

# The Battle for Survival of Our Concrete Infrastructure

Condition evaluation and design are critical for success

by Alexander M. Vaysburd and Benoit Bissonnette

In both new construction and repairs of existing structures, concrete cracking has become a widespread problem. Unfortunately, we are losing ground in the battle for survival of our existing concrete infrastructure, and we will likely not reverse that course unless we achieve “high performance” in engineering design, material design and production, and construction practices. “High-performance” projects are successful only if the objectives of the service life have been reached. In this article, we share our thoughts on the condition evaluation of existing concrete structures as well as on repair design issues. Any weaknesses of this article are related to the limitations of our subjective viewpoints.

## Concrete Repair

Concrete repair is generally defined as an action taken to reinstate an acceptable level of functionality in a structure or its components that are defective, deteriorated, degraded, or damaged in some way; and it should be completed without restriction upon the materials or methods employed.<sup>1</sup> The purpose of a repair to a concrete structure is well defined by Young.<sup>2</sup> To be successful and avoid premature failure, a repair must be the “best” solution to the exact problem,<sup>3</sup> and it should include the necessary steps shown in Fig. 1. In other words, the cause of the distress must be comprehensively established to avoid providing a design that is an exact solution to an approximately defined problem.

## Condition evaluation

Condition evaluation can be considered analogous to a reconnoiter during battle. Continuing the analogy, the engineering task of finding the exact problems affecting the existing concrete structure allows one to understand the enemy’s plan of attack and develop defensive tactics and alternative solutions. Defensive maneuvers are not limited

to preemptive frontal attacks. Sometimes, it is sufficient to make a flanking move or simply keep watch on the enemy’s actions. After all, based on comprehensive appraisal of the

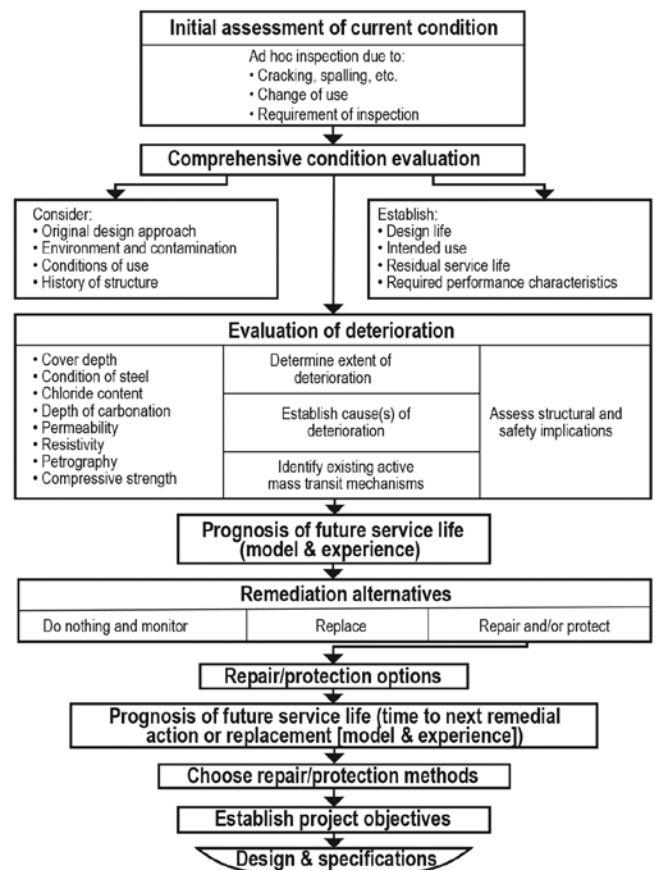


Fig. 1: Flowchart of concrete repair design<sup>4</sup>

**Table 1:**  
**Durability planning issues and considerations<sup>5</sup>**

| Issue                               | Considerations  |
|-------------------------------------|---|
| Function and type of structure      | Client's basic needs  |
| Performance requirements            | Acceptable technical performance<br>Serviceability and safety criteria<br>Importance of continuity of function during repair<br>Accessibility<br>Desirable service life<br>Maintenance strategy     |
| Loads and environmental effects     | Dead and live loading<br>Wind loading<br>Water and temperature effects<br>Aggressive agents and actions   |
| Internal conditions                 | Cracking, microcracking, and other flaws<br>Carbonation, chloride content, alkali-aggregate reactivity, sulfate attack, or physical salt attack<br>Reinforcement corrosion, section loss, debonding |
| Overall design approach             | Basic remediation strategy (monitor only; provide protection; repair; or make repairs, provide protection, and monitor)   |
| Evaluation of alternative solutions | Costs<br>Constructability and quality issues<br>Known experience of performance   |

condition evaluation results, one may do nothing, monitor, apply protection, make repairs, apply strengthening, or replace the structure. Combinations of these actions are also possible.

Repairing a deteriorated and distressed structure is also somewhat analogous to treating an ill person. The very best design, repair materials, and workmanship will fail if the exact problems of the structure and their causes are unknown and only symptoms are addressed. An illness must be diagnosed—sufficient tests must be performed so the physician can develop a thorough knowledge of the disease(s). Similarly, the engineer must determine the structure's conditions, problems, causes, and suitability of use and conduct sufficient tests to determine the extents and causes of deterioration, including incidental sources of distress as well as the primary cause.<sup>2</sup>

To obtain information enabling the identification, quantitative evaluation, and explanation (causes) of deterioration/distress in the structure, the engineer will rely on a combination of visual assessment; suitable nondestructive test (NDT) methods (typically percussion soundings; sometimes more sophisticated methods); and representative sampling and laboratory tests. Their repair decisions will be based on personal experience, experiences documented by others, test results, and analysis.

### Durability planning

Each repair option will have advantages and limitations that are pertinent to a specific structure and specific project objectives, and these should be considered in the durability planning phase of the project. The durability planning must

include consideration of the various predictable constraints that arise, including the lack of control of ambient conditions, the reduced accessibility to the repair location, the downtime for completion of the project, or the need to keep the facility open while repairs are being carried out.

Durability planning must become a fundamental part of the repair design process leading to the specifications and drawings. Typically, there are five main stages:

- Appraising the condition evaluation results;
- Analyzing the consequences of further deterioration of the structure, including performance and structural risks and economic issues;
- Considerations of future service life;
- Establishing performance requirements and project objectives; and
- Listing recommended remedial options (alternative solutions) to meet the repair project objectives.

Durability planning issues and considerations are summarized in Table 1.

### Design of repair

Design of concrete repairs is a task that differs significantly from the design of new concrete structures. First and foremost, the problems are almost always open-ended. There will be no unique or exact solution, although some solutions will obviously be better than others.

Repair design requires evaluation and selection of repair material(s) to be used. Properties and characteristics of the repair materials specified for the project are critical components of a concrete repair design. The range of materials available to the engineer is so vast and the

continuing development of new proprietary materials with claimed “high-performance” and novel, improved, exploitable properties expand the engineers’ options further.

In the context of repair, some important considerations relating to the tensile behavior and properties of cement-based materials need to be emphasized:

- Bond strength between either reinforcing bars and concrete or a repair material and existing concrete is strongly influenced by the tensile strength of concrete and, in the latter case, the repair material’s tensile strength;
- Shear and torsion strengths are intimately related to tensile strength; and
- Relaxation of self-induced tensile stresses in the material depends upon tensile creep.

Hence, as a rule, the weakness in a repair material is most generally not a lack of compressive strength or stiffness but rather a lack of resistance to the initiation and propagation of cracks. Stronger and stiffer cementitious materials may be more likely to crack because they are more brittle and have a higher modulus of elasticity and a lower creep relaxation. High-early-strength repair materials may also have a greater potential for shrinkage and restrained shrinkage cracking.

Repair materials with acceptable minimum early strength properties should be specified and used. If practical, compressive strength should be specified at a stage later than the traditional 28 days.

Further, the specified compressive strength should not exceed what is necessary for load-carrying purposes. Actual in-place compressive strengths should be kept at levels similar to the specified strength.

### Project specifications

Project specifications are critically important engineering documents. Unfortunately, many specifications are combinations of reference standards, pay items, and cut-and-paste clauses recycled from previous projects with insufficient thought about specifics of a structure to be repaired.

It is highly desirable in repair project specifications to avoid such statements as “as directed by the engineer” when possible. Not only does it leave an impression that the specifier is lacking the necessary knowledge, but the resulting uncertainty may make implementation of the work equivalent to playing a game of Russian roulette.

There is a clear need to pay attention to “constructability” issues during the development of specifications. Engineers

## Join us at the ACI Excellence in Concrete Construction Awards Gala!



Join us as we celebrate the most prestigious and innovative concrete projects from around the world. Sponsorship opportunities are available. Visit [www.aciexcellence.org](http://www.aciexcellence.org) for more information.



## Monday, October 18, 2021

developing project specifications should have a high level of education in concrete technology, including field experiences in practical aspects of this technology. Constructability issues must become an integral part of the system to ensure the design contributes to the solution and does not become a major problem. Geometry, access, amount and spacing of reinforcement, climatic conditions, available equipment, local engineering and labor skills, quality control, and economical considerations must be analyzed.

### Durability of Repair

One of the critical factors affecting durability of the repair project is the achievement of compatibility in the composite system created by the repair process.<sup>6</sup> As a prerequisite for meeting the repair service life objectives, incompatibility issues should be analyzed and adequately addressed at the design stage of the project. Despite the number of publications on durability and service life of repaired concrete structures, fundamental discussion and guidance on compatibility issues are lacking. The opinions and recommendations issued on the subject are in some cases confusing, misleading, or incorrect, regrettably leading to fallacies about compatibility in the practicing community. Ambiguities and misconceptions in the current understanding of fundamental compatibility considerations in concrete repairs (specifically, dimensional, permeability, chemical, and electrochemical) are addressed in detail in a recent report by the U.S. Bureau of Reclamation.<sup>7</sup>

The Merriam-Webster.com Dictionary defines “compatibility” as: “the capacity of two or more entities to combine or remain together without undesirable aftereffects: mutual tolerance.”<sup>8</sup> Compatibility in repair systems is defined as the balance of physical, chemical, and electrochemical properties and volume changes between the repair and existing substrate, which ensures that the composite repair system withstands the stresses induced by all loads, chemical effects, electrochemical effects, and restrained volume changes without distress and deterioration over a designed period.<sup>9</sup> Addressing the compatibility-related issues during the design of the concrete repair is at the heart of the service life problems, which have grown to an extent that the core knowledge developed in concrete repair engineering, technology, and practice could be questioned.

ACI 546.3R, “Guide to Materials Selection for Concrete Repair,”<sup>10</sup> and ACI 364.3R, “Guide for Cementitious Repair Material Data Sheet,”<sup>11</sup> provide comprehensive guidance in specifying appropriate properties of repair materials.

It is further essential to specify adequate methods of placing and handling the material in the repair system. The most compatible material will fail if the methods by which it is placed and cured are not appropriate. Design detailing is also very important. While engineers have little or no influence over external environmental conditions of the concrete structure, they must use appropriate design details of the repair system to avoid generating deleterious internal microclimatic conditions (Fig. 2).

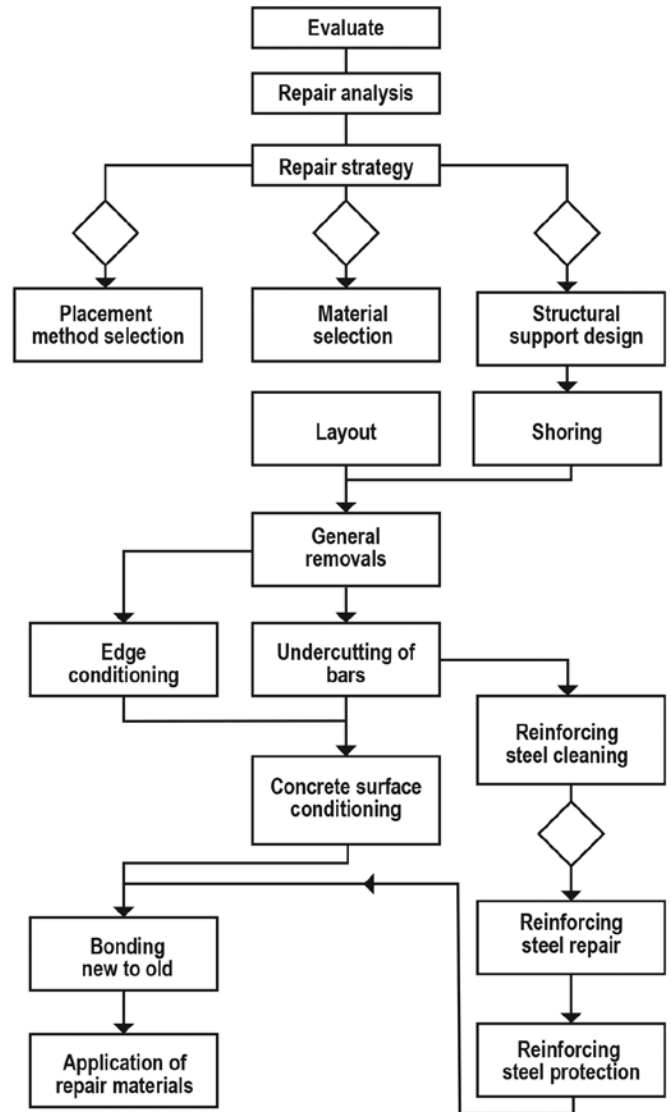
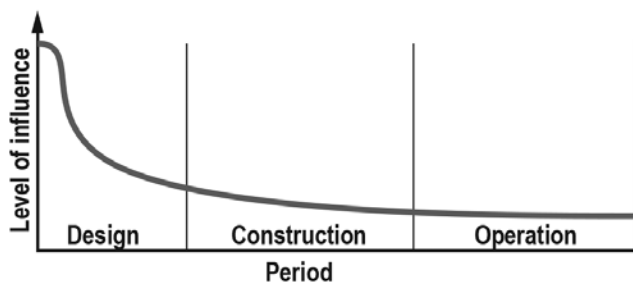


Fig. 2: Flowchart of concrete repair project tasks to address<sup>9</sup>

### Concluding Remarks

To summarize, the following comments can be made regarding the process needed for successful repair of concrete structures:

- Present demands for improved performance of repaired concrete structures pose multidisciplinary challenges on design teams. Designers must master the integration of structural design, durability and service life design, and the steadily growing requirements for sustainability;
- If real improvements are to be achieved, an integrated approach is needed, and the design paradigm must include a realistic approach to setting service life objectives based on condition evaluation of existing structures and analysis of future performance. The resulting improvements in the performance, demonstrated service life, and reliability will greatly improve the image and public appreciation of structural concrete;



**Fig. 3: Relative influence of the various periods on the performance of a structure<sup>12</sup>**

- The repair of deteriorated/distressed concrete structures is among the most nontrivial of civil engineering tasks, and proper design is an integral part of the solution. The design phase of the repair project, including condition evaluation and durability planning, detailed design, and development of specifications, has the greatest impact on the future performance of the structure (Fig. 3);
- Although it sounds trivial, it must be kept in mind at the design stage that the aim of a repair material is its implementation in practice (application) and performance in the structure<sup>13</sup>; and
- Lastly, let us see to it that we are not accused by the public of intentionally producing short-lasting and poorly performing repaired concrete structures (often referred to as planned obsolescence). It is up to us to achieve real progress—to the greatest benefit of present and future generations.

## References

1. *Achieving Durable Repaired Concrete Structures: Adopting a Performance-Based Intervention Strategy*, S.L. Matthews, M. Sarkkinen, and J.R. Morlidge, Eds., BRE Press, Watford, UK, 2007, 190 pp.
2. Young, R.B., “Concrete: Its Maintenance and Repair,” *ACI Journal Proceedings*, V. 33, No. 3, Mar.-Apr. 1937, pp. 367-393.
3. Vaysburd, A.M.; Emmons, P.H.; and Bissonnette, B., “Concrete Repair as an Engineering Task: an Approximative Solution to an Exact Problem,” *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III*, M.G. Alexander, H.-D. Beushausen, F. Dehn, and P. Moyo, Eds., CRC Press, London, UK, 2012, 546 pp.
4. Vaysburd, A.M., “Durability of repaired concrete structures—The battle for survival,” *Proceedings of the Second International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering*, Québec City, QC, Canada, 2006, pp. 207-224.
5. Vaysburd, A.M., and Bissonnette, B., “Condition Evaluation and Durability Planning in Concrete Repair,” *Concrete International*, V. 36, No. 5, May 2014, pp. 55-60.
6. Vaysburd, A.M.; Bissonnette, B.; Von Fay, K.F.; and Morin, R., “The Compatibility in Concrete Repair—Random Thoughts and Wishful Thinking,” *Concrete Repair Rehabilitation and Retrofitting IV*, F. Dehn, H.-D. Beushausen, M.G. Alexander, and P. Moyo, Eds., CRC Press, London, UK, 2015, pp. 160-161.
7. Vaysburd, A.M.; Bissonnette, B.; and Von Fay, K.F., “Compatibility

Issues in Design and Implementation of Concrete Repairs and Overlays,” *Report No. MERL-2014-87*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 2014, 136 pp.

8. *Merriam-Webster.com Dictionary*, s.v. “compatible,” accessed July 21, 2021, [www.merriam-webster.com/dictionary/compatible](http://www.merriam-webster.com/dictionary/compatible).

9. Emmons, P.H.; Vaysburd, A.M.; and McDonald, J.E., “Some Compatibility Problems in Repair of Concrete Structures—A Fresh Look,” *Proceedings of the Third International Colloquium: Material Science and Restoration*, Esslingen, Germany, 1993, pp. 836-857.

10. ACI Committee 546, “Guide to Materials Selection for Concrete Repair (ACI 546.3R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 72 pp.

11. ACI Committee 364, “Guide for Cementitious Repair Material Data Sheet (ACI 364.3R-09),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2009, 12 pp.

12. *Quality in the Constructed Projects: A Guide for Owners, Designers, and Constructors*, third edition, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012, 280 pp.

13. Czarnecki, L., and Clifton, J.R., “Polymer Concretes; Material Design and Optimization Problems,” *Proceedings of the International Symposium on Concrete Polymer Composites*, Bochum, Germany, Mar. 12-14, 1991, pp. 63-71.

Selected for reader interest by the editors.



**Alexander M. Vaysburd** is Principal of Vaycon Consulting, West Palm Beach, FL, USA. He is a member of ACI Committees 213, Lightweight Aggregate and Concrete; 364, Rehabilitation; and 365, Service Life Prediction. He was awarded the 2000 ACI Cedric Willson Lightweight Aggregate Concrete Award and the 1996 ACI Wason Medal for Most

Meritorious Paper for his significant contributions to the concrete industry. He received his PhD from ZNEP Selstroi, Aprelevka, Russia.



**Benoit Bissonnette**, FACI, is a Professor in the Department of Civil Engineering at Laval University, Québec City, QC, Canada, and a member of the Research Center on Concrete Infrastructure (CRIB). He is Chair of ACI Committee 364, Rehabilitation, and a member of ACI Committee 223, Shrinkage-Compensating Concrete, and the TAC Repair and Rehabilitation Committee. He

is a co-author of the book *Concrete Surface Engineering* (2015). He received his PhD from Laval University and is a licensed professional engineer in Québec.

# La batalla por la supervivencia de nuestra infraestructura del concreto

*La evolución y el diseño de las condiciones son fundamentales para el éxito.*

*Por Alexander M. Vaysburd y Benoit Bissonnette*

Tanto en construcciones nuevas como en reparaciones de estructuras existentes, el agrietamiento del concreto se ha convertido en un problema generalizado. Desafortunadamente, estamos perdiendo terreno en la batalla por la supervivencia de nuestra infraestructura de concreto existente, y probablemente no revertiremos ese curso a menos que logremos un “alto desempeño” en diseño de ingeniería, diseño y producción de materiales y prácticas de construcción. Los proyectos de “alto desempeño” tienen éxito solo si se han alcanzado los objetivos de la vida útil. En este artículo, compartimos nuestras ideas sobre la evaluación del estado de las estructuras de concreto existentes, así como sobre los problemas de diseño de reparaciones. Cualquier debilidad de este artículo está relacionada con las limitaciones de nuestros puntos de vista subjetivos.

## Reparación del Concreto

La reparación del concreto se define generalmente como una acción tomada para restablecer un nivel aceptable de funcionalidad en una estructura o sus componentes que están defectuosos, deteriorados, degradados o dañados de alguna manera; y debe completarse sin restricciones sobre los materiales o métodos empleados.<sup>1</sup> El propósito de la reparación de una estructura de concreto está bien definido por Young.<sup>2</sup> Para tener éxito y evitar fallas prematuras, una reparación debe ser la “mejor” solución al problema exacto<sup>3</sup>, y debe incluir los pasos necesarios que se muestran en la Fig. 1.

En otras palabras, la causa del deterioro debe establecerse de manera integral para evitar proporcionar un diseño que sea una solución exacta a un problema aproximadamente definido.

## Evaluación de condición

La evaluación de la condición puede considerarse análoga a un reconocimiento durante la batalla. Continuando con la analogía, la tarea de ingeniería de encontrar los problemas exactos que afectan la estructura de concreto existente permite comprender el plan de ataque del enemigo y desarrollar tácticas defensivas y soluciones alternativas.

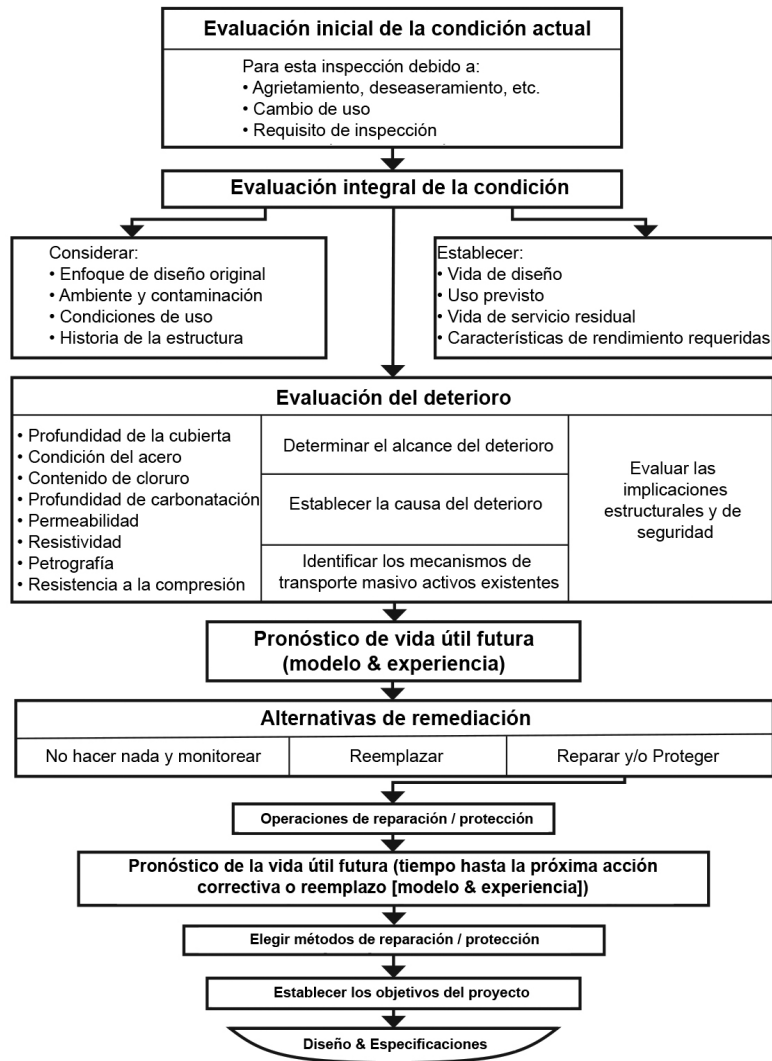


Fig. 1: Diagrama de flujo del diseño de reparación del concreto<sup>4</sup>

Tabla 1:  
Aspectos y consideraciones de planificación de la durabilidad<sup>5</sup>

| Aspectos                               | Consideraciones   |
|--|---|
| Función y tipo de estructura           | Necesidades básicas de los clientes   |
| Requisitos de desempeño                | Rendimiento técnico aceptable<br>Criterios de facilidad de servicio y seguridad<br>Importancia de la continuidad de la función durante la reparación<br>Accesibilidad<br>Vida útil deseable<br>Estrategia de mantenimiento  |
| Cargas y efectos ambientales           | Carga muerta y viva<br>Carga de viento<br>Efectos del agua y la temperatura<br>Agentes y acciones agresivas   |
| Condiciones internas                   | Agrietamiento, microfisuración y otros defectos.<br>Carbonatación, contenido de cloruro, reactividad de agregado alcalino, ataque de sulfato o físico de sal<br>Corrosión del refuerzo, pérdida de sección, desprendimiento |
| Enfoque de diseño general              | Estrategia básica de remediación (solo monitorear; brindar protección; reparar; o hacer reparaciones, brindar protección y monitorear)  |
| Evaluación de alternativas de solución | Costos<br>Problemas de constructibilidad y calidad<br>Experiencia conocida de desempeño   |

Las maniobras defensivas no se limitan a ataques frontales preventivos. A veces, es suficiente con hacer un movimiento de flanqueo o simplemente vigilar las acciones del enemigo. Después de todo, con base en una evaluación integral de los resultados de la evaluación de la condición, uno no puede hacer nada, monitorear, aplicar protección, hacer reparaciones, aplicar refuerzo o reemplazar la estructura. También son posibles combinaciones de estas acciones.

La reparación de una estructura deteriorada y desgastada también es algo similar a tratar a una persona enferma. El mejor diseño, materiales de reparación y mano de obra fallarán si se desconocen las causas y problemas exactos de la estructura y solo se tratan los síntomas. Se debe diagnosticar una enfermedad; se deben realizar suficientes pruebas para que el médico pueda desarrollar un conocimiento completo de la (s) enfermedad (s). De manera similar, el ingeniero debe determinar las condiciones, los problemas, las causas y la idoneidad de uso de la estructura y realizar pruebas suficientes para determinar el alcance y las causas del deterioro, incluidas las fuentes incidentales del deterioro, así como la causa principal.<sup>2</sup> Para obtener información que permita la identificación, evaluación cuantitativa y explicación (causas) del deterioro/desgaste en la estructura, el ingeniero se basará en una combinación de evaluación visual; métodos adecuados de prueba no destructiva (NDT) (típicamente sondeos de percusión; a veces métodos más sofisticados); y muestreo representativo y pruebas de laboratorio. Sus decisiones de reparación se basarán en experiencias personales, experiencias documentadas por otros, resultados de pruebas y análisis.

## Planificación de la Durabilidad

Cada opción de reparación tendrá ventajas y limitaciones que son pertinentes a una estructura específica y objetivos específicos del proyecto, y estos deben ser considerados en la fase de planificación de durabilidad del proyecto. La planificación de la durabilidad debe incluir la consideración de las diversas limitaciones predecibles que surgen, incluida la falta de control de las condiciones ambientales, la accesibilidad

reducida al lugar de reparación, el tiempo de inactividad para la finalización del proyecto o la necesidad de mantener la instalación abierta mientras se realizan las reparaciones.

La planificación de la durabilidad debe convertirse en una parte fundamental del proceso de diseño de la reparación que conduce a las especificaciones y los dibujos.

Normalmente, hay cinco etapas principales:

- Valorar los resultados de la evaluación de la condición;
- Analizar las consecuencias de un mayor deterioro de la estructura, incluidos los riesgos estructurales, de rendimiento y los problemas económicos;
- Consideraciones sobre la vida útil futura;
- Establecer requisitos de desempeño y objetivos del proyecto;
- Enumerar las opciones de soluciones recomendadas (soluciones alternativas) para cumplir con los objetivos del proyecto de reparación. Los problemas y consideraciones de planificación de la durabilidad se resumen en la Tabla 1.

## Diseño de Reparación

El diseño de reparaciones del concreto es una tarea que se diferencia significativamente del diseño de nuevas estructuras de concreto. En primer lugar, los problemas casi siempre son indefinidos. No habrá una solución única o exacta, aunque obviamente algunas soluciones serán mejores que otras. El diseño de la reparación requiere la evaluación y selección de los materiales de reparación que se utilizarán. Las propiedades y características de los materiales de reparación especificados para el proyecto son componentes críticos de un diseño de reparación de concreto. La gama de materiales disponibles para el ingeniero es



tan amplia y además del desarrollo continuo de nuevos materiales patentados con un supuesto "alto rendimiento" y novedoso, mejorado y explotables. Las propiedades amplían aún más las opciones de los ingenieros.

En el contexto de la reparación, se deben enfatizar algunas consideraciones importantes relacionadas con el comportamiento de tracción y las propiedades de los materiales a base de cemento:

- La fuerza de unión entre las barras de refuerzo y el concreto o un material de reparación y el concreto existente está fuertemente influenciada por la resistencia a la tensión del concreto y, en este último caso, la resistencia a la tensión del material de reparación;
- Las resistencias al corte y la torsión están íntimamente relacionadas con la resistencia a la tensión;
- El relajamiento de los esfuerzos de tensión autoinducidas en el material depende de la cedencia por tensión.

Por lo tanto, como regla general, la debilidad de un material de reparación no es generalmente una falta de resistencia a la compresión o rigidez, sino más bien una falta de resistencia a la iniciación y propagación de grietas. Los materiales cementicios más fuertes y rígidos pueden tener más probabilidades de agrietarse porque son más frágiles y tienen un módulo de elasticidad más alto y un menor relajamiento por fluencia. Los materiales de reparación de alta resistencia temprana también pueden tener un mayor potencial de contracción y agrietamiento por contracción restringida.

Se deben especificar y utilizar materiales de reparación con propiedades aceptables de resistencia inicial mínima. Si es práctico, la resistencia a la compresión debe especificarse en una etapa posterior a los 28 días tradicionales.

Además, la resistencia a la compresión especificada no debe exceder lo necesario para fines de transporte de carga. Las resistencias a la compresión reales en el lugar deben mantenerse a niveles similares a la resistencia especificada.

## Especificaciones del Proyecto

Las especificaciones del proyecto son documentos de ingeniería de importancia crítica. Desafortunadamente, muchas especificaciones son combinaciones de estándares de referencia, elementos de pago y cláusulas copiadas de proyectos anteriores sin una consideración suficiente sobre los detalles específicos de una estructura a reparar.

Es muy deseable en las especificaciones del proyecto de reparación evitar declaraciones como "según lo indique el ingeniero" cuando sea posible. No solo deja la impresión de que el especificador carece del conocimiento necesario, sino que la incertidumbre resultante puede hacer que la implementación del trabajo sea equivalente a jugar un juego de ruleta rusa.

Existe una clara necesidad de prestar atención a los problemas de "constructibilidad" durante el desarrollo de especificaciones. Los ingenieros que desarrollan especificaciones de proyectos deben tener un alto nivel de educación en tecnología del concreto, incluyendo experiencias de campo en aspectos prácticos de esta tecnología. Los problemas de constructibilidad deben convertirse en una parte integral del sistema para garantizar que el diseño contribuya a la solución y no se convierta en un problema importante. Se deben analizar la geometría, el acceso, la cantidad y el espaciamiento del refuerzo, las condiciones climáticas, el equipo disponible, la ingeniería local y las habilidades laborales, el control de calidad y las consideraciones económicas.

## Durabilidad de la Reparación

Uno de los factores críticos que afectan la durabilidad del proyecto de reparación es el logro de la compatibilidad en el sistema compuesto creado por el proceso de reparación.<sup>6</sup> Como requisito previo para cumplir con los objetivos de vida útil de la reparación, los problemas de incompatibilidad

deben analizarse y abordarse adecuadamente en la etapa de diseño del proyecto. A pesar de la cantidad de publicaciones sobre durabilidad y vida útil de las estructuras de concreto reparadas, faltan discusiones fundamentales y orientación sobre cuestiones de compatibilidad.

Las opiniones y recomendaciones emitidas sobre el tema son en algunos casos confusas, engañosas o incorrectas, lo que lamentablemente conduce a falacias sobre la compatibilidad en la comunidad de evaluadores. Las ambigüedades y los conceptos erróneos en la comprensión actual de las consideraciones fundamentales de compatibilidad en las reparaciones de concreto (específicamente, dimensional, permeabilidad, química y electroquímica) se abordan en detalle en un informe reciente de la Oficina de Recuperación de EE. UU.<sup>7</sup>

El Diccionario Merriam-Webster.com define “compatibilidad” como: “la capacidad de dos o más entidades para combinarse o permanecer juntas sin efectos secundarios indeseables: tolerancia mutua”.<sup>8</sup> La compatibilidad en los sistemas de reparación se define como el equilibrio de las propiedades físicas, químicas y electroquímicas y los cambios de volumen entre la reparación y el sustrato existente, lo que asegura que el sistema de reparación compuesto resista las tensiones inducidas por todas las cargas, efectos químicos, efectos electroquímicos y cambios de volumen restringidos sin angustia ni deterioro durante un período diseñado.<sup>9</sup> Abordar los problemas relacionados con la compatibilidad durante el diseño de la reparación del concreto es el núcleo de los problemas de la vida útil, que han crecido hasta el punto de que el conocimiento básico desarrollado en la ingeniería, la tecnología y la práctica de la reparación del concreto podría cuestionarse. ACI 546.3R, “Guide to Materials Selection for Concrete Repair,”<sup>10</sup> y ACI 364.3R, “Guide for Cementitious Repair Material Data Sheet,”<sup>11</sup> Proporcionar una guía completa para especificar las propiedades adecuadas de los materiales de reparación.

Además, es esencial especificar métodos adecuados para colocar y manipular el material en el sistema de reparación. El material más compatible fallará si los métodos mediante los cuales se coloca y cura no son los adecuados. Los detalles del diseño

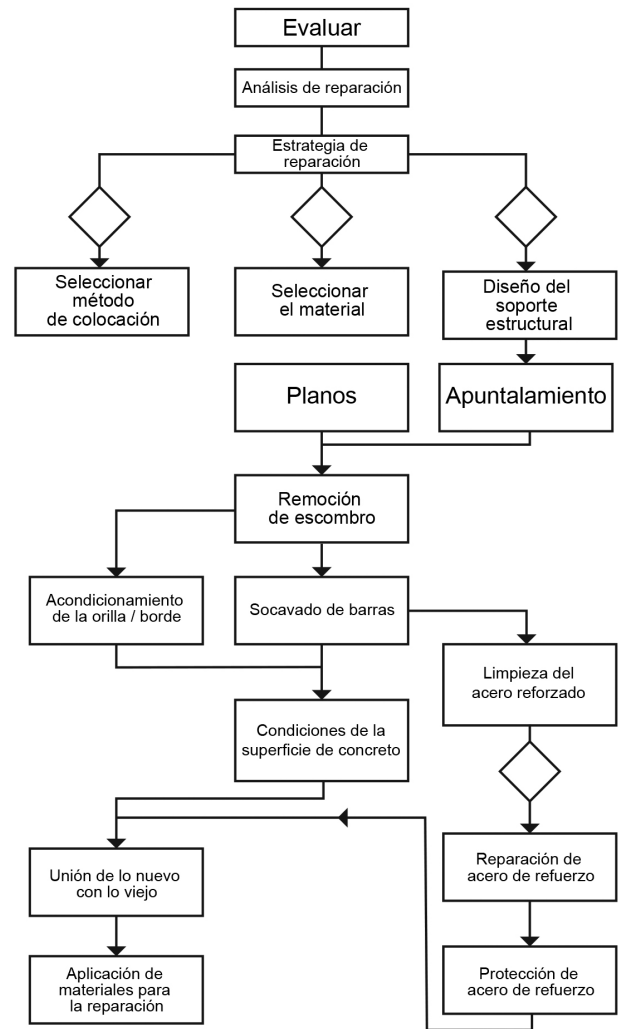


Fig.2: Diagrama de flujo de las tareas del proyecto de reparación de concreto a abordar <sup>9</sup>

también son muy importantes. Si bien los ingenieros tienen poca o ninguna influencia sobre las condiciones ambientales externas de la estructura de hormigón, deben utilizar los detalles de diseño adecuados del sistema de reparación para evitar generar condiciones microclimáticas internas perjudiciales (Fig. 2).

## Observaciones Finales

Para resumir, se pueden hacer los siguientes comentarios con respecto al proceso necesario para la reparación exitosa de estructuras de concreto:

- Las demandas actuales para mejorar el rendimiento de las estructuras de concreto reparadas plantean desafíos multidisciplinarios

a los equipos de diseño. Los diseñadores deben dominar la integración del diseño estructural, la durabilidad, el diseño de la vida útil, y los requisitos en constante crecimiento para la sostenibilidad.

- Si se van a lograr avances reales, se necesita un enfoque integrado, y el paradigma de diseño debe incluir un enfoque realista para establecer objetivos de vida útil basados en la evaluación del estado de

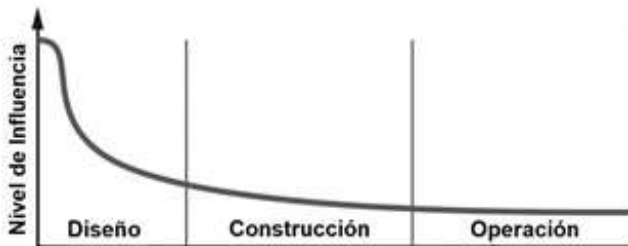


Fig.3: Influencia relativa de los distintos períodos en el desempeño de una estructura <sup>12</sup>

las estructuras existentes y el análisis del rendimiento futuro. Las mejoras resultantes en el rendimiento, la vida útil demostrada y la confiabilidad mejorarán en gran medida la imagen y la apreciación pública del concreto estructural.

- La reparación de estructuras de concreto deterioradas/desgastadas es una de las tareas de ingeniería civil más no triviales, y el diseño adecuado es una parte integral de la solución. La fase de diseño del proyecto de reparación, incluida la evaluación del estado y la planificación de la durabilidad, el diseño detallado y el desarrollo de especificaciones, tiene el mayor impacto en el desempeño futuro de la estructura (Fig. 3);

- Aunque suene trivial, hay que tener en cuenta en la etapa de diseño que el objetivo de un material de reparación es

su implementación en la práctica (aplicación) y desempeño en la estructura<sup>13</sup>.

- Por último, asegurémonos de que el público no nos acuse de producir intencionadamente estructuras de hormigón reparadas de corta duración y de bajo rendimiento (a menudo denominadas obsolescencia programada). Depende de nosotros lograr un progreso real, para el mayor beneficio de las generaciones presentes y futuras.

## Referencias

1. Achieving Durable Repaired Concrete Structures: Adopting a Performance-Based Intervention Strategy, S.L. Matthews, M. Sarkkinen, y J.R. Morlidge, Eds., BRE Press, Watford, Reino Unido, 2007, 190 págs.

2. Young, R.B., "Concrete: Its Maintenance and Repair," ACI Journal Proceedings, V. 33, No. 3, Mar.-Apr. 1937, págs. 367-393.

3. Vaysburd, A.M.; Emmons, P.H.; y Bissonnette, B., "Concrete Repair as an Engineering Task: an Approximative Solution to an Exact Problem," Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, M.G. Alexander, H.-D. Beushausen, F. Dehn, y P. Moyo, Eds., CRC Press, Londres, Reino Unido, 2012, 546 págs.

4. Vaysburd, A.M., "Durability of repaired concrete structures—The battle for survival," Proceedings of the Second International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, Ciudad de Québec, QC, Canada, 2006, págs. 207-224.

5. Vaysburd, A.M., y Bissonnette, B., "Condition Evaluation and Durability Planning in Concrete Repair," Concrete International, V. 36, No. 5, mayo 2014, págs. 55-60.

6. Vaysburd, A.M.; Bissonnette, B.; Von Fay, K.F.; and Morin, R., "The Compatibility in Concrete Repair—Random Thoughts and Wishful Thinking," Concrete Repair Rehabilitation and Retrofitting IV, F. Dehn, H.-D. Beushausen, M.G. Alexander, y P. Moyo, Eds., CRC Press, Londres, Reino Unido, 2015, págs. 160-161.

7. Vaysburd, A.M.; Bissonnette, B.; y Von Fay, K.F., "Compatibility Issues in Design and Implementation of Concrete Repairs and Overlays," Report No. MERL-2014-87, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 2014, 136 págs.

8. Merriam-Webster.com Dictionary, s.v. "compatible," consultado el 21 de julio de 2021, [www.merriam-webster.com/dictionary/compatible](http://www.merriam-webster.com/dictionary/compatible).

9. Emmons, P.H.; Vaysburd, A.M.; y McDonald, J.E., "Some Compatibility Problems in Repair of Concrete Structures—A Fresh Look," Proceedings of the Third International Colloquium: Material Science and Restoration, Esslingen, Alemania, 1993, págs. 836-857.

10. Comité ACI- 546, "Guide to Materials Selection for Concrete Repair (ACI 546.3R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 72 págs.

11. Comité ACI-364, "Guide for Cementitious Repair Material Data Sheet (ACI 364.3R-09)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2009, 12 págs.

12. Quality in the Constructed Projects: A Guide for Owners, Designers, and Constructors, tercera edición, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012, 280 págs.

13. Czarnecki, L., y Clifton, J.R., "Polymer Concretes; Material Design and Optimization Problems," Proceedings of the International Symposium on Concrete Polymer Composites, Bochum, Alemania, marzo 12-14, 1991, págs. 63-71.



**Alexander M. Vaysburd**, es director de Vaycon Consulting, West Palm Beach, FL, EE. UU. Es miembro de los Comités ACI-213, Agregado Ligeró y Concreto; ACI-364, rehabilitación; y ACI-365, predicción de la vida útil. Fue galardonado con el premio 2000 ACI Cedric Willson Lightweight Aggregate Concrete y la medalla ACI Wason 1996 al papel más meritorio por sus importantes contribuciones a la industria del concreto. Recibió su doctorado en ZNEEP Selstroi, Aprelevka, Rusia.



**Benoit Bissonnette**, FACI, es profesor en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Laval, Ciudad de Québec, QC, Canadá, y miembro del Centro de Investigación sobre Infraestructura de Concreto (CRIB). Es presidente del Comité ACI 364, Rehabilitación, y miembro del Comité ACI 223, Concreto Contracción Compensada, y del Comité de reparación y rehabilitación de TAC. Es coautor del libro Concrete Surface Engineering (2015). Recibió su doctorado de la Universidad Laval y es un ingeniero con licencia profesional en Québec.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste

*Título: La Batalla por la supervivencia de Nuestra Infraestructura del Concreto*



Traductor:  
Cristian Silva



Revisor Técnico:  
Ing. Genaro Salinas