

Puntos de Práctica

NUMERO **16**

Evaluación de Estructuras Históricas de Concreto

ANN HARRER AND PAUL GAUDETTE

El concreto, un material de construcción popular, ha sido utilizado por la industria de la construcción moderna durante más de un siglo. Compuesto por agregado grueso (grava y piedra triturada), agregado fino (arena), cemento y agua, y en algunos casos con aditivos para aumentar la durabilidad y fluidez del material, el concreto ha sido utilizado ampliamente para pavimentación, aceras, carreteras, puentes, túneles, edificios y otras estructuras. El uso del concreto aumentó rápidamente en la construcción del siglo XX, ya que ofrecía las ventajas de adaptarse prácticamente a cualquier forma, estaba disponible en varios acabados arquitectónicos y proporcionaba resistencia al fuego superior a la de muchos otros materiales de construcción. El concreto armado ofrece el beneficio adicional de reforzar con acero para lograr una resistencia a la tracción la cual

las ventajas y potencial del concreto, este se utilizó ampliamente. No sólo para elementos estructurales, también para acabados arquitectónicos tanto en el exterior como en el interior de los edificios. Ampliamente utilizado en la arquitectura modernista, el concreto definió esencialmente el movimiento de arquitectura brutalista, llamado así por el término francés *béton brut*, que significa concreto crudo. Los arquitectos Le Corbusier, Erno Goldfinger y otros fueron pioneros en el movimiento brutalista. Otros arquitectos modernos, como Louis Kahn, Tadao Ando y Welton Becket, continuaron la incorporación del concreto en sus diseños. Las figuras 1 a 3 ilustran el uso del concreto visto como componente arquitectónico. El concreto colado in situ se define como la mezcla que se deposita y se endurece en el



Fig. 1.
Fachada de concreto arquitectónico expuesto y elementos de concreto en Bailey School, Jackson, Mississippi, diseñado por el arquitecto A. Hays Town y construido en los 1920s. Fotografía 2016.
All photographs by the authors unless otherwise noted.

permite que el concreto se utilice mucho más ampliamente como elemento estructural. A medida que continúa el desarrollo de nuevos aditivos, las posibilidades de construcción del concreto parecen limitadas solo por la creatividad del diseñador.

El concreto ganó popularidad rápidamente como material ignífugo, dado al crecimiento exponencial de las ciudades a principios del siglo XX. A medida que fue creciendo el conocimiento de

encofrado. Una vez el concreto gana la resistencia adecuada, el encofrado se remueve, exponiendo la superficie del concreto. El vaciado de la piezas prefabricadas se realizan fuera del sitio. Una vez se alcanza la resistencia adecuada, los elementos prefabricados se transportan a sus ubicaciones finales y se instalan. Ambos métodos permiten variaciones en la apariencia final. Al utilizar el concreto como material arquitectónico,

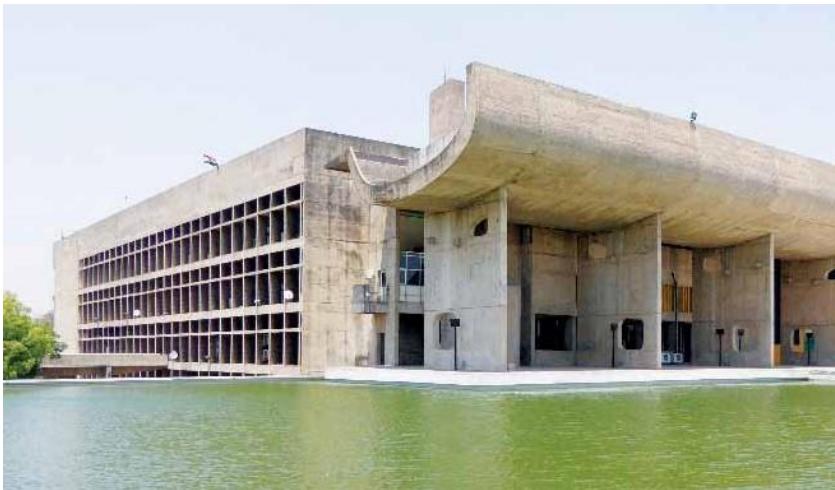


Fig. 2.
Concreto expuesto usado como terminación arquitectónica en Asamblea Legislativa en Chandigarh, India, diseñado por Le Corbusier, 2016.

Fig. 3.
Concreto expuesto usado como terminación arquitectónica en Salk Institute para Estudios Biológicos, La Jolla, California, diseñado por Louis Kahn, 2016.

los arquitectos no tan solo han prestado atención a sus componentes materiales, sino también a los métodos de construcción, ya que estos factores afectan directamente la estética. Al variar la cantidad y el tipo de componentes del material, incluidos los agregados y el cemento, se pueden ajustar las propiedades y el color del concreto. Las técnicas de acabado y el método constructivo afectan la apariencia y textura final de la superficie. Algunas de las técnicas de acabado usadas históricamente y en la actualidad incluyen la exposición de los agregados, conservación de la textura del encofrado para un acabado áspero y frotar para crear un acabado liso (Figs. 4, 5, 6, y 7).

Al igual que otros materiales de construcción, el concreto eventualmente se deteriora con el tiempo y con la exposición al medio ambiente. Las principales causas de deterioro suelen estar relacionadas con la congelación y descongelación del agua interna, la corrosión del acero, y los problemas con los componentes o durante construcción, como refuerzo insuficiente. La naturaleza y gravedad de cada tipo de deterioro depende del clima y otras condiciones de exposición (como contaminantes y/o cloruros). El deterioro y los daños también pueden estar relacionados con problemas estructurales, como la sobrecarga o los desastres naturales, como terremotos. Para enfrentar los daños y el deterioro, se debe desarrollar una estrategia de rehabilitación;

este proceso también requiere de comprensión de las intenciones del propietario del proyecto.

Es importante tener en cuenta que las estructuras históricas inventariadas o declaradas a nivel federal, estatal o local estarán sujetas a las normas o requisitos de las instituciones para las revisiones asociadas con la preservación y rehabilitación.

Si bien se utilizan procesos y procedimientos similares para la evaluación de cualquier estructura de concreto, puede ser necesaria una investigación adicional para las estructuras históricas. El desarrollo de las reparaciones puede ser complicado debido a los métodos de construcción originales, el acabado expuesto, la conservación del tejido histórico u otros factores.

Las expectativas deben establecerse con el propietario al comienzo del proyecto. Puede haber situaciones en las que los objetivos finales del propietario de una propiedad designada como histórica no estén alineados con los estándares vigentes, y es responsabilidad del profesional del diseño guiar el proyecto para desarrollar metas, una estrategia de rehabilitación y un programa de mantenimiento que sean sensibles al tejido histórico, y el carácter del edificio. La consideración de la importancia de la estructura de concreto, los objetivos de preservación y las limitaciones en las reparaciones y modificaciones deben ser comunicadas con el propietario de una propiedad histórica y arquitectónicamente significativa durante las etapas iniciales del proyecto.

Una estrategia de rehabilitación sensible aborda los problemas existentes, incluidos los problemas estructurales, con materiales y procedimientos de reparación compatibles y sin eliminar o modificar innecesariamente elementos significativos. Como paso inicial en el desarrollo de una estrategia de rehabilitación, se debe realizar una evaluación de la estructura para evaluar las condiciones existentes y determinar las causas de daños y deterioro. Los hallazgos de la evaluación proporcionan la base para el desarrollo de una estrategia de rehabilitación, que generalmente incluye un programa de reparación y mantenimiento. La evaluación también debe incluir la identificación y documentación de componentes históricos o arquitectónicamente significativos. Una comprensión de la construcción original, así como de los mecanismos de deterioro, proporciona información para apoyar el desarrollo del programa de reparación y mantenimiento.

Investigación

El primer paso en cualquier evaluación es recopilar información relevante de la construcción original, el uso, el mantenimiento y la modificación de la estructura a través del tiempo. Este paso inicial permite a los profesionales del diseño que realizan la evaluación familiarizarse no solo con la construcción original, sino también con la reparación y el mantenimiento previo de la estructura.



Fig. 4.
Acabado de concreto liso.

Fig. 5.
Acabado de concreto formado por tablero.



Fig. 6.
Acabado de concreto formado por tablero.

Fig. 7.
Acabado de concreto con agregado expuesto.

Dependiendo de los objetivos del proyecto, para las estructuras de concreto armado, podría ser necesaria una comprensión del diseño y el comportamiento del sistema estructural. El sistema estructural diseñado, así como los materiales y métodos de construcción, tienen un impacto en el diseño de reparación, así como en el desempeño de la estructura. Además, es importante comprender las condiciones de la construcción original y los materiales utilizados. Por ejemplo, una revisión de documentos puede indicar que el diseño de la mezcla para el concreto colocado durante el invierno puede incluir un aditivo acelerador que puede contener cloruros. Si la documentación disponible es limitada, podría ser necesaria una investigación de campo más detallada para comprender el diseño original y la construcción existe. En muchas ocasiones, los dibujos de construcción originales están disponibles. En algunos casos, las especificaciones u otra correspondencia relacionada con la construcción, como informes de campo, presentaciones, solicitudes de información, registros de control de calidad de la construcción e información del fabricante relacionada con los productos instalados, también podrían estar disponibles. Las fotografías de archivo también pueden proporcionar información sobre los métodos de construcción y el uso del edificio. Los artículos de

de noticias de la época de la construcción también pueden ser un recurso para estructuras, particularmente si la estructura es prominente para la comunidad o se considera notable por su arquitectura. También se puede encontrar información en la documentación de investigaciones anteriores y trabajos previos de reparación y mantenimiento, así como a través de entrevistas con el propietario, los gerentes de las instalaciones y el personal de mantenimiento. Es importante verificar información obtenida a través de investigaciones y entrevistas en condiciones reales. Si los planos de construcción originales no están disponibles, la información sobre los sistemas patentados de refuerzo y encofrado podrían estar disponible en los catálogos de los fabricantes o en los datos del producto. Si existe un informe de estructura histórica, es probable que contenga información valiosa relacionada con la historia, la construcción y el uso del edificio. Además, si están disponibles, los informes de nominación de puntos de referencia, la documentación de Historic American Building Survey (HABS) y Historic American Engineering Record (HAER), u otros documentos pueden proporcionar información sobre el edificio.

Investigación de Campo

El siguiente paso es la investigación de campo, que incluye una encuesta de condición y una comparación de la construcción as-built con los documentos y la información obtenida durante la investigación.

Fig. 8.
Delaminación y
desprendimiento en
concreto expuesto,
documentado como
parte del
levantamiento de
condición visual.
Fotografía por
Adrienne Goetz, WJE.



Fig. 9.
Patología relacionada con la
congelación y el deshielo en
un monumento histórico de
hormigón expuesto,
Wyoming, 2008.



Además, la investigación de campo debe utilizarse para identificar y confirmar los elementos arquitectónicos o históricamente significativos. La investigación de campo generalmente incluye observaciones visuales, documentación y medición de elementos de interés, así como pruebas no destructivas, aperturas de inspección y extracción de muestras para pruebas de laboratorio, como se explicará más adelante. La encuesta de condición es la parte más importante de la investigación de campo porque proporciona la información de referencia para un mejor análisis y desarrollo de un enfoque de rehabilitación. Las modificaciones o reparaciones no mencionadas en los documentos deben ser investigadas, ya que podrían tener un impacto en el comportamiento de los elementos estructurales o podrían potencialmente contribuir al deterioro. Además, es necesario evaluar las modificaciones de las estructuras históricas para determinar su importancia. En el caso del concreto armado, las condiciones de construcción pueden no ser visibles ya

que las barras de refuerzo están empotradas en concreto; por lo tanto, es probable que se necesiten pruebas adicionales, evaluaciones no destructivas o aperturas de inspección para confirmar las condiciones ocultas. El estudio de condición comienza con una revisión visual y la documentación de las condiciones existentes de los componentes de concreto, incluidos los elementos estructurales y arquitectónicos, el acabado, y textura originales de concreto. Los recubrimientos o membranas aplicados al concreto y la condición de estos sistemas también deben investigarse y documentarse. La documentación del deterioro observado, incluyendo desprendimientos y grietas, generalmente incluye fotografías, notas y anotaciones en planos o elevaciones para indicar ubicaciones y tamaños de deterioro y daños observados. El agrietamiento no es una condición inusual; sin embargo, la investigación y la documentación del agrietamiento pueden proporcionar información sobre por qué ocurrió el agrietamiento. El estudio de la condición también puede proporcionar información sobre la construcción original como técnicas de colocación, mala consolidación del concreto durante la instalación, y otros problemas. Las espigas que exponen el refuerzo corroído son de particular interés, ya que este es un mecanismo de deterioro primario, y también puede proporcionar información sobre el refuerzo (Fig. 8).

El uso y la exposición de la estructura también deben documentarse (Fig. 9). Por ejemplo, como los cloruros pueden inducir la corrosión del refuerzo, es importante tener en cuenta cualquier posible fuente externa de cloruro; estas fuentes pueden incluir sales utilizadas en aceras adyacentes o superficies de conducción en el invierno para reducir la nieve y el hielo, o la proximidad de la estructura al océano. La ubicación del edificio y la fuente de los materiales presentes pueden proporcionar información sobre la construcción original. Por ejemplo, la arena local o el suelo con características únicas de la ubicación pueden haberse utilizado como agregados finos, lo que puede afectar el rendimiento del concreto. Si el deterioro parece exclusivo o particularmente prominente en una porción de la estructura (por ejemplo, cuando se coloquen barandillas), estas condiciones deben documentarse. El deterioro localizado o único puede ser indicativo de prácticas de construcción inadecuadas en una parte de la estructura, inquietudes estructurales, incompatibilidad de materiales, deterioro relacionado con el uso de la estructura u otros mecanismos de daños que afecten solo a un componente, o áreas específicas de la estructura.

Pruebas de Campo y de Laboratorio

Para confirmar y aumentar los resultados de la investigación visual, las pruebas no destructivas, las aperturas de inspección y los estudios de laboratorio son útiles para localizar y determinar el alcance del deterioro y las condiciones de patologías en el concreto, confirmando las condiciones as-built, evaluando las causas de deterioro y daños, y proporcionando información sobre los materiales de concreto. El refuerzo incrustado dentro del concreto a menudo requiere una investigación adicional del estudio visual para comprender la construcción tal como se construyó

o para verificar la información que se muestra en los documentos de construcción.

La evaluación no destructiva puede proporcionar cierta información sobre la ubicación del refuerzo, las propiedades del concreto y la ubicación y el alcance de los daños. El tipo más común de pruebas no destructivas son las pruebas de sonido, que implican tocar la superficie de concreto con un martillo u otro instrumento duro o arrastrando cadenas pesadas sobre superficies horizontales para identificar áreas de concreto descaminado y no sólido; estas áreas sonarán huecas. El sondeo es una técnica de prueba de campo simple pero valiosa, y debe utilizarse en la mayoría de los estudios de condición de estructuras de concreto. Otras técnicas de prueba no destructivas implican pasar ultrasonidos o las ondas de radar a través del concreto y medir la respuesta; los cambios en la frecuencia o velocidad de las ondas pueden indicar componentes incrustados o daño dentro del elemento no visible en la superficie. El radar de penetración en el suelo y los medidores de cobertura se usan comúnmente para confirmar las condiciones de construcción, como las dimensiones, cuando solo se puede acceder a un lado del elemento de concreto; estas técnicas también ayudan a identificar la ubicación del refuerzo y otros elementos incrustados o encerrados (Fig. 10). Las aberturas exploratorias se utilizan para confirmar los resultados de las pruebas no destructivas.

Como las condiciones que contribuyen al deterioro y el daño dentro de las estructuras de concreto a menudo no son visibles, el uso de aberturas de inspección y pruebas de campo para verificar las condiciones del estudio visual, el sondeo y las pruebas destructivas son a menudo una parte importante de la evaluación. Por ejemplo, para determinar el alcance de la carbonatación, es necesario probar muestras retiradas de la estructura con fenolftaleína; determinar el grado de carbonatación del concreto es importante, ya que el concreto carbonatado pierde su capacidad inherente de proteger pasivamente el refuerzo incrustado de la corrosión. Las ubicaciones para las aberturas de inspección deben ser representativas de las diversas condiciones observadas durante la encuesta y deben ser lo más discretas posible, especialmente en estructuras históricas. El daño existente puede proporcionar información y minimizar el requisito de eliminación adicional de material. Por ejemplo, los escombros existentes brindan la oportunidad de examinar las condiciones ocultas. Las aberturas de inspección pueden revelar el tamaño y el espaciado del refuerzo, la profundidad de la cubierta de concreto, la información sobre la mezcla de concreto, la profundidad del deterioro e informa-



Uso de pruebas no destructivas para determinar la ubicación del acero de refuerzo durante una evaluación de una estructura de concreto armado.

ciones adicionales. Los estudios de laboratorio pueden proporcionar información en cuanto a las características del concreto y las causas del deterioro. Las muestras, preferiblemente núcleos de concreto del tamaño requerido por el laboratorio prescrito, se pueden extraer de lugares representativos. Las ubicaciones de los núcleos no deben realizarse cerca de áreas con ubicaciones de refuerzo, a menos que sea necesario confirmar las condiciones del refuerzo. Se debe consultar a un ingeniero estructural si el refuerzo se va a dañar durante el muestreo. Si no se pueden obtener muestras de núcleos debido al presupuesto, el acceso u otras limitaciones, los fragmentos o las escamas incipientes producen alguna información, aunque limitada por la naturaleza incontrolada de un fragmento. Las pruebas de laboratorio pueden determinar la resistencia a la compresión del concreto, el contenido de cloruro, el contenido de aire, los componentes específicos (a través del análisis químico) y otra información. La petrografía, el análisis detallado y el estudio del concreto mediante estereomicroscopía, proporciona información valiosa sobre la composición del concreto, la mezcla original del concreto y las posibles causas de la observación del daño. Información recopilada a través de los estudios de materiales ayudan a identificar las causas de daños y también ayudan en el desarrollo del alcance del trabajo para reparaciones, como la especificación de diseños de mezcla de concreto compatibles y estéticamente compatibles.

Evaluación de los Resultados

Los hallazgos de la revisión de documentos, la investigación de campo y las pruebas de laboratorio se estudian para determinar las causas subyacentes del deterioro y los daños observados. En algunos casos, la evaluación y el análisis estructural pueden ser necesarios si, por ejemplo, se determina que las condiciones de construcción son diferentes de lo previsto (por ejemplo, menos refuerzo en la estructura que se muestra en los documentos de construcción). La(s) causa(s) del deterioro y los daños observados deben entenderse para desarrollar un alcance apropiado y definir el alcance del diseño de reparación. El uso previsto y el mantenimiento de la estructura por parte del propietario, así como su importancia y valor, también deben entenderse y considerarse durante la evaluación.

Fig. 10.

A través de la evaluación de los resultados de los estudios y los objetivos del proyecto del propietario, se puede desarrollar un enfoque para abordar las preocupaciones del propietario y al mismo tiempo ser sensible a la preservación y conservación del tejido histórico. Típicamente, la evaluación concluye con la preparación de un informe para el propietario en el que se resumen los resultados de la evaluación y las recomendaciones para la reparación, con recomendaciones para una investigación adicional según sea necesario. El informe también sirve como base para el desarrollo de una maqueta o programa de reparación de prueba y documentos de construcción para las reparaciones.

En Conclusión

El uso del concreto como material arquitectónico y estructural ha creado desafíos, particularmente en los casos en que el concreto es un elemento arquitectónico expuesto. El concreto puede sufrir varios mecanismos de daños, que van desde la exposición ambiental, hasta el diseño y la construcción originales. El primer paso en la rehabilitación de una estructura histórica de concreto es una evaluación. Identificar las características arquitectónicas o históricamente significativas, comprender la construcción tal como se construyó y determinar el alcance y la causa del daño y el deterioro. La evaluación debe reunir tanta información sobre la construcción, el mantenimiento y el uso original, así como sobre la causa y el alcance de cualquier deterioro. La evaluación debe incluir la investigación y la revisión de documentos, seguida de una investigación de campo in situ y pruebas de campo y de laboratorio. Los datos resultantes se presentan con un informe que sirve como resumen de los hallazgos y, teniendo en cuenta los requisitos del proyecto del propietario y la importancia de la estructura, proporciona la base para el desarrollo de un enfoque de rehabilitación. Un enfoque de rehabilitación sensible aborda el daño y el deterioro existente con reparaciones compatibles y duraderas, al mismo tiempo que conserva o mantiene el tejido histórico, siempre que sea posible, así como mantiene o restaura la estética original.

Reconocimiento

Se le agradece a Deborah Slaton, FAPT, una principal con Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc., por su detallada revisión.

Lecturas Adicionales

American Concrete Institute. *Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service*. American Concrete Institute Committee 201, ACI 201.1R-08.

American Concrete Institute. *Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. American Concrete Institute Committee 228, ACI 228.2R-13

American Concrete Institute. *Guide to Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation*. American Concrete Institute Committee 364, ACI 364.1R-07.

American Concrete Institute. *Concrete Repair Guide*. ACI Committee 546, ACI 546R-14.

Custance-Baker, Alice, Gina Crevello, Susan Macdonald, and Kyle Normandin. *Conserving Concrete Heritage, An Annotated Bibliography*. Los Angeles, Calif.: The Getty Conservation Institute, 2015.

Gale, Frances and Doris Eichberg, guest eds. "Concrete." Special issue on Concrete, *APT Bulletin* 48, no. 1 (Spring 2017). Springfield, Ill.: Association for Preservation Technology, 2017.

Gaudette, Paul, and Deborah Slaton. *Preservation of Historic Concrete*. Preservation Brief 15. Washington, D.C.: National Park Service, Heritage Preservation Services, 2007.

Jester, Thomas C., ed. *Twentieth-Century Building Materials: History and Conservation*. Los Angeles, Calif.: The Getty Conservation Institute, 2014.

Macdonald, Susan. *Concrete Building Pathology*. Oxford, England: Blackwell Science, Ltd., 2003.

Meinheit, Donald, and Anthony Felder. *Vintage Steel Reinforcement in Concrete Structures*. Schaumburg, Ill.: Concrete Reinforcing Steel Institute, 2014.

Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. ASTM C856. West Conshohocken, Penn.: ASTM International, 2014.

Ann Harrer, P.E., is a senior associate with Wiss, Janney, Elstner, Associates, Inc., in Los Angeles. As a registered professional engineer, she specializes in the evaluation and repair of historic structures, particularly reinforced-concrete structures. She can be reached at aharrer@wje.com.

Paul Gaudette, FAPT, is a principal with Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc., in Chicago. Gaudette's work includes primarily the repair and preservation of various types of historic- and contemporary-concrete structures. He has authored numerous papers on the repair of modern and historic concrete and is also a fellow of the American Concrete Institute. He can be reached at pgaudette@wje.com.



The Association for Preservation Technology International
3085 Stevenson Drive, Suite 200
Springfield, IL 62703
217.529.9039

fax 217.529.9120
info@apti.org
www.apti.org