

Future-Proofing Concrete: How to Prolong Your Concrete's Lifespan

by Jennifer K. Mizer

As the backbone of modern infrastructure, concrete forms the very foundation of structures ranging from towering skyscrapers and expansive bridges to residential homes and public walkways. Because of its inherent strength, adaptability, and relatively low cost compared to alternative building materials, concrete has remained the most widely used material in construction for centuries. However, the environmental impact of concrete production, coupled with challenges posed by aging infrastructure and changing climate conditions, is prompting a paradigm shift toward future-proofing concrete as the best course of action for maintaining structural integrity and ensuring longevity.

Key Challenges Impacting the Longevity of Concrete

The longevity of concrete is influenced by several interrelated challenges, each contributing to its gradual degradation. Environmental factors play a significant role in this process. When exposed to water in cold climates, water can infiltrate the concrete before freezing and expanding, causing internal cracking and surface spalling. Over time, repeated freezing-and-thawing cycles can lead to significant structural damage. Chemical exposure such as acidic rain, industrial pollutants, and deicing salts also contribute to concrete degradation by breaking down the cement paste and weakening the concrete matrix.

Another major challenge is chloride-induced corrosion, which is particularly problematic in structures exposed to marine environments or deicing salts. Chlorides penetrate the concrete and reach the steel reinforcement, initiating a corrosion process that expands and cracks the surrounding concrete. This not only reduces the structural integrity of concrete but also leads to further ingress of harmful agents.

Construction practices and maintenance routines also impact the longevity of concrete. For example, inadequate curing, improper mixture design, and insufficient compaction can introduce weaknesses and defects in the concrete. These

initial flaws create pathways for environmental agents to penetrate and deteriorate the concrete over time. Additionally, inadequate maintenance—such as neglecting to seal cracks or repair damaged areas promptly—allows deterioration to progress unchecked, leading to the formation of more extensive and costly repairs over the long run.

Furthermore, the increasing complexity of modern concrete structures introduces additional challenges. Architectural designs often require forms and high-strength materials, which demand precise construction techniques and high-quality materials. Any deviation from these requirements can compromise the structural integrity of concrete. As these concrete structures age, they also become more susceptible to dynamic loads such as traffic vibrations and seismic activities, which can exacerbate existing weaknesses and accelerate deterioration.

Innovative, Cost-Effective Solutions to Prolong Concrete Lifespan

To meet the rising demand for durable and sustainable infrastructure, the construction industry is shifting toward



Deicing salt on a concrete surface

more innovative and advanced solutions that expand the longevity of concrete while generating cost savings and reducing the overall environmental impact.

Advanced cementitious materials

One of the most promising advancements in concrete technology is the development of advanced materials, such as high-performance concrete (HPC) and ultra-high-performance concrete (UHPC). These materials are specifically engineered to provide superior strength, durability, and resistance to environmental stressors by incorporating supplementary cementitious materials (SCMs) like fly ash, slag cement, and silica fume, which enhance the properties of traditional concrete. This improves its ability to withstand aggressive environments, reduces permeability, and increases resistance to chemical attacks and abrasion. As a result, the lifespan of concrete structures can be significantly extended while maintaining cost effectiveness.

Carbon capture and utilization

Another key advancement is carbon capture and utilization (CCU), an innovative technology that addresses both environmental and durability challenges in concrete production. This approach captures carbon dioxide (CO₂) emissions from industrial processes and incorporates them into the concrete mixture, where the CO₂ is mineralized and converted into stable carbonates. These carbonates are then integrated into the concrete matrix, reducing the carbon footprint of production while simultaneously enhancing material properties. The incorporation of carbonates improves concrete density, reduces porosity, and increases resistance to environmental factors like carbonation and chloride ingress.

Self-healing concrete

A groundbreaking advancement in construction materials, self-healing concrete is designed to autonomously repair

cracks and micro-damage that occur over time. This innovative concrete solution integrates encapsulated healing agents, such as microcapsules containing polymeric materials or bacteria-based systems. When cracks form, these agents are released and react with the surrounding concrete to form a seal, effectively closing the cracks and preventing the ingress of harmful substances. This self-repair mechanism significantly enhances the durability of concrete structures, reducing the need for frequent maintenance and repairs.

Nanotechnology in concrete

Nanotechnology is transforming the construction industry by enabling the manipulation of materials at the molecular level, significantly enhancing the performance of concrete. By incorporating nanoparticles like nano-silica and carbon nanotubes into the concrete matrix, nanotechnology improves properties such as strength, durability, and resistance to environmental stressors. These nanoparticles fill voids, reduce porosity, and strengthen the interfacial transition zone between cement paste and aggregates, resulting in denser, more resilient concrete that is less prone to cracking and degradation. Nanotechnology also facilitates smart concrete with self-sensing capabilities for real-time structural health monitoring.

3-D-printing technology

By enabling the precise and efficient fabrication of complex concrete structures through layer-by-layer deposition, three-dimensional (3-D)-printing technology is revolutionizing the construction industry. This innovative approach allows for intricate designs, optimized material usage, and reduced material waste—all while minimizing the need for traditional formwork and accelerating construction timelines. Moreover, 3-D-printed concrete can integrate advanced materials and admixtures to boost durability and performance. The precision and customization offered by 3-D-printing result in high-quality concrete structures that require less maintenance and are longer lasting.

Integrating Sustainable Practices for Long-Term Concrete Success

While innovative technologies play a crucial role in enhancing the durability and lifespan of concrete, integrating sustainable practices into every aspect of concrete construction and maintenance is essential for longevity—ensuring structures are not only resilient but environmentally sound.

Some of these sustainable practices include:

- **Optimizing material sourcing**—The selection and sourcing of materials have a profound impact on the environmental footprint and overall performance of concrete. Opting for locally available and sustainable materials reduces transportation emissions and supports regional economies. Using recycled aggregates and industrial by-products, such as recycled concrete aggregate



Fiber-reinforced concrete placement



A 3-D-printing demonstration at World of Concrete, Las Vegas, NV, USA

and slag, can also diminish the demand for virgin materials and lower the environmental impact;

- **Implementing green building standards**—Green building standards such as LEED and BREEAM ensure that concrete projects meet high-sustainability criteria. These standards promote energy efficiency, resource conservation, and environmental quality, guiding the overall design and construction of concrete structures toward reduced ecological impact and enhanced durability;
- **Prioritizing life-cycle assessment**—A life-cycle assessment (LCA) evaluates the environmental impact of concrete structures from production to disposal. By analyzing factors such as energy consumption, resource usage, and emissions throughout a structure’s lifespan, stakeholders can make informed decisions that minimize environmental impact and optimize sustainability. Findings from an LCA can guide the selection of materials, construction methods, and maintenance strategies, leading to more durable and eco-friendly concrete structures;
- **Enhancing energy efficiency**—Energy-efficient practices in the construction and maintenance of concrete structures contribute to extending their lifespan and reducing environmental impact. For example, design features like reflective coatings and thermal insulation can enhance the energy performance of concrete buildings. In addition, renewable energy sources such as solar panels or wind turbines can further reduce a building’s carbon footprint and operational costs; and
- **Promoting education and training**—Investing in education and training for construction professionals ensures that the latest technologies and sustainable practices are effectively implemented. Continuous professional development programs and certifications keep industry stakeholders informed about advancements and sustainable practices in concrete technology.

In closing

Integrating advanced technologies with sustainable practices offers a comprehensive approach to future-proofing concrete. By addressing both technical and environmental considerations, stakeholders can achieve durable, cost-effective, and eco-friendly concrete solutions that meet the demands of modern infrastructure while contributing to the long-term sustainability of concrete.

To learn more, visit www.euclidchemical.com.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Jennifer K. Mizer** is the Director of Marketing Services at The Euclid Chemical Company, a manufacturer of specialty concrete and masonry construction solutions. A 20-plus-year industry veteran, Mizer manages the marketing communications activities for Euclid’s expansive line of admixtures, fiber reinforcement, concrete repair products, flooring materials, and decorative concrete systems.

aci Career Center

Students—the next step has never been easier

Find internships, browse jobs, and post your résumé.



The Career Center Offers

- ✓ Résumé writing assistance
- ✓ Career coaching
- ✓ Career learning center
- ✓ Reference checking

Follow @ACICareerCenter

www.concrete.org/careercenter

03

Concreto a Prueba del Futuro: Cómo Prolongar la Vida Útil de su Concreto

Por Jennifer K. Mizer

Siendo el eje medular de la infraestructura moderna, el concreto constituye el fundamento mismo de las estructuras que van desde imponentes rascacielos y puentes extensos, hasta casas residenciales y pasarelas peatonales públicas. Debido a su resistencia inherente, adaptabilidad y costo relativamente bajo en comparación con materiales de construcción alternativos, el concreto ha seguido siendo el material más ampliamente utilizado en la construcción durante siglos. No obstante, el impacto ambiental de la producción de concreto, junto con los desafíos que presenta la infraestructura envejecida y las condiciones del cambio climático, está generando un cambio de paradigma hacia el concreto a prueba del futuro como el mejor programa de acción para mantener la integridad estructural y garantizar su durabilidad.

Desafíos Importantes que Impactan la Durabilidad del Concreto

La durabilidad del concreto se ve influenciada por diferentes acciones interrelacionadas, cada una de las cuales contribuye a su degradación paulatina. Los factores ambientales juegan un papel significativo en este proceso. Cuando está expuesto al agua en climas fríos, el agua puede penetrar en el concreto antes de congelarse y expandirse, provocando agrietamiento interno y desconchamiento superficial. A medida que pasa el tiempo, los ciclos repetidos de congelamiento y descongelamiento pueden conducir a un daño estructural significativo. La exposición a sustancias químicas tales como la lluvia ácida, los contaminantes industriales y las sales para deshielo también contribuyen a la degradación del concreto descomponiendo la pasta de cemento y debilitando la matriz del concreto.

Otro reto importante es la corrosión inducida por cloruro, que es particularmente problemática en estructuras expuestas a ambientes marinos o sales para deshielo. Los cloruros penetran el concreto

y llegan al acero de refuerzo, iniciando un proceso de corrosión que expande y agrieta el concreto circundante. Esto no sólo reduce la integridad estructural del concreto, sino que también conduce a penetración adicional de agentes perjudiciales.

Las prácticas de construcción y las rutinas de mantenimiento también impactan la durabilidad del concreto. Por ejemplo, el curado inadecuado, el diseño de mezcla inapropiado y la compactación insuficiente pueden causar debilidad y defectos en el concreto. Estas fallas iniciales crean vías para que los agentes ambientales penetren y deterioren el concreto a medida que pasa el tiempo. Además, el mantenimiento inadecuado – tal como olvidar sellar grietas o no reparar áreas dañadas con prontitud – permite que el deterioro avance libremente, dando por resultado la necesidad de reparaciones más extensas y costosas a largo plazo.

Por otra parte, la complejidad cada vez mayor de las estructuras modernas de concreto presenta desafíos adicionales. Los diseños arquitectónicos a menudo requieren cimbras y materiales de alta resistencia, lo que exige técnicas de construcción precisas y materiales de alta calidad. Toda desviación de estos requerimientos puede poner en peligro la integridad estructural del concreto. Conforme estas estructuras envejecen, también se hacen más susceptibles a cargas dinámicas, tales como vibraciones de tránsito y actividad sísmica, que pueden exacerbar las debilidades ya existentes y acelerar su deterioro.

Soluciones Innovadoras y Rentables para Prolongar la Vida Útil del Concreto

Para cumplir con la creciente demanda de infraestructura duradera y sustentable, la industria de la construcción está adoptando soluciones más innovadoras y avanzadas que prolongan la durabilidad del concreto a la vez que generan ahorros en costos y reducen el impacto ambiental en su totalidad.



Sal para deshielo sobre una superficie de concreto

Materiales Cementicios Avanzados

Uno de los avances más prometedores en la tecnología del concreto es el desarrollo de materiales avanzados, tales como el concreto de alto desempeño (HPC [por sus iniciales en inglés]) y concreto de ultra alto desempeño (UHPC [por sus iniciales en inglés]). Estos materiales se diseñan específicamente para proporcionar resistencia y durabilidad superiores frente a las solicitaciones ambientales, incorporando materiales cementicios complementarios (SCMs [por sus iniciales en inglés]), tales como ceniza volante, cemento de escoria y humo de sílice, que mejoran las propiedades del concreto tradicional. Esto mejora su capacidad para soportar ambientes agresivos, reduce la permeabilidad e incrementa la resistencia a ataques químicos y abrasión. Como resultado, la vida útil de las estructuras de concreto puede extenderse de manera significativa conservando su rentabilidad.

Captura y utilización del carbono

Otro de los avances esenciales es la captura y utilización del carbono (CCU [por sus iniciales en inglés]), una tecnología innovadora que aborda tanto los desafíos ambientales como de durabilidad en la producción del concreto. Este enfoque capta las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) de los procesos industriales y las incorpora en la mezcla de concreto, donde el CO_2 se mineraliza y se convierte en carbonatos estables. Posteriormente, estos carbonatos se integran a la matriz del concreto, reduciendo así la huella de carbono en la producción y mejorando simultáneamente las propiedades del material. La incorporación de los carbonatos mejora la densidad del concreto, reduce la porosidad e incrementa la resistencia a los factores ambientales tales como la carbonatación y la penetración del cloruro.

Concreto Autocicatrizante

Un avance vanguardista en los materiales de construcción, es el concreto autocurativo diseñado para reparar de forma autónoma grietas y daños muy pequeños que ocurren a medida que transcurre el tiempo. Esta innovadora solución del concreto integra agentes curativos encapsulados, tales como microcápsulas que contienen materiales poliméricos o sistemas a base de bacterias. Cuando se forman grietas, estos agentes se liberan y reaccionan con el concreto circundante para formar un sello, cerrando de manera eficaz las grietas y evitando la penetración de sustancias

nocivas. Este mecanismo de auto reparación potencializa significativamente la durabilidad de las estructuras de concreto, reduciendo la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes.



Colocación de concreto reforzado con fibras

Nanotecnología en el concreto

La nanotecnología está transformando la industria de la construcción permitiendo la manipulación de los materiales a nivel molecular, lo que mejora de manera importante el desempeño del concreto. Al incorporar nanopartículas como nano-sílice y nanotubos de carbono en la matriz del concreto, mejoran las propiedades tales como la resistencia y durabilidad y capacidad de soporte de otros agentes ambientales. Estas nanopartículas rellenan huecos, reducen la porosidad y fortalecen la zona de transmisión interfacial entre la pasta del cemento y los agregados, lo que da por resultado un concreto más denso, más resiliente, menos susceptible al agrietamiento y degradación. La nanotecnología también facilita el concreto inteligente con capacidades de autodetección para monitorear la salud estructural en tiempo real.

Tecnología de Impresión 3D

Mediante la activación de la fabricación precisa y eficiente de estructuras de concreto complejas con la deposición de capa por capa, la tecnología de impresión tridimensional (3-D) está revolucionando la industria de la construcción. Este abordaje innovador permite la realización de diseños complejos, optimización en el uso y reducción del desperdicio de materiales – todo ello a la vez que se minimiza la necesidad de cimbras tradicionales y se aceleran los tiempos de construcción. Por otra parte, el concreto impreso en 3-D puede integrar materiales y aditivos avanzados para potencializar la durabilidad y desempeño. La precisión y personalización que ofrece la impresión 3-D produce estructuras de concreto de alta calidad que requieren menor mantenimiento y con mayor durabilidad.

Integración de Prácticas Sustentables para Lograr el Exito del Concreto Durable

Si bien las tecnologías innovadoras juegan un papel esencial para aumentar la durabilidad y la vida útil del concreto, integrar prácticas sustentables en cada aspecto de la construcción y mantenimiento del concreto es de suma importancia para la durabilidad – garantizando así que las estructuras no sólo sean resilientes sino también ecológicamente respetuosas.

Algunas de estas prácticas sustentables incluyen:

- **Optimización en el suministro de los materiales** - la selección y suministro de los materiales tiene un impacto profundo en la huella ambiental y en el desempeño general del concreto. Elegir materiales localmente disponibles y sustentables reduce las emisiones causadas por la transportación y apoya a las economías regionales. Utilizar agregados reciclados y subproductos industriales, tales como agregados reciclados de concreto y escoria, también puede disminuir la demanda de materiales vírgenes y reducir el impacto ambiental;
- **Puesta en marcha de las normas de construcción verde** - Las normas de construcción verde tales como LEED y BREEAM garantizan que los proyectos de concreto cumplan con criterios de alta sustentabilidad. Estas normas promueven la eficiencia en el uso de la energía, la conservación de los recursos y la calidad medioambiental, orientando todo el diseño y la construcción de estructuras de concreto

hacia un menor impacto ecológico y una mayor durabilidad;

- **Priorización de la evaluación del ciclo de vida** - Una evaluación del ciclo de vida (LCA [por sus iniciales en inglés]) mide el impacto ambiental de las estructuras de concreto desde la producción hasta su disposición. Al analizar factores tales como el consumo de energía, el uso de recursos y las emisiones durante toda la vida útil de una estructura, los interesados pueden tomar decisiones informadas que minimicen el impacto ambiental y optimicen la sustentabilidad. Los hallazgos de una LCA pueden guiar para la selección de materiales, los métodos de construcción y las estrategias de mantenimiento, dando lugar a estructuras de concreto más durables y amigables con el ambiente.
- **Aumento en la eficiencia del uso de energía** - Las prácticas eficientes en cuanto al uso de energía en la construcción y mantenimiento de estructuras de concreto contribuyen a extender su vida útil y reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, las características del diseño tales como recubrimientos reflectantes y aislamiento térmico pueden mejorar el desempeño de la energía en construcciones de concreto. Además, las fuentes de energía renovable como los paneles solares o los generadores eólicos pueden reducir aún más la huella de carbono de la construcción y sus costos de operación; y
- **Promoción de la educación y capacitación** - Invertir en educación y capacitación para profesionales de la construcción garantiza que se pongan en práctica de manera eficaz las tecnologías y prácticas sustentables más recientes. Los programas y las certificaciones de desarrollo profesional continuo mantienen informadas a las partes interesadas en la



Demostración de impresión 3-D en World of Concrete, Las Vegas, NV, Estados Unidos de Norteamérica

industria respecto a los avances y prácticas sustentables en la tecnología del concreto.

Conclusión

Integrar tecnologías avanzadas con prácticas sustentables ofrece un enfoque integral para el concreto a prueba del futuro. Al abordar consideraciones tanto técnicas como ambientales, los involucrados pueden lograr soluciones de concreto durables, rentables y amigables con el ambiente que cumplan con las exigencias de la infraestructura moderna, a la vez que contribuyen a la sustentabilidad a largo plazo del concreto.

Para obtener más información, visite www.euclidchemical.com.

Jennifer K. Mizer es miembro de ACI y Directora de Servicios de Marketing en The Euclid Chemical Company, fabricante de concreto especializado y soluciones de construcción en mampostería. Veterana en la industria con más de 20 años de experiencia, Mizer administra las actividades de comunicaciones de comercialización para la extensa línea de aditivos, fibras de refuerzo, producción para reparación de concreto, materiales de pisos y sistemas de concreto decorativo de Euclid.



Título original en inglés:
**Future-Proofing Concrete:
How to Prolong Your
Concrete's Lifespan**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo México
Centro y Sur**



Traductora:
**Lic. Ana P. García
Medina**



Revisor Técnico:
**Dr. Esteban
Astudillo de la
Vega**