcing steel, mV*	-269	-199

*Based on 12 embedded Ag/AgCl reference electrodes

†Converted to CSE

hurricanes over the past 10+ years in the very harsh, chloride-rich environment.

During visits in 2019, it was observed that critical ICCP system components were functioning to protect reinforcing steel within the original design parameters. While some small discrete corrosion stains and one small delamination were observed on balcony soffits, likely associated with discontinuous steel embedments, no major concrete distress was observed on balconies repaired and protected with ICCP in 2007/2008. The remote monitoring device had its backup battery replaced as part of routine maintenance, and the site-monitoring device and wiring conduits on the roof required maintenance after a recent major hurricane; however, these items have not affected protection. Guardrail anchorages in the concrete from the 2015 guardrail replacement project had variable connectivity, demonstrating the need for coordination of all repairs to concrete subjected to ICCP. Some concrete distress was observed on walkway areas and roof parapets where ICCP was not installed, and some isolated deck coating damage was observed, but installed repairs and coatings generally have performed well. Balconies and corridor areas as of May 2019 are shown in Fig. 8.

Table 1 contains a comparison between data collected and reported by the System Designer in 2008 and 2019. After 11 years, the average depolarization increased and the average depolarized potential decreased, reaching, on average, a level of passivation (more positive than -200 mV versus a copper-copper sulfate reference electrode [CSE]) per NACE Publication 35108.¹ This project serves as an example of how ICCP can provide long-term service-life extension and shows that strategically selecting different preservation strategies on a building can provide economic, effective, long-term benefits.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge Tourney Consulting Group as the firm that authored the 2006 preliminary durability assessment report and delamination report used by the design team for background information; and Bushman & Associates as the firm that conducted resistivity testing during the design stage. The authors would also like to acknowledge the design and construction team that included SKA Consulting Engineers, Inc.; Carolina Restoration & Waterproofing, Inc.; Southern Cathodic Protection, Inc.; and Corpro Companies, Inc.

References

1. "One Hundred Millivolt (mV) Cathodic Polarization Criterion," *NACE Publication 35108-2008-SG*, NACE International, Houston, TX, 2008, 33 pp.

Selected for reader interest by the editors



ACI member **David G. Tepke** is a Senior Engineer and Group Manager at SKA Consulting Engineers, Inc., Charleston, SC, USA. His primary interests and experience include testing and analysis, construction evaluation and troubleshooting, structural investigations, durability assessments, structural repair and waterproofing design, and design for service-life extension of

new and existing structures across a wide range of sectors, construction types, construction eras, and exposures. He serves on a number of technical committees, including ACI Committees 201, Durability of Concrete; 222, Corrosion of Metals in Concrete; 301, Specifications for Structural Concrete; and 329, Performance Criteria for Ready Mixed Concrete. Tepke received his BS and MS in civil engineering from Penn State University, State College, PA, USA, and is a registered professional engineer in a number of states.



ACI member **Clement A. Firlotte** is a Senior Project Manager at Corrpro Companies, Inc., Medina, OH, USA. His prior experience includes 8 years with an architecture and engineering firm as a Structural Bridge Engineer. As a recognized industry leader in corrosion control of reinforced concrete structures, he has over 30 years of experience involving the design, installation, and

management of both impressed and galvanic cathodic protection systems for reinforced concrete structures. He is also a member of the American Society for Civil Engineers (ASCE), the International Concrete Repair Institute (ICRI), and NACE International. Firlotte received his BS in civil engineering from the University of Akron, Akron, OH, USA, and is a licensed professional engineer in five states.



Stephen P. Robinson, President of SKA Consulting Engineers, Inc., Greensboro, NC, USA, has been a licensed engineer for over 21 years. His professional engineering career has been heavily focused on the investigation of problems in existing buildings as well as the design and implementation of repairs, including numerous structures in high-chloride environments. He received his master's in

civil engineering with a focus in structural engineering from North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.

ACI Reinforced Concrete Design Handbook Set



The ACI Reinforced Concrete Design Handbook, a two-volume set, aids in the design of reinforced concrete buildings and related structures. The handbook includes an overview chapter on reinforced concrete structural systems, a chapter on the different analysis procedures addressed in the ACI 318 Code, and a chapter on durability of concrete. Available in print and digital formats.

www.concrete.org



American Concrete Institute
Always advancing

Protección catódica y reparaciones de concreto en los condominios Sound of the Sea II

La evaluación después de una década indica un éxito duradero

por David G. Tepke, Clement A. Firlotte y Stephen P. Robinson

Construido en 1984, Sound of the Sea II es un edificio de condominios de hormigón armado de seis pisos con 36 propiedades individuales. Se encuentra ubicada en la isla Bogue Banks con 0,75 millas (1,2 km) de amplitud, a pocos cientos de pies del Océano Atlántico en Emerald Isle, Carolina del Norte, EE. UU. Incluye pasillos exteriores de acceso común (pasarelas) en el lado frontal del edificio y balcones privados para cada unidad (Fig. 1).

La ubicación de Sound of the Sea II lo hace altamente susceptible a la penetración de cloruros por las sales provenientes del océano y al daño asociado a la corrosión del acero embebido. Se reportó la instalación de revestimientos en pasillos y balcones alrededor de 1999. Estos revestimientos no detuvieron la corrosión de manera efectiva, como lo demostró la formación de delaminaciones posteriores. Dado el costo, la inconveniencia y el impacto en la ocupación de los inquilinos y propietarios asociado con los proyectos de reparación y mantenimiento de propiedad, los propietarios comisionaron un proyecto de reparación integral en 2007/2008 para abordar el deterioro del concreto relacionado con la corrosión, incluyendo la preservación del concreto existente con protección catódica (CP). El proyecto de reparación, por un total de aproximadamente \$1.2 millones, se completó en diciembre de 2008 e incluyó:

- Reparaciones de hormigón estructural;
- Protección catódica por corriente impresa (ICCP) en balcones;
- Protección catódica galvánica localizada (GCP) en reparaciones de pasillos y parapetos de techos;
- Reparaciones de escaleras de acero;
- Mejoras de drenaje; y
- Recubrimientos protectores.

Evaluación

La valoración de la estructura antes del diseño incluyó la revisión de previos informes de evaluación y pruebas, la evaluación en el sitio y la recolección de muestras por parte del equipo de diseño. El equipo de diseño revisó y utilizó información de un informe preliminar de evaluación de durabilidad y un informe de estudio de delaminación preparado por una empresa dedicada a pruebas y



Fig. 1: Condominios Sound of the Sea II: (a) vista desde la playa; y (b) vista desde el parqueadero frontal en 2019 (más de 10 años después de reparaciones)

consultorías en 2006. Los informes fueron entregados al equipo de diseño por la compañía de gestión para su revisión e incluyeron resultados y recomendaciones generales. Los informes indicaron un recubrimiento generalmente bajo en el acero de refuerzo, cloruros a profundidad del acero de refuerzo en concentraciones suficientes para iniciar la corrosión (aproximadamente 500 a 1500 partes por millón en algunos lugares), delaminación significativa y evidencia de corrosión basada en pruebas de potencial de media celda. Se identificaron considerablemente más delaminaciones en los balcones en comparación con los pasillos.

En 2007, se realizaron excavaciones como parte del esfuerzo de diseño para revisar el acero embebido y condiciones estructurales. Las muestras de núcleos se extrajeron de un área del corredor y un balcón para que un tercero realizara pruebas de resistividad. Se encontró que la resistividad era relativamente baja y, por lo tanto, propiciaba la corrosión activa para ambas muestras. Es de destacar que la muestra del balcón (4800 ohm-cm como se recibió; 3000 ohm-cm después de 12 horas de saturación y remoción del baño) tenía aproximadamente 60% de la resistividad de la muestra tomada del pasillo (7700 ohm-cm; 4700 ohm-cm). Las excavaciones revelaron una corrosión significativa del acero de refuerzo (Fig. 2).

Diseño

El presupuesto era de suma importancia para los propietarios. Por lo tanto, era necesario evaluar las opciones de reparación/conservación que prolongarían la vida útil pero que no sean demasiado conservadoras ni costosas. Los diseñadores discutieron los méritos de ICCP y GCP globales con los propietarios. Dadas las diferencias espaciales en la exposición, las diferencias identificadas en la magnitud de daño, las limitaciones presupuestarias y las directivas de los propietarios, se adoptaron dos enfoques separados para la reparación y protección. Reparaciones de hormigón-una alternativa para ICCP-y revestimientos cementicios fueron especificados para balcones donde el daño era más severo. Reparaciones limitadas de concreto, revestimientos de uretano y una alternativa de GCP localizado fueron especificados para corredores donde el daño era más esporádico y la exposición algo menos severo. Se proporcionaron alternativas en la propuesta de CP para brindar flexibilidad a los propietarios. En la Fig. 3 se resume una descripción general de las reparaciones primarias de los pasillos y balcones.

Según lo exigido por los propietarios, las puertas corredizas de vidrio permanecieron en su lugar durante las reparaciones de los balcones y no se reemplazaron las barandas empotradas existentes. La capacidad de quitar, almacenar y reutilizar los protectores para realizar reparaciones requería una aprobación especial del funcionario de la normativa.

El diseño incluyó una especificación de rendimiento con requisitos prescriptivos adicionales para ICCP, incluyendo una garantía sin corrosión de 10 años.



Fig. 2: Ejemplo de la excavación para pruebas durante la evaluación en 2007

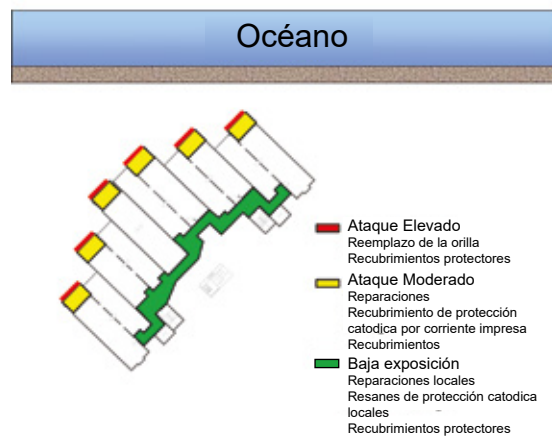


Fig. 3: Esquema de la posición de la torre y la estrategia final de reparación

Materiales de reparación compatibles con GCP localizado y el ICCP global fueron especificados.

Construcción General

Los propietarios optaron por aceptar la alternativa de ICCP para balcones y GCP localizados para pasillos y parapetos de techo. La notificación para proceder se emitió en octubre de 2007. El proyecto se completó sustancialmente para todos los elementos, excepto los revestimientos del corredor, en diciembre de 2008, completando los revestimientos en pocos meses siguientes.

Las reparaciones incluyeron orientaciones horizontales, de profundidad total, verticales y elevadas y fueron más sustanciales en los balcones en comparación con los pasillos. Las reparaciones se completaron cortando con sierra las superficies en las extensiones de la reparación, picando el concreto deficiente, preparando las superficies mediante pulido con chorro de arena y acondicionando para lograr una condición saturada superficialmente seca. Se utilizaron materiales de reparación preempacados a base de cemento portland. Se utilizaron morteros de reparación pre-dosificados para reparaciones más profundas. Las reparaciones se curaron en húmedo después de la instalación.

Todas las superficies horizontales fueron inyectadas y revestidas con revestimientos cementicios (balcones) y revestimientos de poliuretano (pasillos)



Fig. 4: Reparaciones de balcones: (a) acceso general a la construcción con plataformas colgantes; (b) extensión de daño; y (c) uno de los balcones con daños más severos necesitando el uso de puntales. Nótese la ausencia de paredes en las puertas deslizantes de vidrio en los balcones

después de las reparaciones de hormigón. Las superficies superiores y verticales se prepararon y recubrieron con un recubrimiento acrílico transpirable donde era necesario.

Balcones

Se utilizaron plataformas colgantes para el acceso a los balcones (Fig. 4 (a)) Debido a la logística del proyecto y la cantidad de avería descubierta (Fig. 4 (b)), se hizo evidente de inmediato que la manera más eficiente y rentable de abordar los bordes de la losa era eliminar todo el borde de la losa. Aunque se eliminó algo de concreto sólido, este método fue menos complicado y permitió una instalación más eficiente de refuerzo suplementario para tratar el acero de refuerzo severamente corroído. También permitió una coordinación e instalación efectiva de los bordes de goteo y los postes de las barandas después de las reparaciones. Un desafío importante para el proyecto fue minimizar el daño a las barandas durante la remoción, almacenamiento y reinstalación, y asegurarse de que la instalación del borde de la losa se coordinara con los nuevos orificios para postes ubicados con precisión.

En general, fue necesaria una remoción de concreto menor que la típica debido al uso de ICCP. Sin embargo, algunos balcones requirieron reparaciones de profundidad total en áreas sustanciales que requirieron soporte temporal (Fig. 4 (c)). Análisis de elementos finitos se utilizó durante el proyecto para evaluar las condiciones para la toma de decisiones de campo. Se utilizaron empalmes mecánicos y anclajes adhesivos cuando se encontró acero de refuerzo severamente corroído o acero inadecuado y había espacio limitado disponible para empalmes traslapados. Esto también permitió reducir las cantidades de remoción de concreto.

Las reparaciones de balcones requirieron protección de puertas corredizas de vidrio. Las reparaciones generalmente terminaron en las puertas; sin embargo, el daño en un número limitado de áreas requirió que las reparaciones continuaran por debajo de los umbrales en las unidades. Esto requirió una ejecución cuidadosa y bien planificada de reparaciones de concreto, así como materiales de reparación de curado rápido para minimizar el impacto en interiores y ocupantes.

Las reparaciones de hormigón y la reinstalación de barandas se coordinaron con el sistema ICCP. El acero de refuerzo se unió en las áreas de reparación para reducir el potencial de corrosión por corrientes parásitas. Los postes de protección de aluminio reinstalados se colocaron en bolsas de cloruro de polivinilo (PVC) llenas de epoxi para proporcionar una barrera dieléctrica entre las protecciones y el concreto sujeto a ICCP. En los balcones se instalaron revestimientos cementicios transpirables y texturizados por motivos de estética y funcionalidad.

Pasillos y otras áreas

Se utilizaron ascensores y accesos pedestres en los pasillos. Las reparaciones en los pasillos (Fig. 5 (a)), columnas y paredes fueron menos frecuentes y



Fig. 5: Reparaciones en progreso: (a) refuerzo expuesto en pasillos; (b) refuerzo expuesto en parapetos; y (c) GCP y encofrado instalado en la reparación de parapetos

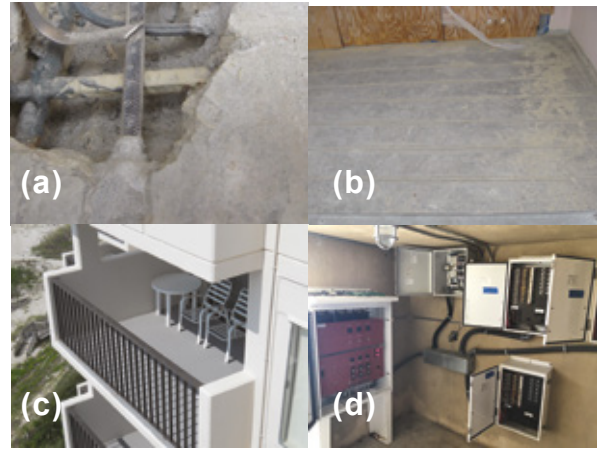


Fig. 6: Características del sistema ICCP: (a) ánodos y aislamiento de bajo recubrimiento en acero de refuerzo; (b) ánodos en ranuras inyectadas; (c) terraza de balcón terminada con conducto vertical (foto tomada en 2010); y (d) componentes del sistema de control y energía (Mayo 20, 2019)

generalmente más pequeñas que las de los balcones. Las reparaciones en los parapetos del techo (Fig. 5 (b) y (c)) fueron variables. Ánodos de zinc galvánico activado por álcali disponibles en el mercado se incrustaron en las reparaciones de parches para ayudar a prevenir ánodos incipientes directamente fuera de las áreas de reparación y el daño asociado. Los ánodos se ataron al acero de refuerzo dentro de los parches y todo el acero de refuerzo y los ánodos dentro de los parches se confirmaron eléctricamente continuos. El acero de refuerzo se recubrió con un agente adhesivo anticorrosivo cementicio/epoxi. Esto tuvo el efecto añadido probable de desviar la corriente desde el ánodo al sustrato de hormigón existente.

Se realizaron pruebas de inundación para identificar áreas estancadas. Se instalaron desagües adicionales para hacer frente a los encharcamientos importantes y un revestimiento de uretano como medidas de impermeabilización y gestión del agua. Los revestimientos de la plataforma se extendieron hasta la pared con refuerzo de malla en la transición.

Sistema ICCP en Balcones

El sistema ICCP (Fig. 6) fue diseñado por el fabricante para cumplir con los requisitos del proyecto y del contrato durante el proyecto y fue instalado por un contratista especializado con experiencia. Incluye ánodos de cinta

de malla de titanio/óxido de metal mixto (MMO) de 3/8 pulg. (10 mm) de ancho con una clasificación de corriente de 0.85 mA/pie (2.79 mA/m) inyectados en ranuras de 9/16 pulg. (14 mm) de ancho y 1/2 pulg. (13 mm) de profundidad espaciadas aproximadamente 12 pulg. (305 mm) en el centro y conectadas a cabezales de titanio de 1/2 pulg. de ancho. Se realizaron pruebas para confirmar la continuidad del refuerzo y la separación del refuerzo de los ánodos. Las incrustaciones se conectaron a tierra para el sistema negativo. Cuando se encontró que los ánodos y el refuerzo eran continuos, se aislaron. Las conexiones negativas y del ánodo del sistema se llevaron a través del concreto a una caja de conexiones en cada uno de los 36 balcones y luego al transformador/rectificador de voltaje constante en la sala de máquinas en el techo a través de conductos de PVC pintados a juego con el edificio.

La circuitería se dividió en tres zonas de protección catódica, cada una con 12 unidades sobre dos pilas de balcón verticales. El cableado de cada balcón se conectó a la zona asignada a través de una resistencia variable para el control individual de los balcones. Cada zona incluía cuatro electrodos de referencia de Ag/AgCl/KCl (plata/electrodos de referencia de cloruro de plata sumergidos en una solución de cloruro de potasio) integrados para pruebas de despolarización, puesta en servicio y monitoreo futuro. Se instalaron equipos de monitoreo remoto y un módem que permitieron la revisión del sistema.

El sistema se puso en servicio y se ajustó en septiembre de 2008 con aproximadamente 60 mA de corriente entregada al balcón promedio (aproximadamente 0,73 mA/pie²acero, diseño [7,86 mA/m² acero, diseño]; 0,48 mA/pie²hormigón [5,17 mA/m²hormigón]; 0,41 mA/ftánodo [1,35 mA/mánodo]). Se utilizó la prueba de despolarización según la publicación NACE 351081 durante un período de 4 horas para evaluar el sistema, y la despolarización de 100 mV se consideró una protección efectiva. Los datos de despolarización durante la puesta en servicio se muestran en la Fig.7.

Totales generales de reparación

El costo final del proyecto fue de aproximadamente \$1.2 millones. Se llevaron a cabo aproximadamente 830 pies² (77 m²) de reparaciones horizontales de concreto, 275 pies² (26 m²) de reparaciones en lo alto y 30 pies² (3 m²) de reparaciones verticales. Aproximadamente 4660 pies² (430 m²) de balcones están protegidos por ICCP.

Visitas recientes al sitio y comentarios finales

La compañía de gestión ha comunicado que no se han necesitado reparaciones importantes asociadas con el trabajo realizado en 2007/2008 y que sólo ha sido necesario un mantenimiento mínimo

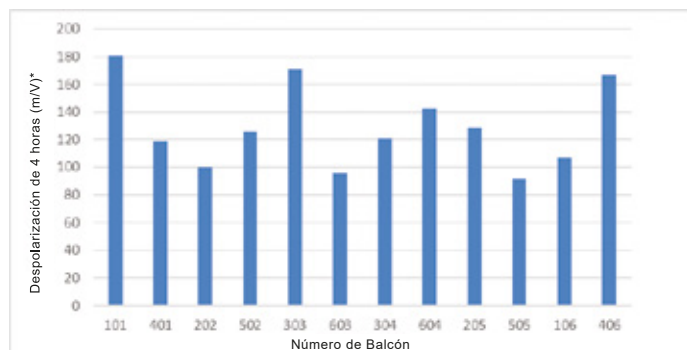


Fig. 7: Despolarización de 4 horas (Septiembre 25, 2008) (Nota: Unidad 505-97 mV en 6.25 horas; Unidad 603-102 mV en 5.25 horas)



Fig. 8: Áreas típicas de balcones y pasillos a Mayo 20, 2019

Tabla 1: Resumen de los datos de despolarización de 2008 y 2019

ICCP despolarización*	Septiembre 2008	Mayo 2019
Promedio de despolarización de 4 horas en acero de refuerzo, mV	130	182
Promedio de potencial despolarizado de acero de refuerzo, mV **	-269	-199

*Basado en 12 electrodos embebidos Ag/AgCl incrustados de referencia

**Transformado a CSE

Esto contrasta con otras propiedades cercanas que requieren reparaciones y mantenimiento mucho más extensos. Según se informa, las barandillas fueron reemplazadas después del proyecto en 2015; sin embargo, las reparaciones de concreto, los revestimientos y la protección catódica instalados como parte del proyecto 2007/2008 se han desempeñado generalmente bien y se encuentran en condiciones de servicio, incluso resistiendo una serie de huracanes durante los últimos 10+ años en un entorno muy duro y rico en cloruros.

Durante las visitas en 2019, se observó que los componentes críticos del sistema ICCP estaban funcionando para proteger el acero de refuerzo dentro de los parámetros de diseño originales. Si bien se observaron algunas pequeñas manchas de corrosión discretas y una pequeña delaminación en los sofitos de los balcones, probablemente asociados con empotramientos de acero discontinuos, no se observó ningún deterioro importante del concreto en los balcones reparados y protegidos con ICCP en 2007/2008. Se reemplazó la batería de respaldo del dispositivo de monitoreo remoto como parte del mantenimiento de rutina, y el dispositivo de monitoreo del sitio y los conductos de cableado en el techo requirieron mantenimiento después de un gran huracán reciente; sin embargo, estos elementos no han afectado la protección.

Los anclajes de barandillas en el hormigón del proyecto de reemplazo de barandillas de 2015 tenían conectividad variable, lo que demuestra la necesidad de coordinar todas las reparaciones del hormigón sometido a ICCP. Se observaron algunos daños en el concreto en áreas de pasarelas y parapetos de techos donde no se instaló ICCP, y se observaron algunos daños aislados en el revestimiento de la plataforma, pero las reparaciones y los revestimientos instalados generalmente han funcionado bien. Las áreas de balcones y corredores a mayo de 2019 se muestran en la Figura 8.

La Tabla 1 contiene una comparación entre los datos recopilados y reportados por el Diseñador del Sistema en 2008 y 2019. Después de 11 años, la despolarización promedio aumentó y el potencial despolarizado promedio disminuyó, alcanzando, en promedio, un nivel de pasivación (más positivo que -200 mV versus un electrodo de referencia de sulfato de cobre-cobre [CSE]) según la publicación NACE 35108.1 Este proyecto sirve como un ejemplo de cómo el ICCP puede proporcionar una extensión de la vida útil a largo plazo y muestra que la selección estratégica de diferentes estrategias de conservación en un edificio puede proporcionar beneficios económicos, efectivos y a largo plazo.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer a Tourney Consulting Group como la firma que redactó el informe preliminar de evaluación de durabilidad de 2006 y el informe de delaminación utilizado por el equipo de diseño como información de fondo; y Bushman & Associates como la empresa que realizó pruebas de resistividad durante la etapa de diseño. Los autores también desean agradecer al equipo de diseño y construcción que incluyó a SKA Consulting Engineers, Inc.; Carolina Restoration & Waterproofing, Inc.; Southern Catholic Protection, Inc.; y Corpro Companies, Inc.

Referencias

1. "One Hundred Millivolt (mV) Cathodic Polarization Criterion," NACE Publication 35108-2008-SG, NACE International, Houston, TX, 2008, 33 pp.



El miembro de ACI **David G. Tepke** es Director de Proyectos Senior y Gerente de Grupo en SKA Consulting Engineers, Inc., en Charleston, SC, EE.UU. Sus principales intereses y experiencia incluyen ensayos y análisis, evaluación de la construcción y solución de problemas, investigaciones estructurales, evaluación de la durabilidad, reparación estructural y diseños a prueba de agua, y el diseño para la extensión de la vida útil de estructuras nuevas y existentes en una amplia gama de sectores, tipos de construcción, épocas de construcción y exposiciones. Es miembro de varios comités técnicos, incluyendo los Comités ACI 201, Durabilidad del Concreto; 222, Corrosión de Metales en el Concreto; 301, Especificaciones para el Concreto Estructural; y 329, Criterios de Desempeño para el Concreto Premezclado. Tepke recibió su licenciatura y maestría en ingeniería civil de la Universidad Estatal de Pensilvania, State College, PA, EE.UU., y es un ingeniero profesional registrado en varios estados.



El miembro del ACI **Clement A. Firlotte** es Director de Proyectos Senior en Corpro Companies, Inc., en Medina, OH, USA. Su experiencia previa incluye 8 años en una firma de arquitectura e ingeniería como Ingeniero Estructural de Puentes. Como un reconocido líder en la industria en el control de la corrosión de las estructuras de concreto reforzado, tiene más de 30 años de experiencia involucrando en el diseño, instalación y manejo tanto de sistemas de protección catódica impresa y galvanizada para estructuras de concreto reforzado. También es miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), el Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI) y NACE Internacional. Firlotte obtuvo su licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Akron, Akron, OH, EE.UU., y es ingeniero profesional con licencia en cinco estados.



Stephen P. Robinson, Presidente de SKA Consulting Engineers, Inc., en Greensboro, NC, EE.UU., ha sido un ingeniero con licencia por más de 21 años. Su carrera profesional en ingeniería ha sido mayormente enfocada en la investigación de problemas en los edificios existentes, así como el diseño y la implementación de reparaciones, incluyendo múltiples estructuras en ambientes con alto contenido de cloruros. Recibió su maestría en ingeniería civil con énfasis en ingeniería estructural de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, NC, EE.UU.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Centro Sur Ecuador.

Título: Protección catódica y reparaciones de concreto en los condominios Sound of the Sea II



Traductor: MSc.Ing. Esteban Sarmiento.



Revisor técnico: Ing. MSc.Dic Santiago Velez Guayasamin