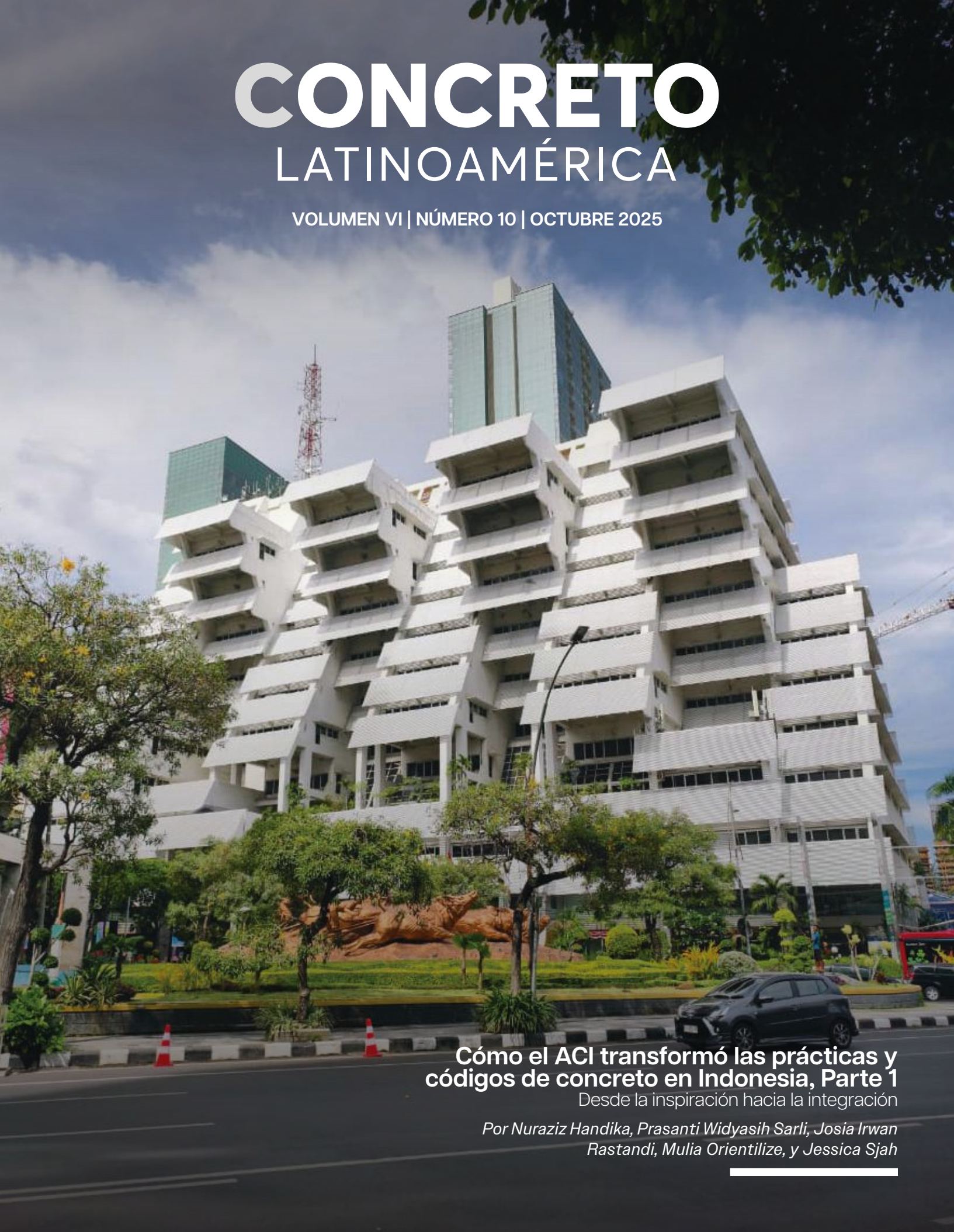


# CONCRETO

## LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VI | NÚMERO 10 | OCTUBRE 2025



### **Cómo el ACI transformó las prácticas y códigos de concreto en Indonesia, Parte 1**

Desde la inspiración hacia la integración

*Por Nuraziz Handika, Prasanti Widyasih Sarli, Josia Irwan Rastandi, Mulia Orientilize, y Jessica Sjah*



El presente número de la Revista Digital Concreto Latinoamérica es un esfuerzo de los Capítulos o Secciones del American Concrete Institute (ACI) en Latinoamérica, para poner al alcance de sus miembros y afiliados los contenidos que el ACI International publica en su revista Concrete International en inglés.

## Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

### Argentina

Dr. Raúl Bertero

### Colombia

Dra. Nancy Torres Castellanos  
Dr. Fabián Augusto Lamus Báez

### Costa Rica

Ing. Minor Murillo Chacón

### Ecuador Centro y Sur

Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín

### Guatemala

Ing. Xiomara Sapón Roldán  
Ing. Luis Álvarez Valencia

### México Noreste

Dr. Alejandro Durán Herrera

### México Noroeste

Ing. Raúl Alvarado Barbachano

### México Centro y Sur

Mtro. Sergio Valdés Constantino

### México Sureste

Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala

### República Dominicana

Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

### Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

### Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



A raíz de su independencia en 1945, Indonesia inició la construcción de su infraestructura apoyada en los códigos de construcción europeos. Su primer código provenía del Código Alemán GBVI como punto de partida.

Desde entonces HAKI, la Asociación de Ingenieros Civiles y Estructurales de Indonesia, ha venido incorporando las previsiones de ACI en sus códigos relacionados con concreto y diseño sísmico, lo que ha culminado con la firma de un acuerdo entre ACI y HAKI en 2017 y generado mayor colaboración entre ambas instituciones.

En nuestra foto de portada podemos ver la Torre Intiland, Surabaya, terminada en 1997; Edificio de 12 niveles diseñado por Benajmín Gideon & Associates y el Arq. Paul Rudolph y desarrollada bajo la norma SK SNIT-15-1991-03, combinando ensaye del concreto acorde con ACI y detalles sísmicos de Nueva Zelanda. Este edificio incorpora marcos de concreto reforzado, ganchos de 90 grados y mayor espaciamiento de los estribos, así como ventilación natural y protección solar propios de la región.

Más información en el artículo 5 de este número de la Revista.

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Octubre de 2025. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

# COMITÉ EDITORIAL

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a :  
Correo: concretolatam@gmail.com  
Tel: +52 81 2146 4907

## Presidente del Comité Editorial:

Dr. Alejandro Durán Herrera  
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI (2024-2026)

## Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

## Editores Asociados:

Dr. Lucio Guillermo López Yépez  
Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll  
Dr. René Francisco Vázquez Leal

## Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

## Traducción:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

## Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán  
Ing. Thyssen Won Chang

## Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

## Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

## Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

## Diseño Gráfico:

LDI. Hannia Annett Molina Frías  
LDG. Anakaren Lozano González

"Agradecemos el apoyo a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su colaboración en el diseño editorial de la revista".

**Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL**

# REVISORES EDITORIALES

En este número, el Comité Editorial agradece la colaboración como Revisores Editoriales a:

Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll  
Dr. Lucio Guillermo López Yépez  
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Dr. René Francisco Vázquez Leal  
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez  
Ing. Andrés Matos



American Concrete Institute  
*Always advancing*

# ¡Únete hoy!

Conoce tu capítulo local ACI  
300+ Capítulos profesionales y estudiantiles  
[www.concrete.org](http://www.concrete.org)



# CONTENIDO

- 1** | **Promoción del Código**  
**Cómo el ACI está impulsando el avance del concreto en el desarrollo de códigos**  
*Por Stephen S. Szoke*
- 2** | **En la intersección de la seguridad, la responsabilidad ambiental y la durabilidad**  
En busca de un enfoque sostenible para las estructuras existentes de concreto.  
*Por David G. Tepke*
- 3** | **Contribución del Comité ACI 236**  
**Aprovechamiento final de las cenizas de residuos sólidos urbanos en la industria del concreto**  
*Por Jordan K. Magnuson, Ashish D. Patel, Timothy G. Townsend y Christopher C. Ferraro.*
- 4** | **Código ACI-562**  
**Disposiciones de durabilidad**  
¡No hagamos esto otra vez!  
*Por Kyle Stanish*
- 5** | **Cómo el ACI transformó las prácticas y códigos de concreto en Indonesia, Parte 1**  
Desde la inspiración hacia la integración  
*Por Nuraziz Handika, Prasanti Widyasih Sarli, Josia Irwan Rastandi, Mulia Orientilize, y Jessica Sjah*
- 6** | **Replanteo de las Entregas en la Construcción de Concreto: de Cuello de Botella a Punto de Referencia**  
*Por Kimberly Waggle Kramer y Karin O'Brien*
- 7** | **Mejores Prácticas en Concreto Decorativo**  
**Preparación de la Superficie para Revestimientos Cementicios**
- 8** | **Preguntas y Respuestas**  
**Conceptos erróneos de GFRP - Parte 1**
- 9** | **¿Quiénes somos y qué hacemos?**  
**Premio Clyde E. Kesler a la Educación**  
El Capítulo Noreste de México comparte con gran alegría y orgullo la noticia del reconocimiento otorgado a su actual Presidente Dr. Alejandro Durán Herrera por su destacada labor académica en la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL.
- 10** | **¿Quiénes somos y qué hacemos?**  
**Encuentro Latinoamericano de Capítulos Estudiantiles del ACI (ENLACE) Monterrey 2025**  
Encuentro que fortalece el conocimiento, redes de colaboración y participación de los Capítulos Estudiantiles del ACI en Latinoamérica con la industria de la construcción.



# CONVOCATORIA

## CONCRETO LATINOAMÉRICA

¿Publicar tus artículos de investigación  
y casos de estudio en nuestra revista?  
**¡Es muy fácil!**

*Descarga la Guía  
de Publicación*



¡Escanea para  
conocer los  
requisitos!

*Llena la Carta  
de Solicitud*



¡Escanea para  
completar tus  
datos!

Una vez lista tu solicitud, fírmala y envíala a la Revista Concreto Latinoamérica a través del correo [concretolatam@gmail.com](mailto:concretolatam@gmail.com)

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

## Cómo el ACI está impulsando el avance del concreto en el desarrollo de códigos

Por Stephen S. Szoke

El trabajo de desarrollar y perfeccionar los códigos de construcción es maratónico, no una carrera de velocidad. Para el ACI, también es una oportunidad para garantizar que el papel del concreto en la construcción segura, sostenible y resiliente se comprenda claramente y esté bien representado. Durante el último año, el personal y los miembros del ACI han participado activamente en algunos de los eventos más influyentes de desarrollo de códigos y participación profesional en Norteamérica.

Esta participación va más allá de asistir a reuniones. Se trata de moldear el futuro de la práctica de la construcción, mantener los estándares del ACI actualizados en los códigos modelo y fortalecer las relaciones con los ingenieros, arquitectos, responsables de códigos y profesionales de la seguridad contra incendios que hacen realidad estos códigos.

### Consejo Internacional de Códigos: De Cleveland a Hartford

El calendario del Consejo Internacional de Códigos (ICC, por sus siglas en inglés) del ACI continúa este otoño con la Reunión y Exposición Anual de Negocios, del 19 al 21 de octubre de 2025, en Cleveland, OH, EE. UU. Este evento reunirá a responsables de códigos de todo Estados Unidos y del extranjero. El ACI presentará recursos diseñados para responsables de códigos en su stand, incluyendo acceso gratuito a las normas del ACI referenciadas en los Códigos Internacionales (Códigos-I), seminarios gratuitos en línea y una variedad de recursos técnicos que pueden ayudar a comprender las disposiciones relacionadas con el concreto.

Del 22 al 30 de octubre, Cleveland también será sede de las Audiencias de Acción del Comité del Grupo B (CAH #2), donde se revisarán cerca de 1 000 propuestas de cambio de código para su inclusión en los Códigos-I de 2027. Más de 100 de estas propuestas afectan la construcción con concreto,

y 32 están directamente relacionadas con el trabajo de los comités del ACI. Estas abarcan desde mejoras técnicas en las disposiciones de diseño hasta actualizaciones en las normas de referencia. Los resultados se publicarán el 25 de noviembre de 2025, seguido de un periodo de comentarios públicos que cerrará el 5 de enero de 2026.

El proceso de la ICC culminará del 19 al 28 de abril de 2026 en Hartford, CT, EE. UU., durante las Audiencias de Comentarios Públicos de los Grupos A y B. En estas audiencias, las partes interesadas tendrán la última oportunidad de opinar sobre los cambios propuestos antes de que se finalicen los Códigos-I de 2027.

### Difusión entre Organizaciones Regionales y Profesionales

El compromiso del ACI con la participación no se limita a los organismos nacionales de normalización. En colaboración con el Capítulo de Nueva Inglaterra del ACI, el ACI participará en la Conferencia Anual de la Asociación de Educación Oficial de la Construcción de Nueva Inglaterra (NEBOEA, por sus siglas en inglés) en Amherst, MA, EE. UU., del 5 al 9 de octubre de 2025. Esta reunión servirá como un foro educativo clave para los funcionarios de la construcción de Nueva Inglaterra. Los miembros del ACI presentarán contenido técnico de sus normas y publicaciones, incluyendo el “Código ACI-562-25 para la Reparación de Estructuras de Concreto Existentes – Implementación para Responsables del Código de Edificación”, de Gustavo Tumialan, Simpson Gumpertz & Heger, Inc.

Los ingenieros estructurales también encontrarán al ACI en la Cumbre del Consejo Nacional de Asociaciones de Ingenieros Estructurales (NCSEA, por sus siglas en inglés) en la ciudad de Nueva York, NY, EE. UU., del 14 al 17 de octubre de 2025. El ACI exhibirá recursos diseñados para fortalecer la conexión entre el ACI y la comunidad de la ingeniería estructural. El personal también participará en los comités técnicos de NCSEA, especialmente aquellos involucrados en el desarrollo de códigos modelo y normas de referencia.

El próximo mes, el ACI y el Instituto de Postensado (PTI, por sus siglas en inglés) participarán en el programa educativo de otoño del Instituto Profesional de la Construcción (BPI, por sus siglas en inglés) del Centro de Texas del 10 al 12 de noviembre, ofreciendo una sesión de medio día para capacitar a los profesionales de la construcción, incluyendo responsables de construcción, contratistas, inspectores municipales, arquitectos e ingenieros. Trey Hamilton, miembro del staff del ACI, presentará el Código ACI-440.11-22: Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural Reforzado con Barras de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) — Código y

Comentarios, y Tim Christle, Vicepresidente Ejecutivo del PTI, presentará el nuevo Código ACI/PTI-320-25: Concreto Estructural Postensado — Requisitos del Código y Comentarios, y el impacto del Código Residencial Internacional (IRC, por sus siglas en inglés) de 2024 en las losas postensadas residenciales sobre el terreno.

## Por qué es importante: La participación de los miembros es clave

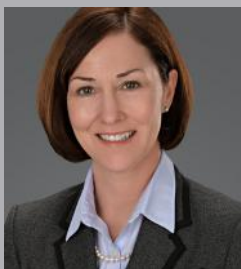
Estos eventos no son solo puntos en la agenda, sino estrategias clave en la misión continua de ACI de impulsar constantemente el concreto. Cada propuesta, audiencia y conferencia es un momento para garantizar que el concreto esté bien representado en el lenguaje técnico de los códigos y en la mente de los profesionales que los aplican a diario.

Ahí es donde entran en juego los miembros del ACI. La capacidad del ACI para influir en el desarrollo de códigos de construcción modelo y garantizar que sus estándares se consulten de forma precisa y eficaz depende de la participación activa de sus miembros. Ya sea participando en comités técnicos, brindando testimonio experto en audiencias o compartiendo los recursos del ACI con colegas, los miembros ayudan a consolidar el papel del concreto como base de una construcción segura y sostenible.

El próximo año, el ACI estará presente en el terreno, en las salas y en las mesas, garantizando que la historia del concreto se escuche y que sus estándares se cumplan. Con el compromiso continuo de sus miembros, esta historia se fortalecerá.

Para saber cómo participar, visite **[www.concrete.org/getinvolved/advocacy](http://www.concrete.org/getinvolved/advocacy)**. Si conoce alguna actividad en la que el ACI pueda participar, comuníquese con el Equipo de Defensa del Código ACI.

Para conocer más sobre la defensa del código ACI, visite **[www.concrete.org/advocacy](http://www.concrete.org/advocacy)** o contacte a los ingenieros de defensa del Código ACI: Kerry Sutton, [kerry.sutton@concrete.org](mailto:kerry.sutton@concrete.org), o Steve Szoke, [steve.szoke@concrete.org](mailto:steve.szoke@concrete.org)



Título original en inglés:  
**Code Advocacy.**  
How ACI is Advancing Concrete in  
Code Development

## La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Ecuador Centro y Sur



Traductor:  
**Ing. Andrés Qhizphi**  
**Arichavala**



Revisor Técnico:  
**Ing. Santiago Vélez**  
**Guayasamín**  
**MSc DIC**



## En la intersección de la seguridad, la responsabilidad ambiental y la durabilidad

En busca de un enfoque sostenible para las estructuras existentes de concreto.

*Por David G. Tepke*

El conocimiento y la experiencia necesarios para prolongar de manera responsable la vida útil de las estructuras existentes, a fin de responder a las demandas de la sociedad, están en constante expansión. Si bien, antes era común que un ingeniero estructural especializado en obra nueva diseñara y dirigiera proyectos de reparación o restauración de concreto, los avances actuales y sus crecientes complejidades requieren que los profesionales, o los equipos multidisciplinarios formados por ellos, dominen una amplia gama de conceptos estructurales, de materiales, de extensión de vida útil y medioambientales específicos para las estructuras existentes. Dada la amplitud y profundidad, así como la rapidez con la que se genera y difunde la información, surge la necesidad de formar, capacitar y desarrollar plenamente a los profesionales. Este artículo analiza los avances clave y las iniciativas educativas, principalmente asociadas al ACI (American Concrete Institute), así como a distintas universidades. La Comisión Brundtland señaló que “la humanidad tiene la capacidad de hacer que el desarrollo sea sostenible, garantizando que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias”<sup>1</sup>.

El término sostenible implica “crear y mantener condiciones en las que los seres humanos y la naturaleza puedan coexistir en una armonía productiva, que permita cumplir con los requisitos sociales, económicos y otros, tanto de las generaciones presentes como futuras”<sup>2</sup>.

Mantener la seguridad estructural, prolongar la vida útil de manera económica y elegir materiales y procesos conscientes de su impacto en el medio ambiente son acciones sostenibles que constituyen necesidades básicas para los edificios existentes. Los avances del sector en materia de normas de seguridad, monitorización y evaluación estructural, métodos de reparación, materiales y técnicas para la extensión de vida útil, así como en gestión

medioambiental, ofrecen oportunidades para alcanzar un nivel superior de desarrollo sostenible. Se están desarrollando y mejorando guías, códigos y regulaciones gubernamentales con el fin de introducir, formalizar y difundir este conocimiento para dar respuesta a las demandas sociales. Los profesionales actuales y futuros necesitan formación y actualización conforme se adoptan nuevos códigos y cambian las disposiciones en cada jurisdicción.

Algunos de los avances más significativos y recientes del ACI, aplicables a estructuras existentes, extensión de vida útil o gestión medioambiental, incluyen:

- Desarrollo de códigos de referencia estándar para la reparación del concreto, el diseño con materiales de refuerzo alternativos, el diseño con concreto de bajas emisiones de carbono y el diseño orientado a la durabilidad.
- Nuevas o actualizadas guías sobre reparación y rehabilitación, control de corrosión, medidas de protección, cementos alternativos, iniciativas de sostenibilidad, monitorización de la salud estructural y evaluación.
- Ampliación de oportunidades de desarrollo profesional relacionadas con el diseño de reparaciones, el diseño con refuerzos alternativos y la sostenibilidad.
- Incremento de la labor de promoción, difusión y formación, así como la creación del Comité de Códigos y Normas de Defensa y Divulgación del ACI en 2014, la contratación de Ingenieros de Defensa de Códigos por parte del ACI desde 2017, la puesta en marcha de grupos locales de apoyo a los códigos y diversas iniciativas dirigidas a la capacitación de responsables de su aplicación.

Las siguientes secciones analizan los componentes esenciales de la sostenibilidad en las estructuras de concreto existentes.

### Seguridad y rendimiento estructural de edificios existentes

Se están implementando en Estados Unidos diversas iniciativas y normativas de seguridad relacionadas con estructuras costeras, estacionamientos y la inspección de fachadas de edificios<sup>3</sup>. Esto responde, en parte, a una mayor concienciación derivada de eventos relevantes, pero también al conocimiento creciente sobre los mecanismos de deterioro que pueden comprometer el rendimiento estructural o generar condiciones de inseguridad.



El Código ACI-562: Evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes — Requisitos y comentarios normativos, publicado por primera vez en 2013, ha sido revisado en 2016, 2019 y 2021. En los últimos años, se ha incorporado en algunos códigos de edificación estatales como enfoque válido, y en 2024 fue adoptado por el Consejo Internacional de Códigos (International Code Council (ICC)) en el Código Internacional de Edificaciones Existentes (International Existing Building Code (IEBC))<sup>4</sup>. Este código ofrece múltiples herramientas útiles para evaluar condiciones estructurales potencialmente peligrosas, así como para la reparación y rehabilitación de estructuras<sup>5</sup>.

Otros códigos de referencia estructurales del ACI aplicables a edificios existentes incluyen:

- Código ACI-318: Código de Edificación para Concreto Estructural — Requisitos y comentarios normativos, empleado cuando se ejecutan obras nuevas dentro de edificios existentes.
- Código ACI-440.11.22: Requisitos de edificación para estructuras de concreto armado con barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) — Código y comentarios<sup>6</sup>, publicado en 2022 y adoptado por el ICC en el Código Internacional de Construcción (International Building Code (IBC)) 2024<sup>7</sup>.

Si bien la reparación y rehabilitación estructural se fundamentan en los principios de la ingeniería estructural, el diseño y la construcción orientados a la reparación, la rehabilitación y la extensión de vida útil han evolucionado en el sector hasta consolidarse como una especialidad independiente, debido al aumento de la información técnica disponible, la experiencia acumulada y las particularidades que la diferencian de la obra nueva.

Tepke y colaboradores<sup>8</sup> recopilan ejemplos de más de 70 documentos de comités del ACI desarrollados o actualizados en la última década, aplicables a la evaluación, reparación, rehabilitación, refuerzo o extensión de vida útil de estructuras existentes.

Entre los comités del ACI que generan documentos y oportunidades formativas directamente relacionados con el rendimiento, la investigación y la reparación de edificios existentes destacan:

- 228: Ensayos no destructivos del concreto.
- 364: Rehabilitación.
- 437: Evaluación de la resistencia de estructuras de concreto existentes.
- 546: Reparación.

- 562: Evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto.
- 563: Especificaciones para reparación de concreto estructural en edificios.

Otros comités cuyas publicaciones también resultan aplicables a las estructuras existentes incluyen:

- 318: Código de edificación de concreto estructural.
- 201: Durabilidad del concreto.
- 222: Corrosión de metales en el concreto.
- 362: Estructuras de estacionamiento.
- 377: Integridad estructural basada en el rendimiento y resiliencia de estructuras de concreto.
- 440: Refuerzo con polímeros reforzados con fibra.
- Comité en conjunto ACI-ASCE 423: Concreto pretensado, entre otros.

Las iniciativas educativas del ACI específicamente relacionadas con el rendimiento estructural y la reparación incluyen las asociadas al Comité E706: Educación en Reparación de Concreto, que elabora documentos sobre procedimientos de aplicación en reparaciones y que prevé el desarrollo futuro de un programa de certificación vinculado al Código ACI-562. Un ejemplo de otra organización que ofrece recursos educativos en esta área es el Instituto Internacional de Reparación de Concreto (ICRI) (International Concrete Repair Institute), que proporciona documentación consensuada por comités, programas de certificación y oportunidades de formación centradas en la evaluación y reparación estructural.

## Gestión ambiental

Los impactos ambientales del concreto y de las estructuras de concreto pueden abarcar:

- Cambio climático global.
- Consumo de recursos naturales.
- Alteración de la capa de ozono.
- Uso del suelo y modificación de hábitats.
- Eutrofización.
- Acidificación.
- Contaminación atmosférica, hídrica y del suelo.

- Contaminación por sustancias radioactivas.
- Impactos derivados de la generación de residuos.
- Ruido y vibraciones<sup>9</sup>.

Para mitigar estos efectos, se están implementando iniciativas a nivel industrial orientadas a reducir la huella ambiental, entre ellas:

- Disminución de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la producción de cemento portland.
- Sustitución parcial del cemento portland por polvo de piedra caliza.
- Reducción del potencial de calentamiento global (GWP) en la producción y uso del concreto.
- Empleo de materiales alternativos.
- Incremento de la eficiencia de los sistemas estructurales, reduciendo así el consumo de materiales.
- Reutilización adaptativa de estructuras existentes.
- Extensión de la vida útil de las construcciones.
- Incorporación de productos reciclados o residuos en la fabricación del concreto.

Diversos autores aportan antecedentes clave en este campo:

- Schokker<sup>10</sup>: visión general sobre sostenibilidad.
- Szoke<sup>11</sup> y colaboradores: importancia de la eficiencia estructural.
- Tennis<sup>12</sup> y colaboradores: uso de adiciones de caliza en el cemento para reducir emisiones de carbono.

En algunas jurisdicciones ya se están aplicando regulaciones que exigen la gestión ambiental, mediante evaluaciones de ciclo de vida y el uso de declaraciones ambientales de producto (EPDs) como requisito para la calificación de materiales.

El ACI actualizó su plan estratégico en 2007 para incluir la sostenibilidad como eje de acción. En 2008 se creó el Comité 130: Sostenibilidad del Concreto, que en 2019 publicó el ACI PRC-130-19<sup>13</sup>: Informe sobre el papel de los materiales en la construcción sostenible con concreto. La versión más reciente del Código ACI-318 (2025) incorpora por primera vez disposiciones específicas de sostenibilidad,

y se espera que la próxima edición del ACI SPEC-301: Especificaciones para la construcción con concreto incluya también normas complementarias. Asimismo, se ha desarrollado el Código ACI-323.24<sup>14</sup>: Concreto de bajas emisiones de carbono — Requisitos y comentarios normativos, que constituye un nuevo código de referencia para la industria.

Entre los comités del ACI que generan documentos y oportunidades educativas directamente relacionados con la minimización del impacto ambiental destacan el 130 (Sostenibilidad del Concreto), el 242 (Cementos Alternativos), el 323 (Código de concreto de bajas emisiones de carbono), el 555 (Concreto con materiales reciclados) y el subcomité 301-S (Sostenibilidad). Otros grupos también contribuyen en áreas como materiales cementantes suplementarios, iniciativas de durabilidad y eficiencia en diseño y construcción. Además, organizaciones como la Asociación Americana del Cemento (American Cement Association (ACA)) han desempeñado un papel clave en la difusión de información orientada a la reducción del potencial de calentamiento global (GWP) asociado a la producción y uso del concreto.

Muchas de las iniciativas actuales se centran en la sostenibilidad desde la perspectiva de la demanda de carbono en la producción de materiales para obra nueva. Sin embargo, principios similares son aplicables a la durabilidad, reparación del concreto y extensión de la vida útil de estructuras existentes. La durabilidad se reconoce como un factor esencial para garantizar construcciones sostenibles y prolongar la vida de servicio de las estructuras, además de ser un componente clave en la evaluación del impacto global del ciclo de vida en la demanda de carbono de las construcciones<sup>10</sup>. Acciones responsables como la extensión de la vida útil, la rehabilitación y la reutilización adaptativa son, en sí mismas, prácticas sostenibles. Diversos estudios —entre ellos los de Schokker<sup>15</sup>, el Comité 160 del ICRI<sup>16</sup> (Ciclo de vida y sostenibilidad), Renne et al.<sup>17</sup> y Wittcox et al.<sup>18</sup>— han demostrado los beneficios de incluir tanto el análisis de ciclo de vida como la extensión de la vida útil en la evaluación de estrategias, evidenciando la conveniencia de optar por la protección, el mantenimiento y la reparación frente a la demolición y sustitución.

Finalmente, se reconoce la necesidad de seguir avanzando en la integración de principios de gestión

ambiental aplicados a la construcción nueva y, de manera más intensa, al ámbito de la reparación y la rehabilitación. Esto incluye métodos como la reparación estructural, la protección catódica o la aplicación de recubrimientos, que deben ser evaluados frente a las implicaciones ambientales de la sustitución total de las estructuras.

## **Diseño de durabilidad y extensión de la vida útil**

Desde comienzos del siglo XX se han logrado importantes avances en la identificación y estudio de los mecanismos de deterioro relacionados con la durabilidad y los materiales, la incorporación de disposiciones básicas para abordarlos en los códigos y el control de la corrosión<sup>19,20</sup>. Las disposiciones fundamentales sobre durabilidad están incluidas en el Código ACI-562-25<sup>21</sup> para la reparación de estructuras existentes y en el Código ACI-318-25<sup>22</sup> para los elementos nuevos en estructuras existentes, cuando corresponde.

El Comité 321 del ACI (Código de Durabilidad del Concreto) está desarrollando un nuevo código para el diseño y la construcción orientados a la durabilidad de estructuras nuevas, que también se espera sea aplicable a las partes nuevas de estructuras existentes que requieran sustitución. Este código será útil para aumentar la vida útil de las construcciones en general, abordar de manera más integral la durabilidad y dar respuesta a necesidades específicas de mejora del rendimiento del concreto en ambientes agresivos. Además, se prevé que el documento incluya una sección dedicada al mantenimiento necesario para lograr la durabilidad extendida especificada.

Por su parte, el Comité 365C del ACI (Código de Predicción de Vida Útil) ha desarrollado una especificación de diseño para la evaluación de la vida útil con el fin de aportar bases adicionales al diseño de estructuras nuevas: Código ACI 365-24<sup>23</sup>: Evaluación de vida útil — Especificación de diseño. Actualmente se está elaborando una especificación complementaria para la evaluación de la vida útil de estructuras existentes.

Entre los comités del ACI cuyos documentos e iniciativas educativas se aplican directamente a la durabilidad de estructuras existentes se encuentran el 201 (Durabilidad del concreto), el 222 (Corrosión de metales en el concreto), el 365 (Predicción de vida

útil) y el 515 (Sistemas de protección para concreto). Asimismo, como señalan Tepke y Mandry-Campbell, en los últimos 40 años tanto el ACI como la Asociación de Protección y Comportamiento de los Materiales (AMPP) (Association for Materials Protection and Performance) y el ICRI han desarrollado diversos documentos guía que ayudan a los proyectistas a especificar diferentes productos y sistemas para la extensión de la vida útil de estructuras existentes expuestas a condiciones corrosivas.

## **Planes de estudio en instituciones de educación superior**

El nivel de participación de los estudiantes y jóvenes profesionales constituye un elemento esencial para lograr una integración exitosa del desarrollo sostenible. La evaluación y reparación de estructuras de concreto debe ser un eje prioritario para alcanzar los objetivos globales de sostenibilidad.

Con este propósito, se realizó una encuesta a 1 448 docentes de 120 países, todos ellos miembros de la Red de Docentes del ACI, con el fin de comprender mejor los cursos y programas especializados que actualmente ofrecen las universidades y centros de educación superior, en áreas relacionadas con el rendimiento y diseño estructural, la sostenibilidad y la durabilidad/ extensión de vida útil.

La encuesta fue elaborada por el autor y administrada por el ACI mediante correo electrónico y recordatorios en mayo de 2024.

### **Preguntas de la encuesta**

Se solicitó la siguiente información:

- Nombre de la universidad.
- Enfoque y especialidad del programa de grado (la especialidad o enfoque del programa debe incluir un mínimo de cuatro asignaturas). Seleccionar todas las opciones que se ofrezcan en la universidad (respuestas múltiples):
  - o Ingeniería estructural como especialidad o enfoque del programa.
  - o Diseño de concreto estructural como especialidad o enfoque del programa.
  - o Materiales de concreto o durabilidad del concreto como especialidad o enfoque



del programa.

- o Sostenibilidad de materiales de construcción como especialidad o enfoque del programa.
- o Evaluación, reparación y extensión de vida útil del concreto como especialidad o enfoque del programa.

- Enfoque de programas de posgrado (el enfoque del programa debe incluir un mínimo de cuatro asignaturas). Seleccionar todas las opciones que se ofrezcan en la universidad (respuestas múltiples):
  - o Enfoque en ingeniería estructural.
  - o Enfoque en diseño o análisis de concreto estructural.
  - o Enfoque en materiales de concreto o durabilidad del concreto.
  - o Enfoque en sostenibilidad de materiales de construcción.
  - o Enfoque en evaluación, reparación y extensión de vida útil del concreto.
- Asignaturas individuales (cada asignatura debe estar dedicada al menos en un 75 % al tema indicado). Seleccionar todas las opciones que se ofrezcan en la universidad (respuestas múltiples):

- o Curso(s) de diseño de concreto estructural para estructuras nuevas usando los principios del Código ACI-318.
- o Curso(s) de diseño de concreto estructural con refuerzo de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP), basados en el Código ACI-440.11.
- o Curso(s) sobre diseño de durabilidad del concreto o vida útil de estructuras nuevas.
- o Curso(s) sobre sostenibilidad del concreto o uso de concreto de bajas emisiones de carbono.
- o Curso(s) sobre reparación o refuerzo de concreto estructural (en cualquier aspecto).
- o Curso(s) de diseño de reparación de concreto estructural basados en los principios del Código ACI-562.
- o Curso(s) de diseño de reparación de concreto estructural con sistemas de polímero reforzado con fibra (FRP), internos o externos.
- o Curso(s) sobre corrosión del acero de refuerzo en el concreto.
- o Curso(s) sobre ensayos no destructivos del concreto.
- o Curso(s) sobre forense estructural o investigación de fallos.
- o Curso(s) sobre sostenibilidad y extensión de vida útil de estructuras existentes.

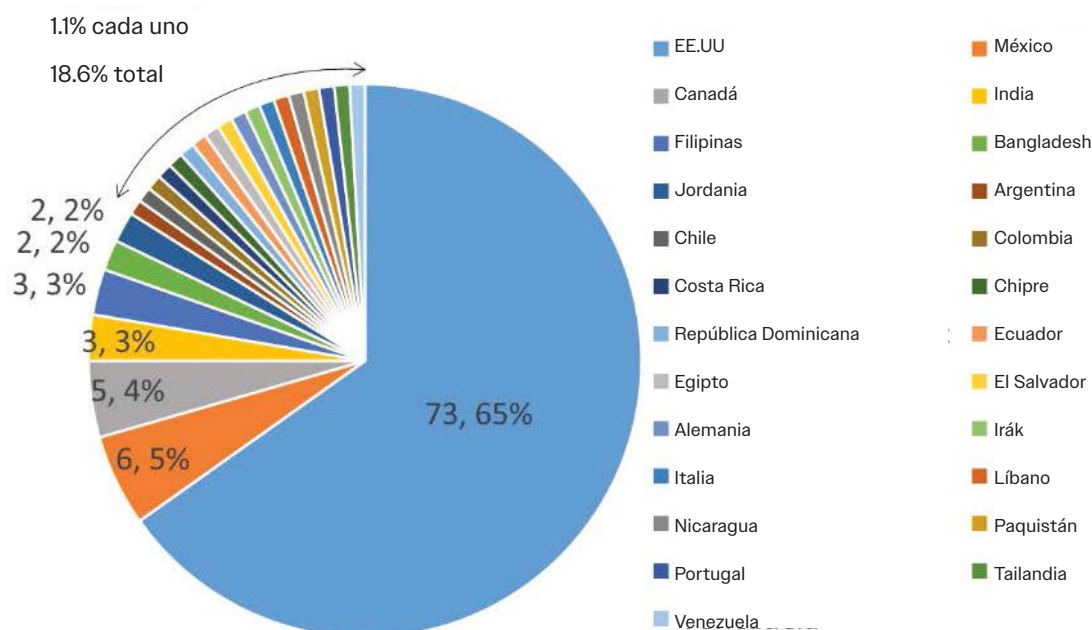


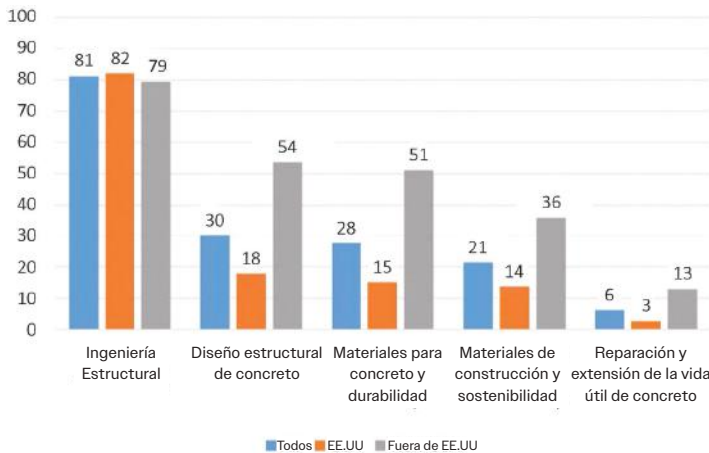
Fig. 1: Ubicación de las universidades representadas por los encuestados (número y porcentaje)

- Información adicional: los encuestados podían aportar cualquier otra información o calificación complementaria a sus respuestas.
- Datos de contacto: quienes desearan discutir sus respuestas podían facilitar su nombre y dirección de correo electrónico.

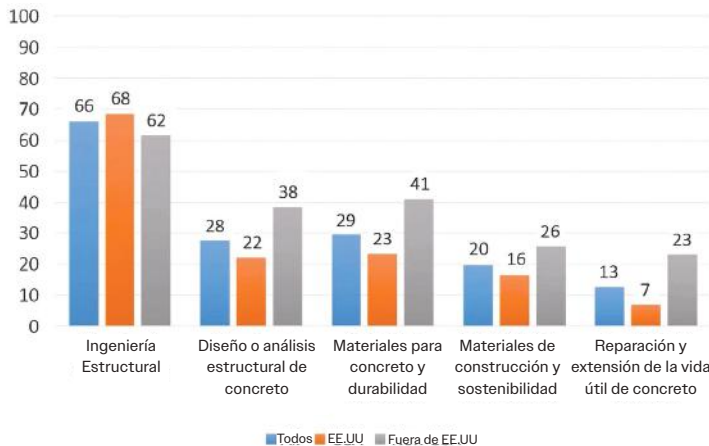
## Resultados de la encuesta y discusión

Se recibieron un total de 132 respuestas provenientes de 120 instituciones en 25 países y cinco continentes. Los datos presentados en este documento se basan en las respuestas autoinformadas por los participantes. No se realizaron intentos de solicitar respuestas de manera individual a los miembros, confirmar la información proporcionada o incluir escuelas adicionales. Cuando hubo múltiples respuestas de una misma institución, la información fue consolidada para representar una sola respuesta por universidad.

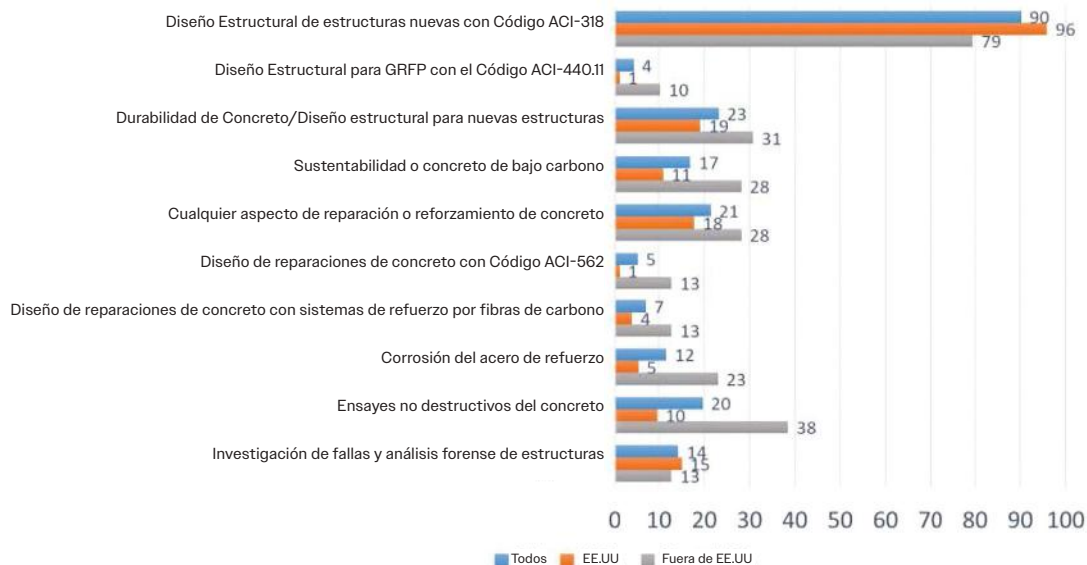
La interpretación de las preguntas, las percepciones, la exhaustividad de las respuestas, el conocimiento de todos los cursos e iniciativas disponibles, entre otros aspectos, pueden afectar la precisión de los resultados. Si bien es posible que existan algunas inexactitudes derivadas del autoinforme, la participación parcial o la omisión de universidades con programas o cursos no reportados, se espera que la encuesta proporcione una descripción razonable de los cursos y planes de estudio disponibles. Los comentarios de los encuestados ofrecieron perspectivas adicionales.



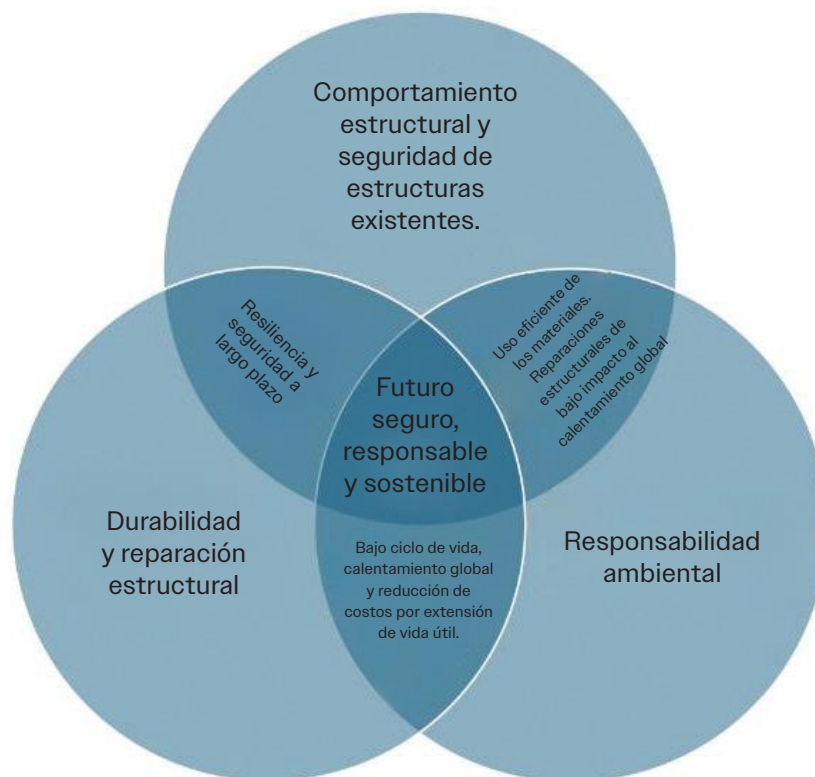
**Fig. 2: Enfoque del programa de pregrado (al menos cuatro cursos) (porcentaje de instituciones)**



**Fig. 3: Enfoque del programa de posgrado (al menos cuatro cursos) (porcentaje de instituciones) (Nota: SLE significa extensión de la vida útil)**



**Fig. 4: Cursos con al menos un 75% de enfoque (porcentaje de instituciones) (Nota: SL es vida útil).**



**Fig. 5: Sostenibilidad en cuanto a la seguridad, durabilidad y bajo impacto ambiental de los edificios existentes.**

Varios participantes señalaron que cuentan con uno o más cursos que cubren la información solicitada, pero no alcanzan el nivel del 75% requerido en la encuesta. Uno de los encuestados cuestionó que este umbral del 75% fuera demasiado restrictivo para una representación adecuada.

En una conversación posterior con uno de los participantes, se destacó la importancia de que los organismos de acreditación reconozcan estas necesidades, así como la necesidad de contar con materiales de aprendizaje adicionales, como libros de texto.

Los resultados de la encuesta y los porcentajes reportados en las Fig. 1 a la Fig. 4 se basan en el número de instituciones representadas por los encuestados. Los resultados indican que muchas de las universidades representadas ofrecen cursos con al menos un 75% de dedicación al diseño de nuevas estructuras de concreto, pero en comparación son menos las que imparten cursos sobre diseño alternativo, durabilidad o sostenibilidad. Asimismo, se encontró que un mayor número de universidades ofrece programas de licenciatura o posgrado enfocados en ingeniería estructural que en diseño de concreto, durabilidad o sostenibilidad, y relativamente pocas se enfocan en evaluación, reparación y extensión de la vida útil.

Por lo tanto, se observa que algunas universidades están abordando, de alguna manera, estos temas especializados; sin embargo, también queda en evidencia que existe una oportunidad clave de mejora.

## Sinergia necesaria

Existe una sinergia esencial entre el desempeño estructural, la prolongación de la vida útil mediante un diseño durable y el uso ambientalmente responsable de materiales y tecnologías en estructuras existentes, con miras a un futuro seguro y sostenible (Fig. 5). Esto incluye el uso eficiente de materiales y tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de las reparaciones y, en general, el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida mediante una extensión significativa de la vida en servicio.

La implementación de un enfoque sinérgico requiere la combinación de la experiencia en ingeniería de reparación estructural con la necesaria especialización en ciencias de los materiales y sostenibilidad. Esto puede demandar la conformación de equipos. A medida que aumenta la complejidad de la información, pueden surgir nuevas especialidades y ramificaciones dentro



de las ya existentes. La educación universitaria, la formación continua, la mentoría y los programas de certificación o acreditación (como los mencionados en este artículo) ofrecen oportunidades de avance. Los programas de capacitación para los trabajadores que realizan reparaciones también son fundamentales, ya que la correcta ejecución de las obras incide de manera significativa en la seguridad, la durabilidad de las reparaciones, los costos ambientales asociados a mantenimientos más frecuentes y los costos globales del ciclo de vida.

Una especialidad en reparación estructural para ingenieros puede considerarse análoga a la especialización de ingenieros estructurales en diseño de estructuras de madera, acero, mampostería o concreto, o en aplicaciones específicas como tanques, cascarones delgados o edificios compuestos. Solo en el ámbito de las estructuras existentes, se requiere competencia en nuevas y cambiantes disposiciones normativas que pueden variar jurisdiccionalmente en una misma área de práctica; en el conocimiento y las opciones más recientes en enfoques de reparación; en el entendimiento de los materiales empleados históricamente en nuevas construcciones que obliga al dominio de sistemas ya obsoletos; en la actualización constante de documentos guía elaborados por organismos profesionales; y en la aplicación de técnicas de investigación novedosas y mejoradas.

Las reparaciones estructurales de concreto requieren conocimiento sobre mecanismos de deterioro relacionados con materiales, materiales especiales de reparación, mecánica y productos específicos de reparación, además de la experiencia necesaria, que difiere del diseño estructural de nuevas construcciones y puede tomar varios años en desarrollarse, dado el rango de sistemas y condiciones que pueden presentarse. Estas complejidades se ven acentuadas por el hecho de que la enseñanza formal en instituciones educativas se centra principalmente en la construcción nueva.

## Conclusiones

Con la evolución de las necesidades sociales y los avances científicos surge la responsabilidad de educar a profesionales y estudiantes. Existen recursos disponibles para los profesionales en

ejercicio, como la mentoría, el aprendizaje en línea, la participación en organizaciones, entre otros; sin embargo, los planes de estudio formales dirigidos a los estudiantes que integrarán la industria son limitados. Muchas universidades ofrecen cursos y programas en ingeniería estructural. En comparación, son menos las que imparten cursos sobre sostenibilidad del concreto, diseño avanzado para la durabilidad, seguridad en edificaciones existentes, ensayos no destructivos, corrosión del acero de refuerzo o ingeniería estructural enfocada en la reparación de estructuras existentes.

Los programas que educan de manera integral y coherente a los estudiantes en la reparación y extensión de la vida útil de las estructuras existentes son aún menos comunes. Esto sugiere que las universidades tienen la oportunidad de vincular los elementos sinérgicos fundamentales de la sostenibilidad en un enfoque cohesivo para las estructuras existentes y preparar mejor a los estudiantes para la práctica profesional.

Para que la gestión sostenible de las estructuras existentes se consolide como una práctica común y generalizada, quienes forman a los estudiantes, redactan y aplican normativas, diseñan reparaciones, evalúan edificios y ejecutan reparaciones y mantenimientos en edificaciones existentes deben comprender y enfocarse en las sinergias entre seguridad, durabilidad y responsabilidad ambiental. Se han logrado avances significativos, pero aún es necesario continuar.

## Agradecimientos

El autor desea expresar su sincero agradecimiento a los miembros del personal del ACI Claire Hiltz y Kanette Worlds-Richards por la gestión y recopilación de los datos de la encuesta presentados en este artículo; a Ceki Halmen, de la Universidad de Missouri-Kansas City, por las valiosas discusiones sobre los resultados de la encuesta; y a Stephen Szoke (ACI), David Keatts (SKA) y Stephen Robinson (SKA) por sus valiosos comentarios durante la revisión de versiones anteriores de este artículo.

Si bien las sugerencias de las personas mencionadas fueron de gran valor, las opiniones y la precisión de la información son responsabilidad exclusiva del autor, y las opiniones expresadas pueden no reflejar las de otros.

**David G. Tepke**, FACI, es Ingeniero Principal en SKA Consulting Engineers, Inc., en Charleston, Carolina del Sur, EE. UU. Es Presidente del Comité ACI 222, Corrosión de Metales en el Concreto, y del Comité del ACI sobre Promoción y Divulgación de Códigos y Normas. Además, es miembro del Comité de Actividades Técnicas del ACI y de los Comités 201 (Durabilidad del Concreto), 301 (Especificaciones para la Construcción de Concreto), 321 (Código de Durabilidad del Concreto) y 562 (Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto). Es Especialista Certificado en Corrosión por NACE/AMPP y ingeniero profesional con licencia.



Título original en inglés:  
**At the Intersection of Safety,  
Environmental Responsibility,  
and Durability.**

Seeking a sustainable approach to existing concrete structures

**La traducción de este artículo  
correspondió al Capítulo México  
Sureste**



*Traductora:*  
**Ing. Maria Jesús  
Domínguez Ramos**



*Revisor Técnico:*  
**Dr. Josseph Eli  
Mandujano Zavala**

## Aprovechamiento final de las cenizas de residuos sólidos urbanos en la industria del concreto

*Por Jordan K. Magnuson, Ashish D. Patel, Timothy G. Townsend y Christopher C. Ferraro.*

Este artículo analiza el aprovechamiento final de las cenizas procedentes de la incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) en la industria del concreto, centrándose en la construcción de carreteras con baja resistencia y en usos no estructurales (NE). La reutilización de las cenizas de la incineración de RSU es una práctica habitual en todo el mundo, y en Estados Unidos se han puesto en marcha proyectos piloto<sup>1-9</sup>. Entre los proyectos piloto llevados a cabo en Florida (EE. UU.) se incluyen la reutilización de cenizas de la incineración de RSU en la base de carreteras o como agregado en concreto de cemento Portland (CCP) en los condados de Pasco, Hillsborough y Palm Beach, y la creación de clinker de cemento utilizando entre un 1 % y un 2 % de cenizas de la incineración de RSU en el centro-norte y el centro-sur de Florida.

### Visión general de la incineración de RSU

La incineración de RSU es el proceso de convertir los RSU en energía mediante la combustión controlada<sup>10</sup>. Este método aborda el problema de la acumulación de residuos en los vertederos, al tiempo que aprovecha el contenido calorífico de los materiales de desecho para generar electricidad o calor<sup>10</sup>. Aproximadamente 34.6 millones de toneladas (31.4 millones de toneladas métricas), alrededor del 12% de los RSU, se incineran anualmente en los Estados Unidos, lo que produce alrededor de 8.5 millones de toneladas (7.7 millones de toneladas métricas) de cenizas de la incineración de RSU como subproducto<sup>11</sup>.

De acuerdo con los requisitos normativos estadounidenses, las cenizas volantes (FA, por sus siglas en inglés) y las cenizas de fondo (BA, por sus siglas en inglés) producidas durante la incineración de RSU se mezclan para producir cenizas combinadas (CA, por sus siglas en inglés)<sup>12</sup>. Las BA de la incineración de RSU se refieren a los residuos no combustibles que quedan después del proceso de incineración,

que se componen principalmente por materiales inorgánicos como vidrio, metales y cerámica, como se muestra en la Fig. 1. Este material posee un valor calorífico residual y se deposita en vertederos o se reutiliza en proyectos de construcción<sup>12-15</sup>. Las FA de la incineración de RSU constituyen partículas finas capturadas por dispositivos de control de la contaminación atmosférica durante la incineración. Aunque la FA de la incineración de RSU se puede emplear en diversas actividades de reutilización, su gestión adecuada es crucial debido a las posibles implicaciones para la salud y el medio ambiente asociadas a su composición<sup>10</sup>. La CA de la incineración de RSU contiene aproximadamente un 80% de BA de la incineración de RSU y un 20% de FA de la incineración de RSU.

En la actualidad, en Estados Unidos se reciclan o reutilizan cantidades mínimas de BA procedente de la incineración de RSU como base para carreteras o agregados para la construcción<sup>12-15</sup>. Las cenizas de la incineración de RSU son útiles en estos mercados debido a sus propiedades de resistencia y a su composición elemental (calcio, sílice, aluminio y hierro [Ca, Si, Al y Fe]). Además, se siguen estudiando otras aplicaciones, como la alimentación de hornos de cemento<sup>12,16,17</sup>.

La producción mundial de cemento es de aproximadamente 4.1 millones de toneladas (3.7 millones de toneladas métricas) al año<sup>18</sup>, lo que brinda la oportunidad de reciclar grandes cantidades de cenizas de la incineración de RSU como ingrediente o sustituto del cemento, incluso en porcentajes de sustitución bajos<sup>17</sup>. El establecimiento de un programa de reciclaje de este tipo no sólo reduce el volumen de residuos que se envían al vertedero, sino que también reduce la necesidad de utilizar FA de carbón y materiales extraídos de forma natural, lo que en última instancia reduce la huella medioambiental del sector de la construcción<sup>17</sup>.

Este artículo explora las aplicaciones pasadas, presentes y potenciales futuras de las cenizas en la industria del concreto, particularmente las relacionadas con las BA de la incineración de RSU como agregado para concreto, sustituto del cemento como material cementante suplementario (SCM, por sus siglas en inglés) e ingrediente del cemento (alimentación del horno).



## Usos de las cenizas de la incineración de RSU

La BA de la incineración de RSU es un material granular y altamente compactable con propiedades similares a las de los agregados naturales que se utilizan habitualmente en la construcción de carreteras como material básico o agregado. Los estudios de laboratorio han documentado propiedades físicas y geotécnicas, como la resistencia a la carga, que demuestran que las cenizas de la incineración de RSU pueden ser adecuadas para su uso como base de carreteras, a pesar de su heterogeneidad<sup>15</sup>. Los recientes avances en los datos del proyecto piloto arrojan resultados prometedores en cuanto al comportamiento y el medio ambiente de la reutilización de cenizas de la incineración de RSU en bases de carreteras y otras aplicaciones en la construcción. Mientras que en investigaciones anteriores se ha estudiado el uso de BA procedente de incineración de RSU en bases de carreteras, el trabajo actual evalúa la reutilización de BA en formas encapsuladas, partiendo de la idea de que el encapsulado ayudará a evitar la lixiviación de metales pesados y otros componentes de las cenizas, preservando así la salud humana y el medio ambiente circundante.



**Fig. 1. Cenizas de fondo (BA) frescas (izq.) y lavadas (der.) de la incineración de RSU**

### Agregado para concreto

Recientemente se ha estudiado en Florida el uso de la BA de la incineración de RSU como sustituto del agregado grueso en el CCP<sup>1,13,19</sup>. La reutilización de la ceniza de la incineración de RSU como agregado en el concreto reduce la dependencia de los agregados extraídos, como la piedra caliza y el granito, y aprovecha un recurso que, de otro modo, se consideraría un desecho. Esta práctica no es inusual en el mundo, ya que muchos países europeos y asiáticos utilizan la BA de la incineración de RSU para sustituir hasta el 50% de los agregados gruesos en el concreto NE<sup>19</sup>. En estas aplicaciones, el rendimiento

de las muestras de CCP modificadas con BA y los proyectos piloto llevados a cabo en toda Florida han cumplido con éxito los umbrales de rendimiento exigidos por el Departamento de Transporte de Florida (FDOT, por sus siglas en inglés)<sup>1,19</sup>.

La colaboración entre la Autoridad de Residuos Sólidos (ARS) del condado de Palm Beach, FL, y la Universidad de Florida, Gainesville, FL, ha determinado que la BA de la incineración de RSU es un agregado adecuado para el concreto NE según la Especificación para Carreteras y Puentes de la FDOT<sup>20</sup>. Las pruebas de resistencia (Fig. 2) de la BA de la incineración de RSU en el concreto han sido prometedoras, con hasta un 50 % de sustitución del agregado grueso que cumple con los umbrales de rendimiento<sup>19</sup>. Por ejemplo, se construyó una acera con CCP modificado con la BA de la incineración de RSU (Fig. 3) en la RSU del condado de Palm Beach, en colaboración con la Universidad de Florida.

Los avances recientes en el CCP modificado con BA de la incineración de RSU incluyen la realización de una recuperación avanzada de metales (AMR, por sus siglas en inglés) en la BA antes de su uso. El proceso de AMR elimina los elementos metálicos mediante tamices, imanes y separadores de corrientes de Foucault. En la RSU, la BA procesada mediante AMR se ha probado en el CCP para evaluar sus características de resistencia y comportamiento en comparación con la BA sin procesar (recuperación tradicional de metales [TMR, por sus siglas en inglés])<sup>19</sup>.



**Fig. 2. Cilindros de ensaye con BA de la incineración de RSU como agregado**





**Fig. 3: Banqueta con BA de la incineración de RSU en la Autoridad de Residuos Sólidos del condado de Palm Beach, FL**

Las investigaciones han demostrado que el concreto que incorpora la AMR o la BA por TMR cumple con los requisitos de resistencia a la compresión para el concreto NE y de baja resistencia (17 MPa [2 470 psi]). Se observó poca o ninguna diferencia en la resistencia a la compresión entre los especímenes que incorporaban la AMR y los que incorporaban BA de la TMR, aunque los especímenes modificados con BA de la AMR mostraron el doble de contracción media en comparación con los especímenes de la TMR, probablemente debido al aumento de las reacciones del Al en los especímenes de la TMR, que contrarrestaron la contracción<sup>19</sup>.

Otro proyecto piloto destacable es una carretera de pruebas construida con secciones de CCP modificado con BA de la incineración de RSU en el condado de Pasco, FL. Construido en 2015 en el vertedero del condado de Pasco, este proyecto incorporó BA de la incineración de RSU en la base de la carretera, el pavimento asfáltico y las secciones de prueba del pavimento de CCP, junto con secciones de control construidas sin BA de la incineración de RSU <sup>1,21</sup>. Desde su construcción inicial, la carretera piloto ha sido utilizada por vehículos en el vertedero y se han realizado pruebas periódicas para evaluar su comportamiento y parámetros ambientales, como la aparición de grietas y el monitoreo de las aguas subterráneas.

Debido a la naturaleza de las BA de la incineración de RSU, algunos de los materiales que la componen se encuentran en concentraciones que deben controlarse para garantizar la seguridad de las personas y el medio ambiente. Antes de la construcción de la carretera piloto del condado de Pasco, se llevó a cabo una evaluación de riesgos para valorar las implicaciones de la exposición de las personas y el medio ambiente a las BA de la incineración de RSU. La principal fuente de preocupación es la filtración al agua subterránea, es decir, el desplazamiento de los compuestos a través de la carretera hasta el manto acuífero. El uso de BA de la incineración de RSU como agregado garantiza que permanezca encapsulado dentro del pavimento, lo que reduce la exposición al medio ambiente<sup>21</sup>. Además, el concreto evita la infiltración significativa de agua a través de la carretera, por lo que se espera que haya poca o ninguna filtración al agua subterránea. Esto fue respaldado por los resultados del monitoreo del agua subterránea, que



**Fig. 4: Condado de Pasco, FL, sección del CCP con agregado grueso de BA de la incineración de RSU durante la construcción (izq.) y una década después (der.)**

no revelaron cambios notables en la calidad de ésta debajo de la carretera de prueba en comparación con el agua subterránea recolectada del sitio antes de la construcción<sup>21</sup>. La Figura 4 muestra esta sección de la carretera piloto durante su construcción y una década después. La carretera piloto sigue funcionando como una ruta utilizable para los empleados del vertedero, los contratistas y la maquinaria de construcción relacionada con los proyectos en curso en el vertedero del condado de Pasco.

Estos hallazgos demuestran que la BA de la incineración de RSU puede utilizarse de forma segura y eficaz como agregado grueso en el CCP, lo que ofrece una opción de reutilización práctica y probada para los profesionales que buscan alternativas sostenibles a los materiales no procesados.

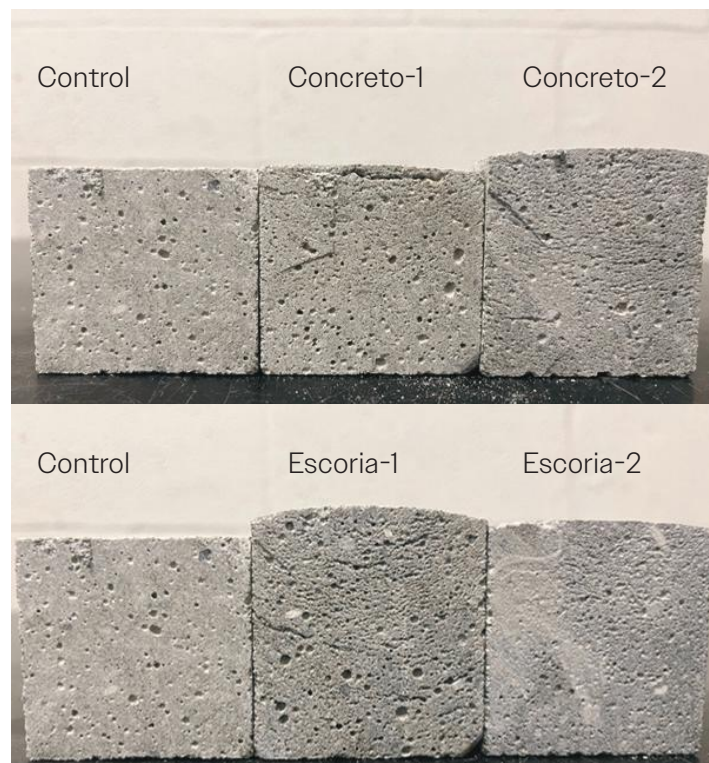
### Sustitución del cemento

En los últimos años, los investigadores han evaluado SCM alternativos debido a la disminución de la disponibilidad de FA de carbón<sup>12,22</sup>. La posibilidad de utilizar cenizas de la incineración de RSU como SCM es prometedora, principalmente debido a su composición elemental y sus propiedades puzolánicas. Las cenizas de la incineración de RSU contienen cantidades significativas de óxidos de Ca, Si, Al y Fe, elementos esenciales para la reactividad puzolánica y el desarrollo cementante en el concreto<sup>12,23</sup>. Complementar incluso un pequeño porcentaje de cemento o SCM tradicionales con las BA de la incineración de RSU podría reducir las necesidades energéticas y de recursos asociadas a la producción de concreto, al tiempo que proporcionaría una oportunidad de reciclaje de ciclo cerrado para las cenizas.

En estudios recientes se han investigado las características de la BA de la incineración de RSU, incluyendo los elementos físicos identificables como vidrio, cerámica y escoria, para su posible reutilización como SCM<sup>12</sup>. Los elementos físicos únicos de la BA de la incineración de RSU se pueden identificar en la Fig. 1. Separar los elementos de los residuos sólidos urbanos incinerados puede optimizar su reutilización y rendimiento, ya que permite a los fabricantes seleccionar qué elementos utilizar como SCM. El vidrio y la cerámica de los residuos sólidos urbanos incinerados son ideales para su uso como SCM debido a su composición elemental y resistencia a la compresión. A los 28 días, la resistencia a la compresión del mortero con vidrio de BA de la incineración de RSU era del 75 % de la del mortero fabricado únicamente con cemento portland ordinario (CPO). El estudio sugiere que la resistencia del mortero de vidrio de la BA podría

seguir aumentando en pruebas realizadas a edades posteriores<sup>12,24</sup>.

Un defecto observado fue la producción de gas hidrógeno en los cubos de mortero durante el curado. Esto provocó la expansión de las muestras de mortero, como se aprecia en la Fig. 5. El aluminio metálico presente en la BA de la incineración de RSU reacciona con la mezcla cementante alcalina y produce gas hidrógeno. Dado que el aluminio metálico era el componente más abundante en la escoria, las muestras fabricadas con escoria de BA de la incineración de RSU experimentaron el mayor grado de expansión y reducción de la resistencia debido a la formación de gas hidrógeno<sup>12</sup>. Algunos estudios indican que la formación de gas hidrógeno en el producto final de concreto puede mitigarse mediante el lavado alcalino de la BA de la incineración de RSU antes de su reutilización<sup>25</sup>. Además, los productores de concreto celular curado en autoclave (AAC por sus siglas en inglés) utilizan aluminio metálico como agente aireador<sup>26</sup>, lo que ha llevado a investigar el AAC como una vía alternativa para reutilizar la BA de la incineración de RSU. Estos hallazgos ponen de relieve el potencial de la BA de la incineración de RSU para servir como un SCM viable en determinadas aplicaciones concretas si se gestiona cuidadosamente el procesamiento de los materiales y el diseño de la mezcla para controlar la formación de gases y optimizar el desempeño.



**Fig. 5: Cubos de mortero fabricados con un 25 % de BA de la incineración de RSU como SCM, en comparación con la muestra de control, donde la diferencia de altura indica la expansión (tomado de la Referencia 12).**





**Fig. 6: AAC fabricados con polvo de aluminio metálico convencional (izq.) y AAC fabricados con BA de la incineración de RSU (dcha.)**

### Concreto celular curado en autoclave

La presencia de aluminio metálico en la BA de la incineración de RSU, especialmente en la fracción fina, limita su reutilización en sistemas de concreto convencionales debido a la producción descontrolada de gas hidrógeno<sup>13,27-29</sup>. La generación de gas hidrógeno en el concreto atrapa el aire, provoca grietas y reduce tanto la resistencia como la durabilidad. Sin embargo, los productores de AAC utilizan ampliamente polvo y pastas de aluminio metálico como agentes aireadores<sup>26</sup>. El AAC necesita sílice y calcio para generar la resistencia y la estabilidad dimensional suficientes durante el proceso de autoclave. Dada la presencia de aluminio metálico, sílice y calcio en las BA de la incineración de RSU, la industria de AAC ofrece una vía alternativa y sostenible para reciclar las cenizas en grandes cantidades. Durante la producción de AAC, se mezclan lodos frescos compuestos por cemento, cal, arena de cuarzo (sílice) finamente molida y agua con aluminio metálico. El aluminio metálico reacciona con el agua del lodo alcalino y produce rápidamente gas hidrógeno. Esto expande y arrastra uniformemente pequeñas burbujas de aire dentro de la lechada. Después del fraguado, el material se esteriliza en autoclave a altas temperaturas y presiones para promover la reacción entre la sílice y el calcio. Este proceso da como resultado un material cementante celular y ligero con alta porosidad (hasta un 80 % del volumen), excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico, resistencia y estabilidad dimensional adecuadas, baja contracción y alta resistencia al fuego. Además, el AAC se puede mecanizar y reforzar fácilmente para determinadas geometrías y cargas estructurales. Estas propiedades hacen que el AAC sea muy útil en la construcción de edificios con y sin carga, como revestimientos, paredes, techos y suelos<sup>26</sup>.

En publicaciones anteriores se evaluó la viabilidad técnica de utilizar la BA de la incineración de RSU como único agente aireador y sustituto parcial de la arena fina de sílice en la producción de AAC<sup>30-32</sup>. Se ha observado que el AAC fabricado a escala de laboratorio con BA de la incineración de RSU

presenta una resistencia, un aislamiento térmico y un comportamiento frente a la contracción por secado similares o superiores a los del AAC fabricado con materiales convencionales. Es fundamental moler la BA de la incineración de RSU hasta obtener la finura adecuada para garantizar un correcto aireado del AAC. Un aireado más rápido garantiza que los huecos de aire sean uniformes tanto en tamaño como en distribución, lo que mejora las propiedades estructurales<sup>30,33</sup>. Aunque la BA de la incineración de RSU debe triturarse, su obtención y procesamiento suelen ser menos costosos que los agentes aireadores convencionales.

El contenido de aluminio metálico (entre el 0.2 y el 2% en peso) tiende a ser bajo y variable en los residuos sólidos urbanos incinerados<sup>28,30,34</sup>. Para una aireación adecuada, se necesitan índices de sustitución suficientemente altos en el AAC. Las altas cantidades de la BA de la incineración de RSU en las mezclas de AAC reducen la fluidez en estado fresco, lo que da lugar a una mala distribución de los huecos de aire y a una menor resistencia y propiedades térmicas<sup>34</sup>. Una investigación reciente de la Universidad de Florida descubrió que los aditivos para mejorar la trabajabilidad y la inclusión de aire pueden compensar algunos de los efectos adversos de la BA de la incineración de RSU en las propiedades del AAC fresco y endurecido<sup>35</sup>. Sin embargo, el AAC a base de BA de la incineración de RSU seguía teniendo una distribución de huecos menos uniforme en comparación con el AAC convencional, como se muestra en la Fig. 6. El estudio también planteó inquietudes relacionadas con el destino del contenido de cloruro procedente de la BA de la incineración de RSU en el AAC reforzado, debido al potencial de corrosión y al impacto del contenido orgánico sin quemar en la trabajabilidad y el comportamiento de los aditivos, aspectos que requieren una investigación más profunda<sup>35</sup>.

El AAC se utiliza principalmente en Europa y Asia. En 2018 se produjeron aproximadamente 450 millones de m<sup>3</sup> (590 millones de yd<sup>3</sup>) de AAC en todo el mundo<sup>36</sup>. Aunque su uso en Estados Unidos va a la zaga de otros países, se espera que la producción y la demanda de AAC crezcan tanto a nivel nacional como internacional. La creciente industria del AAC ofrece una vía prometedora y escalable para el reciclaje de BA de la incineración de RSU, siempre que se aborden los retos de variabilidad y comportamiento de los materiales mediante un procesamiento y un diseño de mezclas adecuados.

### Ingredientes del cemento

Una nueva vía que se está explorando es la reutilización de las cenizas de la incineración de RSU



como ingrediente en la producción de cemento. Debido al alto contenido de Ca, Si, Fe y Al de las cenizas de la incineración de RSU, es factible utilizarlas como ingrediente del cemento. Esto podría crear un nuevo mercado para la reutilización de las cenizas de la incineración de RSU, desviar las cenizas de los vertederos y reducir la dependencia de materias primas del cemento, como la piedra caliza para la adición de Ca, lo que reduciría las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la industria cementera<sup>12</sup>.

El estudio mencionado anteriormente investigó la reutilización de la BA de la incineración de RSU como ingrediente del cemento. Tras clasificar la BA en compuestos visibles, los investigadores analizaron la composición de óxidos elementales mediante fluorescencia de rayos X (FRX), del mismo modo que los productores de cemento analizarían su cemento y sus materias primas. El análisis resultante reveló que los compuestos de la BA de la incineración de RSU tienen un alto contenido en dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), con concentraciones de alúmina u óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de hierro (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y trióxido disódico ( $\text{Na}_2\text{O}_3$ ) adecuadas para su uso en la alimentación de hornos de cemento<sup>12</sup>. Se han realizado estudios piloto a gran escala sobre el uso de la BA de la incineración de RSU como ingrediente para la alimentación de hornos en la producción de cemento<sup>16,17</sup>. Los investigadores llevaron a cabo distintos ensayos en hornos utilizando adiciones de BA de la incineración de RSU lavada y sin lavar en proporciones del 0,1 y 2 %. Los estudios reportaron tanto el comportamiento como el impacto ambiental de la reutilización de la BA de la incineración de RSU en la fabricación de cemento. La BA se lavó para eliminar los compuestos solubles, como el cloruro, que puede volatilizarse en un horno de cemento y provocar la obstrucción de los conductos de aire, y para reducir la concentración de otros compuestos que pueden ser perjudiciales para el horno o para el producto final de cemento. La Figura 7 muestra el procedimiento de lavado, en el que se lavó la BA de la incineración de RSU y la BA lavada y el agua se vertieron desde la tolva al suelo. Todo el procedimiento de lavado se llevó a cabo sobre un vertedero revestido.

En estudios anteriores, los investigadores identificaron el lavado como una práctica ventajosa para mitigar las emisiones atmosféricas durante la producción de cemento. No se observaron diferencias significativas en las emisiones atmosféricas medidas durante el ensayo, lo que sugiere que, con un procedimiento de lavado y un control cuidadoso de la sustitución de cenizas, los

operadores de plantas cementeras pueden utilizar cenizas de la incineración de RSU sin cambios significativos en las condiciones de comportamiento o en los permisos de emisiones atmosféricas<sup>7</sup>.



**Fig. 7: Lavado de cenizas de incineración de RSU para reducir la concentración de contaminantes y aumentar la reutilización.**



**Fig. 8: Clinker modificado con cenizas de la incineración de RSU creado utilizando una adición del 1 al 2% de BA de la incineración de RSU a la alimentación del horno de cemento.**

El clínker modificado con BA de la incineración de RSU (mostrado en la Fig. 8) producido durante cada una de las pruebas del horno fue procesado para obtener cemento. Las propiedades físicas y ambientales de todos los cementos resultantes fueron comparables. En general, no se observaron elementos preocupantes en los cementos modificados con un 1% y un 2% de BA que no se observaran en concentraciones similares en el cemento de control. Si bien se observó una mayor resistencia a la compresión que el control para los cementos modificados con un 1% de BA (51 MPa [7 400 psi]) a los 28 días, la resistencia del cemento modificado con un 2 % de BA (45 MPa [6 490 psi]) fue inferior a la del grupo de control (48 MPa [6 910 psi]). El cemento modificado con un 2% de BA tuvo un tiempo de fraguado inicial más rápido cuando se probó con el aparato Vicat (95 minutos) en comparación con los cementos modificados con un 1% de BA (119 minutos) y el control (130 minutos)<sup>17</sup>.

La reutilización de las cenizas de incineración de RSU en la producción de cemento reduce la carga ambiental y económica global asociada a la fabricación de cemento. Dados los costos financieros de la eliminación, los operadores de incineración de RSU pueden estar dispuestos a proporcionar las

cenizas de incineración de RSU a los fabricantes de cemento de forma gratuita o a un costo muy reducido. Los resultados de los estudios analizados en esta sección sugieren que la incorporación de BA de incineración de RSU en la fabricación de cemento es factible, sin cambios operativos significativos ni comprometer el rendimiento del material.

## Resumen

La reutilización de las cenizas de la incineración de RSU en la construcción ofrece una solución sostenible para la gestión de residuos, al tiempo que reduce las emisiones de carbono y conserva los recursos naturales. Al utilizar las cenizas de la incineración de RSU como material de sustitución del cemento, los residuos que de otro modo acabarían en vertederos se transforman en un recurso valioso, lo que reduce la presión sobre los vertederos y minimiza los riesgos para el medio ambiente. Este proceso prolonga el ciclo de vida del material, fomentando una economía circular dentro del entorno construido.

Las evaluaciones de campo y de laboratorio demuestran que la BA de la incineración de RSU puede incorporarse al CCP para cumplir con las características de comportamiento en cuanto a resistencia y durabilidad y los umbrales de servicio establecidos. La composición de óxido de la BA de la incineración de RSU la hace adecuada para aplicaciones cementantes y para la alimentación de hornos. Más allá de la sostenibilidad, la incorporación de cenizas de la incineración de RSU en el concreto reduce la dependencia de los recursos vírgenes, disminuye los costos de extracción y mantiene la calidad del concreto. Cualquier limitación en el comportamiento puede mitigarse mediante métodos de pretratamiento o niveles de suplementación optimizados. Las investigaciones en curso continúan perfeccionando las tecnologías de pretratamiento, lo que hace que las cenizas de la incineración de RSU sean más accesibles para las industrias del cemento y el concreto.

La expansión del mercado de las cenizas de la incineración de RSU tiene beneficios económicos adicionales. El aumento de la demanda liberará espacio en los vertederos y respaldará las iniciativas de conversión de residuos en energía.

Las instalaciones de incineración de RSU generan electricidad, lo que reduce la dependencia del carbón y el gas natural y crea puestos de trabajo en la gestión de residuos y la incineración. A diferencia de los vertederos, la incineración de RSU reduce los gastos de transporte, especialmente para los estados del noreste que actualmente envían los residuos

fuera del estado para su eliminación. Además, las instalaciones de incineración de RSU requieren menos terreno que los vertederos y proporcionan electricidad local, lo que reduce aún más los costos.

A falta de normas formales para el uso de cenizas de la incineración de RSU en el concreto, es esencial realizar pruebas específicas para cada proyecto a fin de garantizar el comportamiento estructural y el cumplimiento de los códigos vigentes. Tal y como demuestran los estudios analizados en este artículo, los futuros profesionales deben validar la resistencia, la durabilidad y las características de lixiviación utilizando métodos de prueba establecidos por ASTM International o AASHTO antes de su implementación en el campo. En última instancia, la adopción generalizada de la reutilización de las cenizas de la incineración de RSU conduce a un aire más limpio, a un ahorro en los gastos y a soluciones energéticas más sostenibles. A medida que las industrias continúan adoptando los principios de la economía circular, las cenizas de la incineración de RSU presentan una oportunidad práctica y escalable para transformar un “residuo” en un recurso a largo plazo.

## Referencias

1. Ferraro, C.C.; Power, J.P.; Roessler, J.; Paris, J.; and Townsend, T.G., “From Trash to Treasure,” *Concrete International*, V. 38, No. 11, Nov. 2016, pp. 46-51.
2. Diliberto, C.; Meux, E.; Diliberto, S.; Garoux, L.; Marcadier, E.; Rizet, L.; and Lecomte, A., “A Zero-Waste Process for the Management of MSWI Fly Ashes: Production of Ordinary Portland Cement,” *Environmental Technology*, V. 41, No. 9, Sept. 2020, pp. 1199-1208.
3. Pan, J.R.; Huang, C.; Kuo, J.-J.; and Lin, S.-H., “Recycling MSWI Bottom and Fly Ash as Raw Materials for Portland Cement,” *Waste Management*, V. 28, No. 7, 2008, pp. 1113-1118.
4. Poletti, A.; Pomi, R.; and Carcani, G., “The Effect of Na and Ca Salts on MSWI Bottom Ash Activation for Reuse as a Pozzolanic Admixture,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 43, No. 4, Mar. 2005, pp. 403-418.
5. Shih, P.-H.; Chang, J.-E.; and Chiang, L.-C., “Replacement of Raw Mix in Cement Production by Municipal Solid Waste Incineration Ash,” *Cement and Concrete Research*, V. 33, No. 11, Nov. 2003, pp. 1831-1836.
6. Shimaoka, T.; Komiya, T.; Takahashi, F.; and Nakayama, H., “Dechlorination of Municipal Solid Waste Incineration Residues for Beneficial Reuse as a Resource for Cement,” *Journal of ASTM International*, V. 8, No. 10, Nov. 2011, Article No. 103671.
7. Spreadbury, C.J.; Weiksnar, K.D.; Laux, S.; and Townsend, T.G., “Distributions of Trace Elements within MSWI Bottom and Combined Ash Components: Implications for Reuse Practices,” *Chemosphere*, V. 336, Sept. 2023, Article No. 139198.
8. Wang, L.; Jin, Y.; Nie, Y.; and Li, R., “Recycling of Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash for Ordinary Portland Cement

- Production: A Real-Scale Test,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 54, No. 12, Oct. 2010, pp. 1428-1435.
9. Zhang, S.; Ghouleh, Z.; He, Z.; Hu, L.; and Shao, Y., “Use of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash as a Supplementary Cementitious Material in Dry-Cast Concrete,” *Construction and Building Materials*, V. 266, Part A, Jan. 2021, Article No. 120890.
  10. EPA, “Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW),” United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2025, <https://www.epa.gov/smm/energy-recoverycombustion-municipal-solid-waste-msw>. (last accessed Aug. 21, 2025).
  11. EPA, “Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet,” United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, Dec. 2020, 25 pp., [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018\\_ff\\_fact\\_sheet\\_dec\\_2020\\_fnl\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf).
  12. Magnuson, J.K.; Weiksnar, K.D.; Patel, A.D.; Clavier, K.A.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “Processing Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash for Integration into Cement Product Manufacture,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 198, Nov. 2023, Article No. 107139.
  13. Roessler, J.; Paris, J.; Ferraro, C.C.; Watts, B.; and Townsend, T., “Use of Waste to Energy Bottom Ash as an Aggregate in Portland Cement Concrete: Impacts of Size Fractionation and Carbonation,” *Waste and Biomass Valorization*, V. 7, No. 6, Dec. 2016, pp. 1521-1530.
  14. Schafer, M.L.; Clavier, K.A.; Townsend, T.G.; Kari, R.; and Worobel, R.F., “Assessment of the Total Content and Leaching Behavior of Blends of Incinerator Bottom Ash and Natural Aggregates in View of Their Utilization as Road Base Construction Material,” *Waste Management*, V. 98, Oct. 2019, pp. 92-101.
  15. Spreadbury, C.J.; McVay, M.; Laux, S.J.; and Townsend, T.G., “A Field-Scale Evaluation of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash as a Road Base Material: Considerations for Reuse Practices,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 168, May 2021, Article No. 105264.
  16. Clavier, K.A.; Watts, B.; Liu, Y.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “Risk and Performance Assessment of Cement Made Using Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash as a Cement Kiln Feed,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 146, July 2019, pp. 270-279.
  17. Clavier, K.A.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “Pilot-Scale Cement Production Using Treated Waste Incineration Bottom Ash: Physical and Environmental Performance,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 175, Dec. 2021, Article No. 105862.
  18. Tkachenko, N.; Tang, K.; McCarten, M.; Reece, S.; Kampmann, D.; Hickey, C.; Bayaraa, M.; Foster, P.; Layman, C.; Rossi, C.; Scott, K.; Yoken, D.; Christiaen, C.; and Caldecott, B., “Global Database of Cement Production Assets and Upstream Suppliers,” *Scientific Data*, V. 10, Oct. 2023, Article No. 696.
  19. Weiksnar, K.D.; Marks, E.J.; Deaderick, M.J.; Meija-Ruiz, I.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “Impacts of Advanced Metals Recovery on Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash: Aggregate Characteristics and Performance in Portland Limestone Cement Concrete,” *Waste Management*, V. 187, Oct. 2024, pp. 70-78.
  20. FDOT, “Standard Specifications for Road and Bridge Construction, FY 2024-25,” Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, 2024-2025, 1319 pp.
  21. Townsend, T., and Roessler, J., “Pasco County Use Case Scenarios to Examine the Recycling of Waste to Energy Bottom Ash in Road Construction Applications,” Pasco County Utilities, FL, 2014, 460 pp.
  22. Sarmiento, L.M.; Clavier, K.A.; Paris, J.M.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “Critical Examination of Recycled Municipal Solid Waste Incineration Ash as a Mineral Source for Portland Cement Manufacture – A Case Study,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 148, Sept. 2019, pp. 1-10.
  23. Clavier, K.A.; Paris, J.M.; Ferraro, C.C.; Bueno, E.T.; Tibbetts, C.M.; and Townsend, T.G., “Washed Waste Incineration Bottom Ash as a Raw Ingredient in Cement Production: Implications for Lab-Scale Clinker Behavior,” *Resources, Conservation and Recycling*, V. 169, June 2021, Article No. 105513.
  24. Bueno, E.T.; Paris, J.M.; Clavier, K.A.; Spreadbury, C.; Ferraro, C.C.; and Townsend, T.G., “A Review of Ground Waste Glass as a Supplementary Cementitious Material: A Focus on Alkali-Silica Reaction,” *Journal of Cleaner Production*, V. 257, June 2020, Article No. 120180.
  25. Tian, Y.; Themelis, N.J.; and Bourtsalas, A.C., “Effects of Water, Acid, or Alkali Washing on Waste-to-Energy (WTE) Bottom Ash, Fly Ash, and Combined Ash,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, V. 12, No. 2, Apr. 2024, Article No. 111936.
  26. ACI Committee 526, “Guide for Design and Construction with Autoclaved Aerated Concrete Panels (ACI PRC-526-19),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 82 pp.
  27. Müller, U., and Rübner, K., “The Microstructure of Concrete Made with Municipal Waste Incinerator Bottom Ash as an Aggregate Component,” *Cement and Concrete Research*, V. 36, No. 8, Aug. 2006, pp. 1434-1443.
  28. Saffarzadeh, A.; Arumugam, N.; and Shimaoka, T., “Aluminum and Aluminum Alloys in Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash: A Potential Source for the Production of Hydrogen Gas,” *International Journal of Hydrogen Energy*, V. 41, No. 2, Jan. 2016, pp. 820-831.
  29. Pecqueur, G.; Crignon, C.; and Quéneé, B., “Behaviour of Cement-Treated MSWI Bottom Ash,” *Waste Management Series, Volume 1: Waste Materials in Construction Wascon 2000: Proceedings of the International Conference on the Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection*, Harrogate, England 31 May, 1-2 June 2000, G.R. Woolley, J.J.J.M. Goumans, and P.J. Wainwright, eds., V. 1, 2000, pp. 541-547.
  30. Song, Y.; Li, B.; Yang, E.-H.; Liu, Y.; and Ding, T., “Feasibility Study on Utilization of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash as Aerating Agent for the Production of Autoclaved Aerated Concrete,” *Cement and Concrete Composites*, V. 56, Feb. 2015, pp. 51-58.
  31. Liao, S.-K.; Lu, W.-C.; Chen, Y.-L.; and Shen, Y.-H., “Production of Autoclaved Aerated Concrete by Using Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash as an Alternative Raw Material,” *Case Studies in Construction Materials*, V. 21, Dec. 2024, Article No. e03914.



32. Brossat, M.; Prud'homme, E.; Lupsea-Toader, M.; Blanc, D.; and de Brauer, C., "Characterization of Lightweight Aerated Mortars Using Waste-to-Energy Bottom Ash (WtE-BA) as Aerating Agent," *Journal of Environmental Management*, V. 356, Apr. 2024, Article No. 120443.
33. Dupiano, P.; Stamatis, D.; and Dreizin, E.L., "Hydrogen Production by Reacting Water with Mechanically Milled Composite Aluminum-Metal Oxide Powders," *International Journal of Hydrogen Energy*, V. 36, No. 8, Apr. 2011, pp. 4781-4791.
34. Liu, Y.; Kumar, D.; Zhu, W.; Chen, Z.; Lim, K.H.; Lai, Y.L.; Hu, Z.; and Yang, E.-H., "Utilization of Coarse Non-Ferrous Fraction of Incineration Bottom Ash as Aerating Agent in Autoclaved Aerated Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 375, Apr. 2023, Article No. 130906.
35. Ferraro, C.; Riding, K.; Patel, A.; and Posada, R., "Autoclaved Aerated Concrete Using MSWI Bottom Ash as an Aerating Agent," Report No. 2023-07, Hinkley Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, FL, 2024, 86 pp.
36. Shrestha, A.R.; Xia, J.; Di Sarno, L.; and Chin, C.S., "Feasibility Study of Utilizing Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Waste for the Production of Cold Bonded Lightweight Artificial Aggregate Using High Volume Fly Ash (HVFA) Binders," *Construction and Building Materials*, V. 449, Oct. 2024, Article No. 138414.

**Jordan K. Magnuson** es estudiante de doctorado en ingeniería ambiental en la Escuela de Ingeniería de Infraestructura Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Florida, Gainesville, Florida, EE. UU. Sus intereses de investigación incluyen la reutilización de residuos industriales en aplicaciones de construcción. Tiene experiencia en análisis ambiental, beneficio y reciclaje de residuos industriales, ensayos no destructivos y de laboratorio de materiales de construcción, y caracterización ambiental y evaluación de riesgos.



**Ashish D. Patel** es investigador asociado postdoctoral en el Departamento de Ingeniería Civil y Costera de la Universidad de Florida. Obtuvo su licenciatura en Matemáticas Aplicadas en la Universidad de California, Berkeley, Berkeley, California, EE. UU.; su maestría en Ingeniería Civil en la Universidad Estatal de California, Fullerton, Fullerton, California; y su doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad de Florida. Sus intereses de investigación incluyen la ingeniería de materiales de cemento y concreto. Tiene experiencia en blindaje nuclear de concreto, reacción álcali-sílice, cinética de hidratación y desarrollo de fases, desarrollo de aditivos y beneficio y reciclaje de productos de desecho industrial.



**Timothy G. Townsend** es director de programas y profesor distinguido de Jones, Edmunds & Associates, Inc. en la Facultad de Ingeniería de Infraestructura Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Florida. Sus intereses de investigación abarcan todas las facetas de la gestión de residuos sólidos y peligrosos, incluyendo el reciclaje y la reducción de residuos, la reutilización de residuos de combustión y tratamiento térmico, y el diseño y funcionamiento de vertederos. Cuenta con más de 30 años de experiencia trabajando con agencias reguladoras estatales y federales, municipios y la industria privada.



**Christopher C. Ferraro**, FACI, es profesor asociado de ingeniería civil en la Escuela de Ingeniería de Infraestructuras Sostenibles y Medio Ambiente de la Universidad de Florida. Cuenta con más de 25 años de experiencia en ingeniería de materiales estructurales y de concreto en los sectores público, privado y académico. Sus intereses de investigación incluyen la evaluación y el análisis de materiales estructurales, y las pruebas no destructivas y de laboratorio de materiales de construcción. Es vicepresidente del Comité 323 de la ACI, Código de Concreto con Bajas Emisiones de Carbono, y miembro del Comité de Actividades Técnicas del ACI, y de los Comités 207, Concreto Controlado Térmicamente y en Masa; 224, Agrietamiento; 228, Pruebas No Destructivas del Concreto; 236, Ciencia de los materiales del concreto; 301, Especificaciones para la construcción con concreto; y 565, Concreto lunar.



Título original en inglés:  
A Contribution from ACI Committee 236.  
**End Uses of MSWI Ash in the  
Concrete Industry**

**La traducción de este artículo  
correspondió al Capítulo México  
Noreste**



*Traductora:*  
**Lic. Iliana  
Margarita  
Garza Gutiérrez**



*Revisora Técnica:*  
**Ing. Elissa Narro  
Aguirre**

## Código ACI-562

### Disposiciones de durabilidad

¡No hagamos esto otra vez!

Por Kyle Stanish

#### Estructuras de Concreto Existentes: Lecciones Aprendidas y Soluciones en Proceso

El Comité 562 del ACI, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, se esfuerza por impulsar la práctica de la ingeniería y mejorar la reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes. El Comité ayuda a ingenieros, funcionarios de construcción, contratistas, propietarios, inspectores y otros, transmitiendo información con mayor detalle del que es posible obtener únicamente a través del Código ACI-562. Con este fin, y con la esperanza de mejorar los documentos del comité, sus miembros ofrecen una serie de artículos bajo el tema principal “Estructuras de Concreto Existentes: Lecciones aprendidas y soluciones avanzadas”.

A través de esta serie, los miembros del Comité esperan explicar la justificación detrás de algunos de los cambios en el Código ACI-562, así como compartir ejemplos de problemas, ideas, conceptos y reflexiones debatidas en las reuniones del Comité ACI 562. También se espera que la serie ayude al Comité a abordar preguntas de los sectores de la ingeniería y la construcción, solicitar respuestas a problemas y revisar áreas necesarias de investigación y para el desarrollo futuro del código.

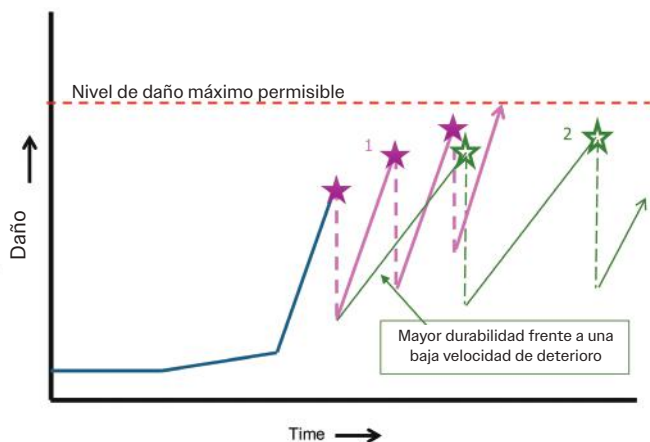
Cada artículo abordará un tema relacionado con la evaluación, reparación o rehabilitación de estructuras de concreto existentes. Los temas se seleccionarán con la intención de fomentar la concienciación, mejorar la comprensión y ampliar las perspectivas sobre este importante tema.

El desarrollo de un “Código de Reparación, Rehabilitación y Protección” del ACI fue uno de los objetivos establecidos por la Visión 2020 de la Industria de Reparación de Concreto<sup>1</sup> con el fin de prolongar la vida útil de las reparaciones. Para lograr este objetivo, el Código ACI 562 ha incluido requisitos de durabilidad desde su primera edición en 2013<sup>2</sup>. Estos se han revisado y ampliado en cada versión posterior, incluida la edición más reciente, Código ACI-562-25<sup>3</sup>. Si bien el capítulo sobre durabilidad era el Capítulo 8 en ediciones anteriores, ahora es el Capítulo 10 debido al material adicional en la edición de 2025 del Código. La durabilidad de un programa de rehabilitación es una consideración importante, ya que la rehabilitación a menudo se realiza para abordar el deterioro que ya ha ocurrido. Esto significa que las condiciones que causan el deterioro, como exposiciones agresivas o concreto contaminado, ya existen. Desconocer estas condiciones conduce a un mayor deterioro estructural en un plazo relativamente corto.

Si no se considera la durabilidad, las reparaciones a lo largo de la vida útil de la estructura pueden parecerse al Escenario 1 de la Figura 1, que requiere programas de rehabilitación frecuentes con los costos e interrupciones asociados. La inclusión de consideraciones de durabilidad como parte de diseño permite que la vida útil de la estructura siga el Escenario 2 de la Fig. 1, con reparaciones menos frecuentes y la oportunidad de extender la vida útil general de la estructura.

En un programa de rehabilitación se deben considerar tres aspectos de la durabilidad. No solo se debe considerar el desempeño de las reparaciones, sino también el desempeño a largo plazo de la estructura restante y la interacción entre los materiales existentes y los nuevos. En la práctica, las partes de la estructura que no estén dañadas ni deterioradas pueden permanecer en su lugar. El desempeño futuro de estas partes en buen estado debe abordarse como parte de la evaluación y el diseño de la rehabilitación. Es probable que un propietario no esté satisfecho con ninguna explicación sobre una parte de la estructura que se dejó en su lugar pero que necesita reparación poco después de finalizar el programa de rehabilitación.





**Fig. 1: Reparaciones a lo largo de la vida útil de una estructura: Escenario 1 (en morado) sin consideración de durabilidad; y Escenario 2 (en verde) con durabilidad incluida como parte del diseño.**

## Evaluación de durabilidad

Como parte de las actualizaciones del Código ACI-562-25, los requisitos del Capítulo 6 se han ampliado más allá de la evaluación estructural para incluir ahora la evaluación de la durabilidad y la capacidad de servicio. Si bien estas tres evaluaciones pueden no siempre ser necesarias, el Código ahora proporciona un marco para recopilar la información necesaria para tomar decisiones informadas para abordar el desempeño insatisfactorio e incorporar estas consideraciones en el diseño.

La evaluación de durabilidad se incluye en la Sección 6.10, mientras que la decisión sobre qué incluir en una evaluación es responsabilidad del profesional de diseño certificado (PDC) del proyecto. El Código ACI-562-25 proporciona algunas directrices sobre lo que debe considerarse.

Al evaluar la durabilidad de una estructura, es importante considerar las exposiciones históricas, actuales y previstas en el futuro. Esta información puede ayudar a determinar la causa raíz del deterioro actual e identificar la protección necesaria en el futuro. Por ejemplo, se detectó un gran desprendimiento de concreto en un almacén interior y un alto contenido de cloruro. Esto no se pudo explicar dado su uso actual, pero se resolvió al descubrirse que el almacén se había utilizado históricamente para almacenar vehículos que introducían sal de deshielo en la estructura.

Los cambios futuros en la exposición podrían requerir protección adicional para la durabilidad. Por ejemplo, si el concreto no estuvo expuesto previamente al agua, podría parecer resistente al deterioro por ciclos de hielo-deshielo. Si el programa de rehabilitación integra cambios que permiten que el concreto se sature críticamente, podrían producirse grietas si no se incorpora la protección

adecuada. La evaluación de la durabilidad debería identificar cualquier cambio en la exposición que pueda estar ocurriendo y si esto genera un deterioro futuro adicional que deba considerarse.

Las pruebas son frecuentemente una parte importante de la evaluación de la durabilidad. El Código exige la determinación de las pruebas del entorno, como el suelo y el agua, así como de la estructura, para reestablecer los niveles de contaminación. La guía para las pruebas se describe en ACI PRC-228.2-98<sup>4</sup>, ACI PRC-364.1-19<sup>5</sup>, y ACI PRC-ITG-11-24<sup>6</sup>.

La presencia de sistemas de protección también debe considerarse como parte de la evaluación de la durabilidad. Estos pueden incluir recubrimientos o sistemas de protección electroquímica, como la protección catódica. Un sistema de protección electroquímica, como la protección catódica galvánica o por corriente impresa, la realcalinización o la eliminación electroquímica de cloruros, puede requerir datos de campo adicionales. La guía para la evaluación y planificación de la protección catódica está disponible en NACE/AMPP TR21463-2020<sup>7</sup>.

## Diseño por durabilidad: general

El Capítulo 10 del Código ACI-562-25 establece los requisitos de diseño relacionados con la durabilidad de un programa de rehabilitación. Este capítulo analiza diferentes aspectos que contribuyen a lograr reparaciones duraderas y adecuadas para su propósito. Se deben abordar las causas de deterioro identificadas en la evaluación. De forma similar a la evaluación de durabilidad, se deben considerar tres aspectos: el rendimiento de la reparación, el rendimiento de la estructura original remanente y el impacto de la interacción entre ambos.

Los materiales de reparación individuales deben tener propiedades adecuadas como resistencia, contracción y permeabilidad. Es necesario tomar medidas para garantizar que la estructura restante no siga deteriorándose. Esto suele implicar la inclusión de estrategias de protección en el programa de rehabilitación. Es necesario considerar cómo trabajan los materiales juntos cuando interactúan dos elementos. Esto suele ser complejo porque la estructura original y los materiales de reparación tienen diferentes edades y propiedades.

El Capítulo 10 reconoce que pueden existir múltiples enfoques para lograr el resultado deseado. Para permitir la flexibilidad del PDC, el Capítulo 10 evita imponer enfoques específicos. En cambio, se centra en describir los aspectos que el PDC debe considerar.

Algunos de los temas específicos tratados en el Capítulo 10 se analizan en los siguientes párrafos.

## Recubrimiento

El recubrimiento del acero de refuerzo es uno de los principales mecanismos de protección contra la corrosión. Con demasiada frecuencia, el recubrimiento local es menor que la base de diseño requerida por el Código, probablemente debido a variaciones en la colocación del acero durante la construcción. Estas ubicaciones no se detectan fácilmente durante la construcción, pero se revelan cuando se produce un deterioro prematuro en ellas (Fig. 2).

Para evitar que el deterioro se repita poco después de una reparación, se debe establecer el recubrimiento base de diseño en estos puntos. La manera más directa de cumplir con este requisito es mediante la adición de una capa de concreto o la construcción de extensiones de concreto en los puntos con recubrimientos bajos. Esto no siempre es factible debido a la carga estructural, consideraciones operativas, estéticas u otras. El Capítulo 10 reconoce esto y permite enfoques alternativos para lograr una cobertura equivalente.

El capítulo 10 no incluye requisitos obligatorios para lograr una cobertura equivalente, pero ofrece orientación en el Comentario. El objetivo es brindar protección adicional para prolongar la vida útil de una estructura antes de que los iones de cloruro o la carbonatación alcancen el acero, como se lograría con el recubrimiento especificado en el diseño original, o proporcionando una protección que retrase la aparición de la corrosión en un grado similar. Esto último puede lograrse mediante impermeabilización o protección catódica, por ejemplo.

El recubrimiento también es importante como parte de la clasificación de resistencia al fuego de una estructura. Se requiere un recubrimiento mínimo, dependiendo de la clasificación de resistencia al fuego, que puede diferir de los requisitos de recubrimiento base de diseño. Si la cobertura original es inferior al valor necesario para cumplir con la clasificación de resistencia al fuego, podría ser necesario restablecerla. La guía proporcionada por el Comentario del Capítulo 10 incluye, además de aumentar el recubrimiento, el uso de revestimiento intumesciente o protección contra incendios por aspersión para lograr este objetivo.

## Grietas

Las grietas en las estructuras de concreto (Fig. 3) tienen un impacto significativo en su durabilidad. Una grieta facilita la penetración de sustancias químicas agresivas, como los iones de cloruro, en



Fig. 2: Corrosión prematura del acero de refuerzo debido a un recubrimiento de concreto inadecuado



Fig. 3: El agrietamiento en esta estructura de concreto puede tener un impacto significativo en su durabilidad.



Fig. 4: Una estructura de estacionamiento subterráneo con impermeabilización.

el concreto y su ataque al interior. Para lograr una estructura duradera, es necesario evitar o mitigar las grietas.

En el caso de grietas existentes, el Código exige que se considere su efecto, especialmente en lo que respecta al rendimiento a largo plazo. El Código reconoce que no es posible ni necesario reparar todas las grietas. Esto dependerá con frecuencia del ancho de la grieta, ya que las grietas por debajo de un ancho crítico impiden la penetración. Este ancho crítico depende de la exposición, y la norma ACI PRC-224-01 proporciona orientación.<sup>8</sup>

El control y la prevención de grietas en el nuevo material también son importantes y deben considerarse en el diseño de la reparación. Esto se logra mediante un detallado adecuado y el uso de materiales adecuados. El Capítulo 10 no incluye requisitos específicos, pero el Comentario recomienda al diseñador consultar la norma ACI PRC-224.1-07<sup>9</sup> para orientación.

## Corrosión

La corrosión es el deterioro más común que requiere rehabilitación, por lo que el Código cuenta con una sección específica en el Capítulo 10 sobre corrosión. La primera parte de esta sección se centra en la eliminación de contaminantes que provocan corrosión y la prevención de contaminación adicional. Si bien este es el objetivo de estas disposiciones, la forma en que el PDC las cumple en el diseño queda a su criterio para brindar la máxima flexibilidad. El Código también reconoce que no siempre es factible eliminar prácticamente toda la contaminación. Por ejemplo, si la contaminación ha alcanzado el núcleo central de una columna, puede que no sea seguro eliminar el concreto contaminado. El Capítulo 10 permite que la contaminación persista, si el PDC considera su impacto en la vida útil esperada y, de ser necesario, incluye otras medidas de mitigación adecuadas.

Una de las revisiones del Código ACI-562-25 es que aborda con mayor profundidad los sistemas de protección catódica, principalmente en un comentario ampliado. En el Capítulo 10 se aclara que la protección catódica está permitida y puede utilizarse como parte de la estrategia de protección empleada en el programa de rehabilitación.

## Impermeabilización

La impermeabilización (Fig. 4) se incluye a menudo en los programas de rehabilitación para mantener o mejorar el nivel de protección de una estructura. El Capítulo 10 reconoce esto y permite que el PDC considere estos sistemas de protección para contribuir a la durabilidad. Existen diferentes

enfoques de impermeabilización, cada uno apropiado para una situación diferente. El PDC tiene la máxima libertad para implementar la impermeabilización adecuada para el proyecto. Esto dependerá de la exposición, la orientación, el potencial de desgaste, el presupuesto y los requisitos estéticos. El PDC es direccionado hacia el documento ACI PRC-515.2-24<sup>10</sup> para obtener más orientación a la hora de seleccionar el enfoque de impermeabilización adecuado.

## Resumen

Los programas de rehabilitación que utilizan el Código ACI-562-25 suelen ser originados por el deterioro. La necesidad de rehabilitación implica que las condiciones para el deterioro continuo existen y, de no abordarse, provocarán que el deterioro se repita pronto y requiera una ronda adicional de reparaciones. Se deben considerar tres aspectos: el rendimiento del material de reparación, el rendimiento del material restante y la interacción entre ambos.

Una de las novedades del Código ACI-562-25 es la ampliación de los requisitos de evaluación del Capítulo 6 para incluir la evaluación de la durabilidad. Estos requisitos establecen la información necesaria para comprender las condiciones existentes y cómo afectan la durabilidad, así como los requisitos para garantizar la durabilidad del diseño de cualquier rehabilitación.

Las secciones sobre durabilidad del Capítulo 10 no pretenden ser esquemas prescriptivos, sino brindar flexibilidad al abordar situaciones específicas. El Capítulo 10 especifica los elementos, incluidos los relacionados con los materiales y la protección, que deben considerarse como parte del diseño de durabilidad. El cumplimiento de los requisitos de durabilidad del Capítulo 10 prolongará el tiempo entre reparaciones y mejorará el rendimiento de una estructura.

## Referencias

1. Emmons, P.H., y Sordyl, D.J., "El estado de la industria de reparación de concreto y una visión para su futuro", Boletín de reparación de concreto, julio/agosto de 2006, págs. 7-14.
2. Comité 562 del ACI, "Requisitos del código para la evaluación, reparación y rehabilitación de edificios de concreto (CÓDIGO ACI-562-13) y comentarios", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 59 págs.
3. Comité 562 del ACI, "Evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes: requisitos del código y comentarios (CÓDIGO ACI-562-25)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 130 págs.



4. Comité 228 del ACI, "Métodos de prueba no destructivos para la evaluación del concreto en estructuras (ACI PRC-228.2R-98)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 62 págs.
5. Comité 364 del ACI, "Guía para la evaluación de estructuras de concreto antes de la rehabilitación (ACI PRC-364.1R-19)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 20 págs.
6. Grupo de trabajo de innovación 11 del ACI, "Técnicas estadísticas para la evaluación de estructuras de concreto existentes: informe (ACI PRC ITG-11-24)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 47 págs.
7. NACE TR21463-2020, "Criterios para la evaluación de métodos de protección catódica para acero en estructuras de concreto existentes: un informe de última generación", Asociación para la Protección y el Rendimiento de Materiales, 2020, 16 págs.
8. Comité 224 del ACI, "Control del agrietamiento en estructuras de concreto (ACI PRC-224R-01)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 45 págs.
9. Comité 224 del ACI, "Causas, evaluación y reparación de grietas en estructuras de concreto (ACI PRC-224.1R-07)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, 22 págs.
10. Comité 515 del ACI, "Selección de tratamientos protectores para el concreto: Guía (ACI PRC-515.2-24)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 29 págs.

**Kyle D. Stanish**, FACI, Vicepresidente de Tourney Consulting Group, LLC, Kalamazoo, MI, EE. UU., tiene más de 20 años de experiencia trabajando como consultor Ingeniero. Su trabajo incluye durabilidad, diseño, ingeniería de materiales, existente evaluación de estructuras y rehabilitación diseño. Recibió su doctorado en la Universidad de Toronto, Toronto, ON, Canadá, y es ingeniero profesional con licencia en 17 jurisdicciones. Fue presidente del Comité 365 de ACI, Predicción de la vida útil; presidente del Comité 563 de ACI, Especificaciones para la reparación de concreto estructural en edificios; y miembro de varios otros comités de ACI. Recibió el Premio al Servicio Delmar L. Bloem 2025.



Título original en inglés:  
**ACI CODE-562**  
**Durability Provisions**  
 Let's NOT do this all over again!

## La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia



*Traductor y  
 Revisor Técnico:*  
**Gonzalo E. Gallo E.,  
 PhD**

¡Nos vemos en este nuevo espacio! ¡Nos vemos en este nuevo espacio!

# BIENVENIDO A LA AUTOPISTA DE LA INFORMACIÓN DE CONCRETO EN **[www.acilatinoamerica.com](http://www.acilatinoamerica.com)**

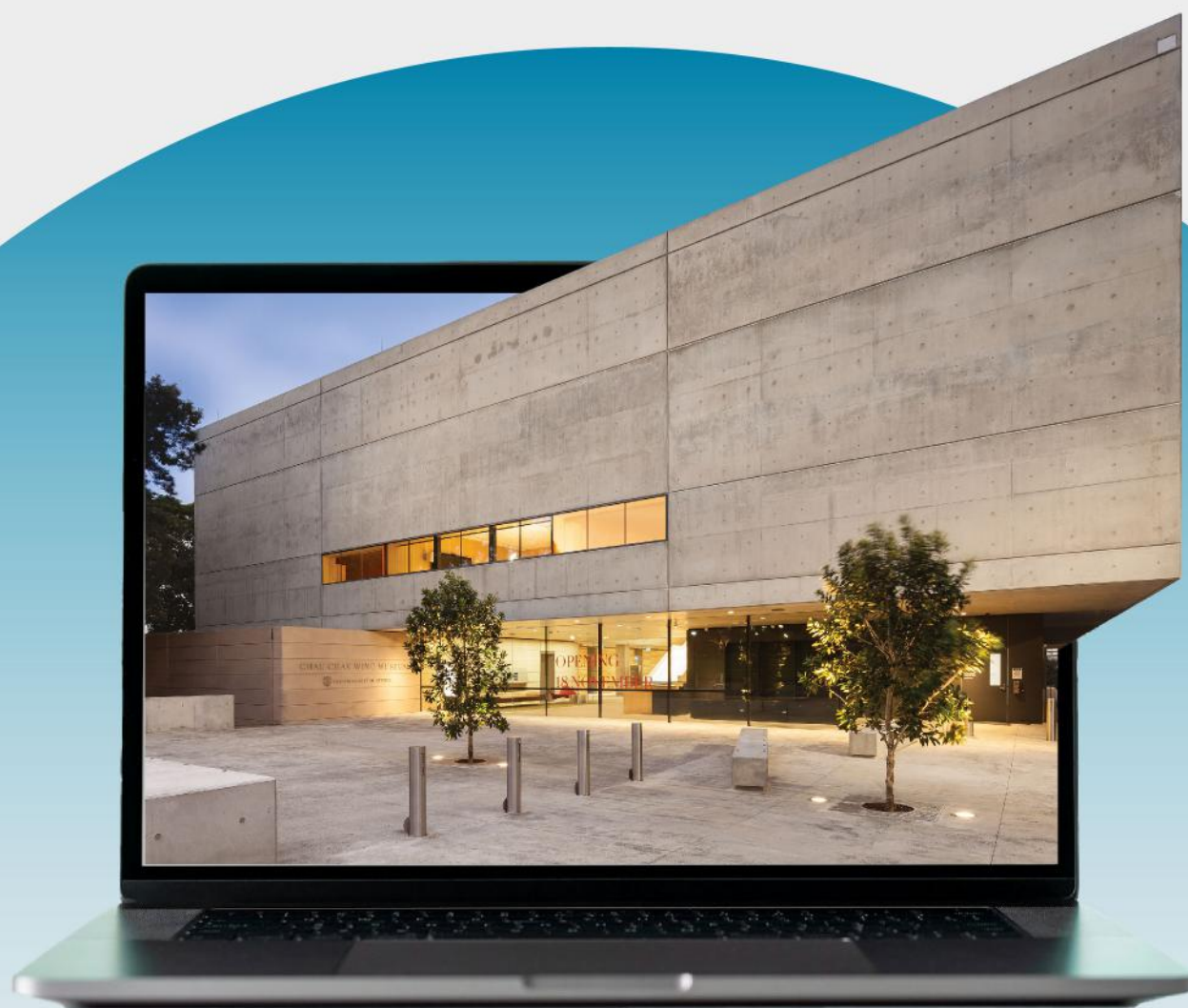
AQUÍ ENCUENTRAS...

PUBLICACIONES PASADAS

DIRECTORIO CAPÍTULOS ACI

NOTICIAS

EVENTOS



¡Nos vemos en este nuevo espacio! ¡Nos vemos en este nuevo espacio! ¡Nos vemos en este nuevo espacio!

## Cómo el ACI transformó las prácticas y códigos de concreto en Indonesia, Parte 1

Desde la inspiración hacia la integración

Por Nuraziz Handika, Prasanti Widyasih Sarli, Josia Irwan Rastandi, Mulia Orientilize, y Jessica Sjah



**Fig. 2: Wiratman Wangsadinata** (nacido en 1935), una figura pionera en la Ingeniería Civil indonesia y presidente del equipo de redacción del PBI 1971. En 1991, lideró un equipo que integró disposiciones del ACI y NZS en las normas nacionales de concreto, sentando las bases para el detallado sísmico moderno en Indonesia. Fundador de PT Wiratman & Associates, diseñó proyectos emblemáticos de Indonesia, moldeando la infraestructura y la práctica de ingeniería de la nación (foto cortesía de la familia de Wangsadinata).



**Fig. 1: El Monumento Nacional** (Monas, Monumen Nasional), Monumento Nacional de Yakarta con una altura de 132 m (433 ft), el cual simboliza la independencia de Indonesia (foto cortesía de Josia Irwan Rastandi)

En las décadas que siguieron a la independencia de Indonesia en 1945, el país empezó a construir su infraestructura y las bases técnicas que le darían soporte. Los estándares de ingeniería se convirtieron esenciales para este esfuerzo constructivo de la nación; los códigos coloniales heredados evolucionaron hacia sistemas moldeados por las necesidades y realidades del propio pueblo.

El primer código de concreto de Indonesia, PBI 1955 (Peraturan Beton Indonesia [Código del Concreto de Indonesia]), fue una traducción directa del GBVI neerlandés (Gewapend Beton Voorschriften in Indonesië [Código de Concreto Reforzado en Indonesia])<sup>1</sup>. Aún cuando provee un punto inicial para la calidad del material y el diseño de carga por gravedad, ofreció poca guía para las realidades de construir en una de las regiones más sísmicamente activas en el mundo.

Desde la década de los 60s, los ingenieros indonesios han reconocido esta brecha y han empezado a mirar más allá de Europa para buscar soluciones, especialmente lidiando con estructuras complicadas o monumentales. Incorporaron provisiones del ACI, particularmente el detallado sísmico, en conjunto con influencias de otros países que sufren de sismos, como Nueva Zelanda. Esto marcó el principio de las provisiones del ACI siendo adoptados en el Código de Construcción de Indonesia. Muchos de los involucrados en la redacción del Código PBI de 1971<sup>2</sup> pasaron a formar HAKI, Asociación Indonesia de Ingenieros Civiles y Estructurales (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia), estableciendo la asociación como una plataforma nacional para el avance del conocimiento y la práctica constructiva.



Esta relación se profundizó en las décadas siguientes, desde la adopción parcial de disposiciones del ACI en las décadas de 1970 y 1980 hasta la alineación plena con la filosofía de diseño del ACI a inicios de los 2000. Hoy en día, se extiende más allá de los códigos hacia esfuerzos conjuntos en certificación, formación profesional e intercambio de conocimientos.

Gracias al compromiso compartido con la excelencia de ACI y HAKI, un código nacido de origen neerlandés evolucionó hacia una norma moderna adaptada a las realidades sísmicas de Indonesia.

## 1955: Legado neerlandés — el primer código de concreto de Indonesia

El primer código de diseño de concreto de Indonesia, PBI 1955, nació directamente de su herencia colonial<sup>1</sup>. Emitido una década después su independencia, adoptó plenamente el GBVI neerlandés de 1935, que a su vez es la evolución de códigos neerlandeses anteriores que databan de 1912<sup>1</sup>. Presidido por R. Soemomo, el equipo redactor mantuvo la teoría de diseño elástica de su predecesor europeo, incluida la utilización del coeficiente  $n$  para la relación de módulo entre acero y concreto, y se centró en resistencias mínimas de material y cálculos sencillos para cargas de gravedad.

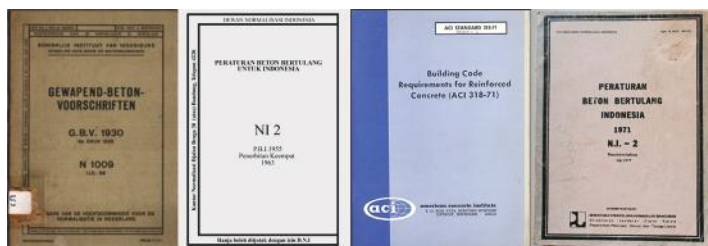
Desafortunadamente, el PBI 1955 carecía de requisitos para el detallado ante sismos o conceptos de diseño por capacidad (capacity design), dejando estructuras vulnerables en el entorno de alta sismicidad de Indonesia. Las revisiones de 1963 y 1965 hicieron poco por subsanar esta laguna; disposiciones para el espaciamiento de estribos, el detallado de ganchos y la ductilidad surgirían sólo décadas después.

El PBI 1955 marcó un logro al ser el primer estándar de concreto formal de la nación. Emitido bajo el Consejo de Estandarización de Indonesia (Dewan Normalisasi Indonesia), es el precursor de la hoy en

día Agencia Nacional de Estandarización BSN (Badan Standardisasi Nasional) y el comienzo en el trayecto de Indonesia para códigos modernos y basados en el rendimiento. Sin embargo, para proyectos complejos o monumentales, los ingenieros a menudo recurrían a normas alternativas. El diseño del Monumento Nacional (Monas, Monumen Nasional, Fig. 1), iniciado en 1959 e inaugurado el 17 de agosto de 1961 por el primer presidente de Indonesia, Achmed Sukarno, empleó las “Normas y recomendaciones tentativas para concreto presforzado”<sup>3</sup> del Comité conjunto ACI-ASCE 323. Liderados por los arquitectos Soedarsono y Frederick Silaban, junto con el ingeniero estructural Rooseno, el proyecto representó una de las primeras aplicaciones en Indonesia del concreto preesforzado. Hamid Shahab, un integrante del equipo de ingeniería de Rooseno, declaró en su libro<sup>4</sup>, que el control de calidad, mezclado, y colocación del concreto fue en base al código del ACI. El uso del estándar ACI para una estructura simbólica y técnicamente demandante hizo énfasis en la práctica y la relevancia de códigos de los Estados Unidos en Indonesia, anticipando la incorporación de éste en el Código 1971 PBI<sup>2</sup> una década después.

## 1971: Combinando conocimiento global — el primer paso del PBI hacia el ACI

A comienzos de la década de 1970, la comunidad de ingeniería de Indonesia participaba en un esfuerzo global para armonizar la práctica del concreto reforzado coordinado por organizaciones como el Consejo Internacional de la Construcción (CIB)(Conseil International du Batiment), Comité Europeo del Concreto (CEB) (Comité Européen du Béton), Federación Internacional del Pretensado (FIP) (Fédération Internationale de la Précontrainte), la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y el ACI. En este contexto, el PBI 1971<sup>2</sup> — liderado por Wiratman Wangsadinata (Figura 2)— se basó en recomendaciones internacionales y en códigos nacionales importantes, incluyendo Código ACI-318-71<sup>5</sup> (Estados Unidos), CP 110:1972<sup>6</sup> (Reino Unido) y Voorschriften Beton (VB) 1972 (Países Bajos)<sup>7</sup>, ver Figura 3. En lugar de una simple fusión de tres códigos, el PBI 1971<sup>2</sup> posicionó a Indonesia dentro del consenso emergente sobre notación, conceptos de seguridad y metodología de diseño. Adoptó el enfoque elástico-último— manteniendo verificaciones elásticas con factores de uso/material/carga típicos de la práctica europea y empleando diseño por resistencia última (ultimate-strength design) con cargas mayoradas— estableciendo un factor de carga uniforme de 1.5 para cargas muertas y vivas.



**Fig. 3: Portadas de los códigos clave de concreto reforzado que moldearon las normas de diseño de concreto de Indonesia. De izquierda a derecha: el GBV neerlandés de 1930 que forma la base de los primeros códigos de Indonesia; PBI 1955, el primer código indonesio de concreto reforzado derivado de las regulaciones holandesas; ACI 318-71<sup>5</sup>, posteriormente referenciado en Indonesia; y PBI 1971<sup>2</sup>, el primer código indonesio en integrar disposiciones del ACI con las reglas existentes de base holandesa (foto cortesía de Josia Irwan Rastandi y Prasanti Widayasih Sari).**

La calidad del concreto se evaluó mediante probetas cúbicas (grado K), con un  $f'$  mínimo de 14.5 MPa (K-175), equivalente a 2 100 psi, y una resistencia de fluencia máxima del acero de 390 MPa (U-39), equivalente a 56 500 psi. Para edificios resistentes a sismos, surgieron por primera vez reglas para el espaciamiento de estribos, aunque aún no se adoptaba plenamente la filosofía de “columna fuerte-viga débil”.

Aun sin ser un código sísmico, el PBI 1971<sup>2</sup> marcó un cambio hacia el detallado sísmico americano en un contexto de alto riesgo, convirtiéndose en la guía estructural para varios de los edificios de Jakarta a finales de los 70s y 80s.

## 1980s–1991: Llamado de atención sísmico y camino hacia SK SNI

Aunque el PBI 1971<sup>2</sup> integró algunos conceptos del ACI, carecía de un detallado sísmico clave: la filosofía de columna fuerte-viga débil, el confinamiento especial y reglas explícitas de diseño por capacidad. La urgencia de estas omisiones se aclararon en 1976, cuando un sismo de magnitud 6.5 en Seririt, Bali, destruyó escuelas y otras estructuras, causando la muerte de decenas de estudiantes<sup>8-10</sup>.

Esta tragedia motivó las primeras directrices específicas de diseño ante sismos: Directrices de Diseño Resistente a Sismos (PPTG) (Pedoman Perencanaan Tahan Gempa), 1981, desarrolladas con la firma neozelandesa Beca Carter Hollings & Ferner (BCHF)<sup>1</sup>. Introdujeron factores de ductilidad (factores  $K$ ) y conceptos de diseño por capacidad, reduciendo las fuerzas de diseño en función de la capacidad de deformación de la estructura. Sin embargo, el detallado siguió siendo básico (por ejemplo, ganchos a 90° y espaciamientos de estribos relativamente amplios).

Hacia finales de los 1980, más ingenieros indonesios se habían formado en Estados Unidos y Nueva Zelanda y buscaron modernizar el código con lecciones del Código ACI-318 y las normas neozelandesas (NZS). Este impulso culminó en un código unificado y orientado al desempeño: SK SNI T-15-1991-03<sup>11</sup>.

## 1991: Sinergia entre EE. UU. y Nueva Zelanda — SK SNI T-15-1991-03

SK SNI T-15-1991-03<sup>11</sup> representó la primera integración real de buenas prácticas internacionales en un estándar nacional. Liderado por el fallecido Wiratman Wangsadinata, con contribuciones clave de Dradjat Hoedajanto e Indra Djati Sidi, el estándar combinó las reglas de diseño estructural de ACI-

318-83<sup>12</sup> con la filosofía neozelandesa de diseño por capacidad para el detallado sísmico. Introdujo factores de carga modernos de 1.2 (muerta) y 1.6 (viva), adoptó un factor conservador de reducción de cortante ( $\phi_v = 0.6$ ) y enfatizó el comportamiento columna fuerte-viga débil, poniendo fin a décadas de práctica mixta en las que el diseño estructural y el sísmico se trataban por separado.

## Alineamiento del código: desde SK SNI 1991 hasta la adopción plena del ACI

A partir de este hito, Indonesia avanzó hacia una mayor alineación con el ACI. El SNI 03-2847-1992<sup>13</sup> incorporó disposiciones no sísmicas del ACI al estándar nacional, mientras que SNI 03-2847-2002<sup>14</sup> fue el primero en adoptar de manera comprensiva ACI 318M-99<sup>15</sup>, con sólo adaptaciones locales menores —por ejemplo, el ensayo con cubos (grado K) y ajustes para materiales locales—. En zonas sísmicas, el principio de columna fuerte-viga débil se volvió obligatorio.

Las actualizaciones sucesivas han mantenido el código indonesio estrechamente alineado con ACI:

- El SNI 03-2847-2013<sup>16</sup> adoptó el ACI 318M-11<sup>17</sup>, reorganizando la estructura del código y clarificando los requisitos de detallado sísmico para uniones viga-columna, muros especiales y diafragmas; y
- El SNI 2847:2018 adoptó el ACI 318M-14<sup>19</sup> y disposiciones seleccionadas de ACI 318M-19<sup>20</sup>, alineándose además con SNI 1726:2019<sup>21</sup> (norma de cargas sísmicas) para una integración fluida del diseño estructural y el mapeo de peligros sísmicos.

Esta progresión representa más que actualizaciones técnicas: marca un cambio cultural desde la referencia informal a disposiciones del ACI hacia una integración sistemática mediante un proceso riguroso de evaluación, adaptación y armonización. Equipos de expertos de HAKI, BSN y de instituciones académicas trabajan de forma continua para asegurar que cada revisión del SNI refleje los últimos avances técnicos del ACI, mejorando la seguridad y la coherencia e habilitando a los ingenieros indonesios a participar más activamente en la práctica de ingeniería global.

Las figuras 4 a 7 destacan varios edificios emblemáticos de Indonesia que fueron diseñados conforme a los códigos de construcción vigentes en su época. Todos ellos siguen en pie hasta el día de hoy.

## Un marco de asociación: Acuerdo internacional ACI-HAKI

A medida que maduró el uso de normas basadas en ACI en Indonesia, surgieron oportunidades para una colaboración más estructurada. Esto culminó con la formalización de la relación entre ACI y HAKI mediante un Acuerdo de Socios Internacionales en 2017.

La firma marcó un hito: por ACI firmó Ronald G. Burg, ex-Vicepresidente Ejecutivo; por HAKI, el fallecido Dradjat Hoedajanto, entonces Presidente de HAKI. El acuerdo reconoció a HAKI como Socio Internacional formal del ACI, afirmando su papel como la sociedad nacional de ingenieros civiles y estructurales de Indonesia.

El acuerdo creó un marco para la cooperación a largo plazo en intercambio técnico, acceso a recursos y publicaciones del ACI, apoyo a la educación y la certificación, y participación en foros y en el desarrollo de códigos. Más que una transferencia unidireccional de conocimiento enfatizó el compromiso mutuo y el crecimiento profesional, con la visión compartida de elevar la calidad de la práctica del concreto mediante la colaboración e inclusión.

Desde entonces, este marco ha fortalecido los lazos entre ingenieros, educadores e instituciones de ambos países, sentando las bases para el eventual lanzamiento del Capítulo Occidental de Indonesia del ACI, tema que se aborda en la Parte 2 de esta serie de artículos.

## Construyendo los cimientos

El recorrido de Indonesia con el ACI, desde la adopción del detallado sísmico en el PBI 1971<sup>2</sup> hasta la plena integración del Código ACI-318 en las normas nacionales, representa más que progreso técnico: refleja una larga tradición de colaboración y compromiso compartido con diseños de concreto más seguros y de mayor calidad.

Esta historia fue moldeada no sólo por los códigos, sino por personas e instituciones. Los ingenieros indonesios formados en Estados Unidos desempeñaron un papel clave en la transferencia del conocimiento del ACI a su país, aplicándolo en la práctica, enseñándolo en las aulas e incorporándolo en los códigos locales. Sus esfuerzos sentaron las bases para una generación de ingenieros cimentada en las mejores prácticas internacionales.

El apoyo de la dirigencia del ACI también fue crucial. Se reconoce en especial al difunto Dradjat



**Fig. 4: Ratu Plaza, Yakarta: una de las primeras aplicaciones en edificios altos del PBI 1971<sup>2</sup>, diseñado por PT Wiratman & Associates. El proyecto integró estándares del ACI y del VB, empleando un sistema tubo-en-tubo (columnas perimetrales resistiendo cargas laterales, un núcleo central soportando cargas verticales, y una losa presforzada conectándolas), habilitando interiores libres de columnas y mejorando la disipación de las vibraciones de sismos (foto cortesía de Josia Irwan Rastandi).**



**Fig 5: Wisma Dharmala (Intiland Tower), Surabaya — Completado en 1997, esta torre de oficinas de 12 plantas, obra de Benjamin Gideon & Associates con el arquitecto Paul Rudolph, fue diseñada bajo la norma SK SNI T-15-1991-03<sup>3</sup>, combinando ensayos de concreto del ACI y detalles sísmicos de Nueva Zelanda. Aunque utilizó ganchos de 90 grados y un espaciamiento de estribos más amplio, la estructura siguió los principios de diseño por capacidad dentro de un marco de concreto reforzado adaptado al clima tropical de Surabaya, con ventilación natural y protección solar. Paul Rudolph también diseñó Wisma Dharmala (Intiland Tower) en Yakarta a mediados de la década de 1980 con PT Wiratman & Associates, un hito del modernismo tropical conocido por sus terrazas escalonadas, atrios sombreados y su audaz forma geométrica que redefinió el diseño de rascacielos en la capital (foto cortesía de Josia Irwan Rastandi).**





**Fig. 6: Kompas Multimedia Towers, Yakarta — Diseño estructural de PT Davy Sukamta & Partners bajo la norma SNI 03-2847-2013<sup>13</sup> (ACI 318M-11<sup>14</sup>). El complejo consiste en un trío de torres de oficinas, que se elevan a alturas de 92 138 y 226 m (302 453 y 741 pies), completadas entre 2017 y 2018. Este desarrollo moderno emplea un sistema estructural de muro de núcleo de concreto reforzado y pórticos sobre cimentaciones de pilotes perforados, optimizando la resistencia tanto a fuerzas sísmicas como de viento (foto cortesía de PT Davy Sukamta & Partners).**

Hoedajanto, cuyo liderazgo como Presidente de HAKI contribuyó a formalizar el acuerdo ACI-HAKI de 2017. Su visión sigue moldeando la manera en que los ingenieros indonesios se relacionan con normas globales. También se reconoce el apoyo iniciado y fomentado por Ronald G. Burg y continuado por Frederick H. Grubbe, actual Vicepresidente Ejecutivo del ACI, y muchas otras personas en ACI que dieron la bienvenida a Indonesia a una comunidad profesional más amplia.

## Mirando hacia el futuro: del código a la comunidad

Este artículo describe cómo Indonesia construyó una base mediante décadas de compromiso con las normas del ACI. La Parte 2 explorará cómo esa base evolucionó hacia una comunidad profesional activa mediante la formación del Capítulo Oeste de Indonesia del ACI, con iniciativas en educación, certificación y divulgación que conectan a Indonesia con la industria global del concreto.

El impulso continúa, y con él la invitación. Damos la bienvenida a colegas, capítulos e instituciones de todo el mundo para colaborar en definir la próxima era de innovación, calidad y seguridad en la construcción de concreto.

## Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a Kerry E. Sutton y Steve S. Szoke, Ingenieros de Apoyo al Código del ACI, y a Bernie Pekor, Director de Asuntos Internacionales del ACI, por su apoyo y por brindarnos la oportunidad de preparar este artículo. También extendemos nuestra gratitud a Steffie Tumilar, Indra Djati Sidi e Iswandi Imran por compartir generosamente sus puntos de vista durante las entrevistas y por aportar contexto histórico valioso para este trabajo.

## Referencias

1. Nugroho, W.O.; Sagara, A.; and Imran, I., "The Evolution of Indonesian Seismic and Concrete Building Codes: From the Past to the Present," *\*Structures\**, V. 41, July 2022, pp. 1092–1108.
2. *\*PBI 1971\**, "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (Indonesian Reinforced Concrete Code 1971)," National Standardization Agency of Indonesia, Department of Public Works of the Republic of Indonesia, Jakarta, Indonesia, 1971, 257 pp. (in Indonesian)
3. Joint ACI-ASCE Committee 323, "Tentative Recommendations for Prestressed Concrete," *\*ACI Journal Proceedings\**, V. 54, No. 1, Jan. 1958, pp. 545–578.



**Fig. 7: Autograph Tower (Thamrin Nine), Yakarta — el edificio más alto del hemisferio sur con 382.9 m (1 256 pies)<sup>22</sup> — fue completado en 2020 y diseñado según la norma SNI 2847:2019<sup>19</sup> (ACI 318M-14<sup>19</sup>). Con un diseño sísmico basado en desempeño que incorpora ganchos de 135 grados y tirantes transversales estrechamente espaciados, ejemplifica la seguridad sísmica moderna y la evolución de las normas nacionales de concreto. La ingeniería estructural fue proporcionada por Wiratman & Associates (fotos cortesía de Indra Djati Sidi).**

4. Shahab, H., \*Dokumentasi dan Konstruksi dalam Pelaksanaan Bagian 1 (Documentation and Construction in Implementation Part 1)\*, Djambatan Publishing, Jakarta, Indonesia, 1999, pp. 101-105 (in Indonesian)
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 78 pp.
6. \*CP 110:1972 Part 1\*, "Code of Practice for the Structural Use of Concrete — Design, Materials and Workmanship," British Standards Institution (BSI), London, UK, 1972, 155 pp.
7. \*VB 1972\*, "Voorschriften Beton 1972 (Concrete Code 1972)," Royal Netherlands Society of Engineers (KIVI), The Hague, the Netherlands, 1971. (in Dutch)
8. Boen, T., "\*Belajar dari Kerusakan akibat Gempa Bumi - Bangunan Tembok Nir-Rekayasa di Indonesia\*" (Lesson Learned from Earthquake Damage - Non-Engineered Masonry Buildings in Indonesia)," Gajah Mada University Press, June 2016, 292 pp. (in Indonesian)
9. "220 Killed as Quake hits Bali," \*The Sydney Morning Herald\*, AAP, July 16, 1976.
10. "Quake Jolts Island of Bali; 275 killed," \*Eugene Register-Guard\*, UPI, July 15, 1976.
11. \*SK SNI T-15-1991-03\*, "Struktur Beton Bertulang (Reinforced Concrete Structure)," Department of Public Works of the Republic of Indonesia, Jakarta, Indonesia, 1991, 185 pp. (in Indonesian)
12. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1983, 112 pp.
13. \*SNI 03-2847-1992\*, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Procedures for Calculating Concrete Building Structures)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 1993, 118 pp. (in Indonesian)
14. \*SNI 03-2847-2002\*, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Procedures for Calculating Concrete Building Structures)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2002, 292 pp. (in Indonesian)
15. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-99) and Commentary (ACI 318RM-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 391 pp.
16. \*SNI 2847:2013\*, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (Structural Concrete Requirements for Building Construction and Commentary)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2013, 265 pp. (in Indonesian)
17. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary (ACI 318RM-11)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 503 pp.
18. \*SNI 2847:2019\*, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan (ACI 318M-14)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2019, 716 pp. (in Indonesian)
19. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 519 pp.
20. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-19) and Commentary (ACI 318RM-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 628 pp.
21. \*SNI 1726:2019\* – "Indonesia Seismic Code," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2019, 250 pp. (in Indonesian)
22. CTBUH, "Autograph Tower – The Tallest Building in the Southern Hemisphere," Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), 2021.

**Nuraziz Handika**, miembro del ACI, es profesor adjunto de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Indonesia, Yakarta, Indonesia. Se graduó en la Universidad de Indonesia, la École Centrale Nantes, Nantes, Francia, y la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwán, Ciudad de Taipei, Taiwán, y obtuvo su doctorado en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Toulouse, Francia. Su experiencia incluye mecánica de fracturas, evaluación estructural y correlación de imágenes digitales.



**Prasanti Widyasih Sari**, miembro local de ACI, es profesora adjunta de Ingeniería Civil y Ambiental en el Instituto Tecnológico de Bandung, Bandung, Indonesia. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Tokio, Tokio, Japón. Sus intereses de investigación incluyen la dinámica estructural, la ingeniería eólica y de explosiones, y el diseño urbano resiliente. En 2024, recibió el Premio L'Oréal-UNESCO a las Mujeres en la Ciencia por su labor en mitigación de desastres y resiliencia basada en inteligencia artificial (IA).



**Josia Irwan Rastandi**, miembro de ACI, es profesor adjunto de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Indonesia (UI). Se graduó en la Universidad de Indonesia y en la Universidad Técnica de Múnich, Alemania. Como director del Laboratorio de Estructuras y Materiales de la UI, lidera la investigación en dinámica estructural, interacción suelo-estructura y ensayos estructurales.



**Mulia Orientilize**, miembro local de ACI, es profesora adjunta de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Indonesia. Obtuvo su título de grado en Ingeniería Civil en la Universidad de Indonesia y su maestría en Ingeniería en la Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur. Su investigación se centra en el análisis estructural y la interacción pilote-suelo en infraestructuras sostenibles.



**Jessica Sjah**, miembro del ACI, es profesora asociada de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Indonesia. Obtuvo sus títulos en la Universidad de Indonesia y la École Centrale de Lyon, Lyon, Francia. Se especializa en mecánica estructural, materiales y modelado numérico, integrando la sostenibilidad en la investigación en ingeniería.



Título original en inglés:  
**How ACI Shaped Concrete Codes and Practice in Indonesia, Part 1.**  
From inspiration to integration

**La traducción de este artículo correspondió al Capítulo México Noroeste**



*Traductor:*  
**Emiliano Martínez Villalobos**  
*Estudiante Ing. Civil*  
*Universidad de Sonora*



*Revisor Técnico:*  
**Ing. Oscar Ramírez Arvizu**



## Replanteo de las Entregas en la Construcción de Concreto: de Cuello de Botella a Punto de Referencia

Por Kimberly Waggle Kramer y Karin O'Brien

En la construcción moderna de concreto, las remisiones representan mucho más que tareas administrativas. Constituyen el puente esencial entre la intención del diseño y la ejecución en obra. No obstante, el proceso de remisiones —especialmente en proyectos complejos— suele convertirse en una fuente de retrasos y tensiones. Reconociendo esta situación, los profesionales de la construcción y de la ingeniería revisan constantemente la manera en que las remisiones son programadas, coordinadas, revisadas y controladas.

El Comité ACI E702, Designing Concrete Structures, presentó una sesión titulada “Responsabilidades técnicas y legales, y lo que un ingeniero nuevo o con experiencia debe conocer” durante la Convención de Concreto del ACI – Primavera 2025 en Toronto, Ontario, Canadá. En ella participaron expresidentes de ACI: Michael J. Schneider, William E. Rushing Jr., Jeffrey W. Coleman y Kenneth C. Hover, bajo la moderación del expresidente Cary S. Kopczynski. La sesión expuso los desafíos relacionados con las remisiones que los ponentes afrontaron a lo largo de sus carreras y destacó las mejores prácticas emergentes para mitigar riesgos y mejorar la eficiencia. Este artículo sintetiza esas lecciones con el propósito de ofrecer una hoja de ruta para elevar el desempeño en la gestión de remisiones.

### Perspectiva del Contratista

#### Tiempo y Planificación: la base del éxito de las remisiones

De acuerdo con Michael J. Schneider (Baker Construction), el plazo óptimo para las remisiones abarca entre 8 y 12 semanas, desde la carta de intención hasta la movilización del subcontratista<sup>1</sup>. Este periodo permite completar todo el ciclo: preparación, revisión, retroalimentación y aprobación final. Sin embargo, los calendarios acelerados y las presiones financieras suelen reducir este margen, lo

que genera reprocesos, retrasos y fricciones entre los actores. Es esencial contar con una planeación proactiva apoyada en las expectativas aclaradas en los contratos y un calendario realista de las entregas.

#### Recomendaciones:

- Establecer duraciones realistas de revisión en la etapa de precontrucción.
- Integrar el cronograma de remisiones en el cronograma maestro del proyecto.
- Realizar reuniones previas a las entregas para alinear equipos de diseño y contratistas.

### Coordinación de remisiones principales

En la construcción de concreto, entregas críticas como las de refuerzo, postensado y planos de encofrado son interdependientes. Una revisión de diseño en un área puede obligar a ajustes en otras, lo que hace esencial una coordinación concurrente. Schneider recomienda revisar conjuntamente las principales para evitar inconsistencias. Las plataformas digitales de colaboración pueden agilizar la comunicación, eliminar problemas de control de versiones y visualizar la superposición de alcances de diseño.

### Perspectiva del Ingeniero

#### Alcance y Límites

William E. Rushing Jr. (Waldemar S. Nelson and Company, Inc.) resaltó una preocupación recurrente entre los jóvenes profesionales: malinterpretar su responsabilidad al revisar remisiones<sup>2</sup>. Los ingenieros de registro son responsables de verificar el cumplimiento con el diseño y las normas aplicables, no de la constructibilidad o de los métodos del contratista. Esto es particularmente relevante en el diseño de mezclas de concreto, donde el ingeniero confirma el cumplimiento con las categorías de exposición y requisitos de resistencia del Código ACI-318-25<sup>3</sup>, mientras que el desempeño real se valida mediante ensayos de laboratorio o datos históricos.

#### Recomendaciones:

- Usar listas de verificación estandarizadas para mezclas, refuerzo y encofrados.
- Aclarar en las especificaciones si la revisión implica aprobación o simple acuse de recibo.
- Documentar observaciones y acciones de revisión con claridad y consistencia.

## **“Revisar y reenviar” frente a “Aprobado con observaciones”**

Rushing advirtió que las remisiones con la anotación “revisar y reenviar” pueden atrasar los proyectos por varias semanas. Aunque necesarios en casos de errores u omisiones mayores, deben aplicarse con prudencia.

Un enfoque más eficiente, especialmente con cronogramas ajustados, es el estado “aprobado con observaciones”, exigiendo una copia corregida para uso en obra. Esto permite avanzar mientras se mantiene la integridad documental.

## **Retos de documentos contractuales incompletos**

En proyectos contemporáneos, particularmente bajo esquemas diseño-construcción o de ejecución acelerada, los documentos finales emitidos (FIC) para construcción no siempre están listos al inicio de la obra. Esto genera un entorno de remisiones dinámico basado en información parcial o en evolución.

Rushing recomendó estrategias adaptativas como:

- Adoptar roles de asistencia en diseño para llenar vacíos de información.
- Crear flujos de remisiones provisionales con supuestos identificados.
- Realizar reuniones específicas de coordinación de diseño para resolver discrepancias oportunamente.

## **Tecnología y el futuro de las remisiones**

El enfoque manual tradicional está siendo reemplazado por sistemas más inteligentes. Entre las innovaciones en prueba se incluyen:

- Filtros basados en inteligencia artificial (IA) para detectar incumplimientos en especificaciones.
- Tableros de control en tiempo real para monitorear antigüedad de remisiones.
- Trazabilidad mediante BLOCKCHAIN para asegurar registros de aprobación.

Estas herramientas prometen mayor transparencia, velocidad y confiabilidad, beneficios que la industria del concreto está en condiciones de aprovechar.

## **Perspectiva Legal**

### **Reflexiones jurídicas para reducir riesgos y mejorar la comunicación**

Jeffrey W. Coleman ofreció una perspectiva legal directa y franca sobre el proceso de remisiones, destacando los errores comunes y las estrategias

para reducir los riesgos<sup>4</sup>. Sus observaciones subrayaron los problemas legales y contractuales que con frecuencia surgen cuando la comunicación y la documentación resultan insuficientes. A continuación, se presentan los principales puntos y recomendaciones para profesionales del diseño, contratistas y especificadores.

La sesión comenzó con una introducción humorística a los cuatro tipos de concreto que suelen encontrarse en los proyectos:

- Designer-crete: lo que el ingeniero imagina;
- Lab-crete: lo que se ensaya y certifica;
- Real-crete: lo que efectivamente se coloca en obra;
- Lawyer-crete: lo que termina en los tribunales cuando los otros tres no coinciden.

Las remisiones no son documentos contractuales. Su aprobación, incluso cuando llevan el sello de “aprobado” o “revisado”, no transfiere la responsabilidad que corresponde al contratista.

Las especificaciones deben cumplir con las “Tres C”: ser claras, concisas y coordinadas, evitando reutilizar documentos de proyectos previos sin actualizarlos. En lugar de especificaciones excesivamente prescriptivas, se recomienda adoptar enfoques basados en el desempeño, que confíen en contratistas y productores calificados, fomenten la innovación y promuevan la responsabilidad compartida.

Dar prioridad a una comunicación fluida, una documentación cuidadosa y a la contratación de seguros de responsabilidad profesional constituye la base para minimizar conflictos. La mejor manera de evitar problemas legales es mediante mejor planificación y responsabilidad mutua entre las partes.

### **Recomendaciones:**

- Usar especificaciones deliberadas y coordinadas, diseñadas para cada proyecto.
- Fomentar la comunicación proactiva entre los equipos.
- Evaluar los enfoques basados en el desempeño cuando sea factible y confiar en colaboradores calificados.

Como señaló Coleman: “El buen juicio proviene de la experiencia, y la experiencia proviene del mal juicio.” El objetivo no es la perfección, sino una mejor planificación, comunicación más clara y gestión de riesgos más inteligente.

## Perspectiva Académica

### Cerrando la brecha: lo que los ingenieros deben saber sobre las remisiones

Ken C. Hover enfatizó que revisar remisiones no es un simple trámite administrativo, sino una responsabilidad profesional. La norma ACI SPEC-301-20<sup>6</sup> exige remisiones extensivas, desde encofrados hasta materiales de acabado, formando la base de la calidad y cumplimiento en la construcción.

Existe una brecha entre la formación académica y la realidad en obra. Mientras los estudiantes aprenden a diseñar planos, el éxito constructivo depende de la precisión de planos de taller e instalación. Inexactitudes como la colocación de barras o la altura de apoyos pueden reducir la capacidad estructural o afectar la durabilidad.

### Las remisiones de mezclas como trabajo en equipo

Una remisión de mezcla de concreto no es solo una lista de proporciones; constituye un paquete técnico completo que incluye datos de ensayo, certificados de cumplimiento y documentación de sostenibilidad. Cada mezcla es, en esencia, una “mezcla de prueba” hasta que su desempeño se verifica en campo.

Detectar errores durante la revisión de las remisiones puede evitar costosos retrasos, reprocesos e incluso fallas estructurales. Las revisiones de remisiones revelan problemas críticos —desde espaciamientos de barras de refuerzo que no permiten el paso del agregado hasta detalles de empalme omitidos—. Se trata de una medida de salvaguarda que todo ingeniero debe asumir con seriedad, ya sea un recién egresado o un profesional experimentado.

### Palabras Finales

Hover concluyó con un mensaje contundente: “La acción previene los problemas.” Las remisiones no son simplemente documentos; son oportunidades para detectar errores antes de que se conviertan en fallas.

Los ingenieros jóvenes deben asumir esta etapa de la construcción como esencial, no opcional, para convertirse en verdaderos profesionales.

### Recomendaciones:

- Tomar en serio la revisión de las remisiones: es la última línea de defensa. Las remisiones, incluidos los planos de taller y los diseños de mezclas, deben revisarse de manera minuciosa para detectar errores en la interpretación del diseño, la fabricación o la compatibilidad

de materiales. Los ingenieros no deben asumir que otros detectarán los errores más adelante en obra; la revisión de remisiones es una responsabilidad crítica que puede evitar retrasos costosos y riesgos para la seguridad.

- Comprender que el éxito en obra depende de planos de instalación claros. Aunque los programas académicos enfatizan los planos de diseño, el éxito de la construcción depende de planos de instalación precisos y detallados. Los ingenieros deben asegurarse de que estos documentos transmitan con claridad la intención del diseño a las cuadrillas en campo, especialmente en aspectos complejos como el refuerzo, los empalmes y los detalles de soporte.
- Validar los diseños de mezcla más allá de las especificaciones en papel. Un diseño de mezcla no se considera completamente “aprobado” hasta que demuestra un



En la sesión titulada “Responsabilidad técnica y legal, y lo que un ingeniero nuevo o con experiencia debe conocer”, participaron los expresidentes de ACI: William E. Rushing Jr., Cary S. Kopczynski, Jeffrey W. Coleman, Kenneth C. Hover y Michael J. Schneider.

desempeño satisfactorio en obra. Los ingenieros deben confirmar que todos los componentes —tamaño del agregado, aditivos y fuentes de agua— sean compatibles con los requisitos estructurales y de colocación del proyecto, incluyendo el espaciamiento de las barras de refuerzo. Cualquier desajuste puede comprometer la integridad estructural o dificultar la colocación.



## Conclusiones

El proceso de remisiones, cuando se gestiona de manera estratégica, ofrece una oportunidad para mejorar la calidad del proyecto, mitigar riesgos y agilizar la ejecución de la construcción. Más que un rastro documental pasivo, las remisiones deben considerarse un mecanismo colaborativo de control, que requiere responsabilidad compartida entre ingenieros, contratistas y propietarios.

Para los profesionales del ACI, especialmente aquellos dedicados al diseño estructural, la ingeniería de materiales y la gestión de proyectos, comprender y optimizar el proceso de remisiones no es solo una obligación contractual, sino un imperativo profesional.

## Referencias

1. Schneider, M.J., “Desafíos de las remisiones”, presentación, reunión del Comité ACI E702, 2024.
2. Rushing, W.E. Jr., “Revisión de Remisiones”, Responsabilidad, responsabilidad legal y lo que un ingeniero nuevo o con experiencia debe conocer, sesión especial del Comité ACI E702, Convención de Concreto del ACI, Toronto, Ontario, Canadá, Primavera de 2025.
3. Comité ACI 318, “Código de Construcción para Concreto Estructural — Requisitos y Comentarios (ACI CODE-318-25)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 pp.
4. Coleman, J.W., “Perspectivas legales para reducir riesgos y mejorar la comunicación”, Responsabilidad, responsabilidad legal y lo que un ingeniero nuevo o con experiencia debe conocer, sesión especial del Comité ACI E702, Convención de Concreto del ACI, Toronto, Ontario, Canadá, Primavera de 2025.
5. Hover, K.C., “Planos de Taller y Remisiones de Mezclas de Concreto”, Responsabilidad, responsabilidad legal y lo que un ingeniero nuevo o con experiencia debe conocer, sesión especial del Comité ACI E702, Convención de Concreto del ACI, Toronto, Ontario, Canadá, Primavera de 2025.
6. ACI Comité ACI 301, “Especificaciones para la Construcción con Concreto (ACI SPEC-301-20)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

**Kimberly Waggle Kramer**, FACI, es profesora en la Kansas State University, en Manhattan, KS, EE. UU., y copropietaria de KDK Engineering, LLC. Cuenta con más de 35 años de experiencia en ingeniería estructural y más de 20 años de experiencia académica. Es presidenta del Comité de Actividades Educativas de ACI (EAC) y del Comité ACI 551, Construcción en Concreto Tilt-Up; expresidenta de los Comités ACI E702, Diseño de Estructuras de Concreto, y 124, Estética del Concreto, así como del Subcomité ACI 130-G, Educación; además, es miembro de la Junta Directiva de ACI. También participa activamente en el Comité de Exámenes para Ingenieros Profesionales (EPE) del National Council of Examiners for Engineering and Surveying (NCEES), responsable de supervisar el desarrollo y la calificación de los exámenes FE, PE y SE.



**Karin T. O'Brien**, miembro de ACI, es directora ejecutiva del Capítulo de Missouri de ACI y ha prestado servicio a la industria del concreto por más de 20 años, con especialización en sostenibilidad, materiales de concreto y ensayos a nivel mundial. Su misión es promover la calidad, la integridad y la vinculación en la industria del concreto mediante la certificación y la educación. Es presidenta del Comité ACI C630, Certificación de Inspectores de Construcción; secretaria de los Comités ACI E702, Diseño de Estructuras de Concreto, y 120, Historia del Concreto; y miembro del Comité de Actividades de los Capítulos de ACI.



Título original en inglés:  
Reframing Submittals in  
Concrete Construction: From  
Bottleneck to Benchmark

**La traducción de este artículo  
correspondió al Capítulo Costa Rica**



*Traductor:*  
**Est. Sebastian  
Agüero Ricatti**



*Revisora Técnica:*  
**Ing. Thyssen Wong  
Chang**

## Preparación de la Superficie para Revestimientos Cementicios



Los revestimientos cementicios son una excelente forma para renovar superficies de concreto desgastadas o dañadas, proporcionando una solución costo-beneficio para realzar la estética y mejorar la funcionalidad. No obstante, el éxito y longevidad de los revestimientos base cemento dependen en gran medida de la apropiada preparación de la superficie.

La clave para adherir con éxito revestimientos cementicios a la subbase de concreto es la preparación de la superficie. El perfil y porosidad de las superficies de concreto son de suma importancia para minimizar la falla prematura o desprendimiento de los revestimientos. El estado actual de la losa existente también es importante. Los revestimientos de concreto decorativo por lo general son de menos de 1 pulgada (25 mm) de espesor y no ofrecen beneficios estructurales. Un viejo dicho en el negocio dice que el recubrimiento: “Es tan bueno como la superficie sobre la que se coloca”.

La información que se ofrece en este documento tiene únicamente el propósito de ser una guía general. Consulte siempre la ficha técnica (TDS [por sus iniciales en inglés]) oficial del fabricante para obtener detalles específicos del producto, instrucciones sobre la forma y tipo de aplicación e información de seguridad. El desempeño y conveniencia del producto pueden variar dependiendo de las condiciones del sitio y del uso propuesto.

Los pasos básicos de la inspección y preparación de la superficie incluyen lo siguiente:

**1. Inspección de la superficie:** Antes de iniciar cualquier trabajo de preparación, realice una inspección exhaustiva de la losa/superficie de concreto existente. Busque grietas, descascaramientos, irregularidades en el nivel, manchas de aceite, selladores y/o cualquier otro defecto que pueda vulnerar la adherencia del recubrimiento. Identifique áreas que requieran reparación o nivelación para crear una base sólida para el

revestimiento. La integridad estructural de la losa existente es esencial para el éxito a largo plazo de los revestimientos cementicios.

**2. Limpieza de la superficie:** Limpiar la superficie de concreto es un paso fundamental del proceso de la preparación. Retire todos los residuos sueltos, mugre, aceite, grasa, pintura o cualquier otro contaminante que pueda impedir la adhesión del revestimiento. Dependiendo de la condición de la superficie, pueden utilizarse diversos métodos de limpieza, pero el lavado a presión con una lavadora a presión mínimo de 3 000 psi (21 MPa) es el más común. En caso de que haya selladores, pintura o cualquier otra membrana, se requerirá del uso de limpiadores químicos, esmeriladores de diamante o limpieza con equipo de chorro de arena.

**3. Reparación de grietas y de la superficie:** Es indispensable reparar grietas en el concreto existente para evitar que se reflejen a través del revestimiento. Utilice métodos apropiados de reparación de grietas, tales como inyección de epóxicos o selladores de poliuretano para rellenarlas y sellarlas con eficacia. La inyección de epóxicos sellará una grieta con un material rígido y fuerte. Los selladores de poliuretano rellenarán una grieta, mientras continúan permitiendo el movimiento, tal como en una junta de control de losa. Asegúrese de cumplir con los lineamientos del fabricante respecto al material de reparación y permitir que transcurra suficiente tiempo de curado antes de proceder.

**4. Nivelación de la superficie:** Cerciórese que la superficie de concreto esté nivelada y libre de irregularidades significativas. Las protuberancias pueden provocar problemas con el espesor del revestimiento y generar una superficie desigual. Utilice compuestos auto nivelantes o técnicas de esmerilado para



lograr una superficie plana que ayude a lograr una aplicación uniforme del revestimiento.

**5. Perfilamiento mecánico:** Para obtener una adherencia apropiada al concreto existente, la superficie debe perfilarse mecánicamente. El perfilamiento mecánico abre poros en la superficie, proporcionando una mejor adherencia entre el concreto y el material del revestimiento. El perfil de la superficie del concreto (CSP [por sus iniciales en inglés]) es una medida estandarizada de la aspereza de la superficie de conformidad con el International Concrete Repair Institute (ICRI) para garantizar la apropiada adherencia de los recubrimientos, revestimientos o selladores al concreto. El CSP varía desde CSP 1 (casi liso) hasta CSP 10 (muy áspero). Cada nivel corresponde a una textura específica, que por lo general se logra con métodos de preparación de la superficie, tales como esmerilado, granallado abrasivo, escarificado o granallado. El nivel de CSP apropiado se determina basándose en el tipo y espesor del material que se esté aplicando. Consulte siempre las recomendaciones del fabricante para el CSP requerido.

**6. Imprimación de la superficie:** Aplicar un imprimador es esencial para promover la adherencia entre la superficie de concreto y el material del revestimiento. Siga siempre las instrucciones y recomendaciones del fabricante al seleccionar y aplicar el imprimador adherente.

**7. Juntas de control:** Aunque las juntas de control se vuelven a abrir después de que cura el revestimiento, el mejor momento para establecer un plan es durante el proceso de preparación. Dependiendo del espesor del revestimiento que se aplique, usted podrá o no ver a simple vista las juntas después de la aplicación.

La preparación apropiada de la superficie es fundamental para una instalación exitosa de revestimiento cementicio. Al acatar estas mejores prácticas usted podrá garantizar que la superficie de concreto existente se repare, limpie y profile adecuadamente, proporcionando una adherencia fuerte y duradera con el material de revestimiento. Al apegarse a estos lineamientos y a las recomendaciones del fabricante, podrá crear revestimientos base cemento atractivos, duraderos y funcionales que resistan la prueba del tiempo. Recuerde que cada proyecto de revestimiento puede tener consideraciones únicas, de manera que consulte siempre a los fabricantes para obtener lineamientos sobre productos específicos.

Los Miembros del Decorative Concrete Council (DCC), consejo especializado de la American Society of Concrete Contractors (ASCC) trabajará con propietarios y arquitectos para hablar sobre técnicas de preparación de superficies con el propósito de lograr la apariencia final deseada de sus proyectos de revestimiento cementicio decorativo. Para obtener más información, visite [www.ascconline.org](http://www.ascconline.org) o llame a la Línea de Asistencia de ASCC Concreto Decorativo +1.888.483.5288.



10025 Office Center Ave. Suite 200, Sappington, MO 63128

Teléfono : +1.314.962.0210 ; Página Web : [www.ascconline.org](http://www.ascconline.org)

La nota de mejores prácticas de la American Society of Concrete Contractors la presentan los editores para interés del lector. Las expresiones expresadas no necesariamente representan las del American Concrete Institute. Se invita a los lectores a hacer comentarios.

Título original en inglés:  
**Best Practices in  
Decorative Concrete.**

Surface Preparation for Cementitious Overlays

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



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



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

## Conceptos erróneos de GFRP - Parte 1

Hay muchos materiales de diseño en la caja de herramientas de un ingeniero estructural que debe ser evaluados para las condiciones estructurales y ambientales en consideración - concreto, refuerzo pasivo, pretensado e incluso acero estructural y madera. Como ingenieros, sabemos que ni siquiera el concreto es ideal para todas las estructuras. Por lo tanto, las barras de refuerzo de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) no se pueden usar en todas las aplicaciones de concreto reforzado. No debemos temer a la innovación, ya que ampliará las posibilidades, y se están realizando más investigaciones con ese objetivo. También se han realizado muchos avances en aceros especiales recubiertos y sin recubrimiento para el concreto.

En esta serie de artículos de Q&A, intentaremos aclarar algunas preguntas comunes y conceptos erróneos sobre las barras de refuerzo de GFRP. Se comparan con las barras de refuerzo de acero para hacer referencia a algo con lo que el lector a lo mejor esté más familiarizado actualmente.

El apoyo a la serie es gentilmente reconocido por el American Composites Manufacturers Association (ACMA) FRP Rebar Manufacturers Council, y NEx: Un Centro de Excelencia ACI para Materiales de Construcción No Metálicos.

**P1.** *Las barras de refuerzo de GFRP no están aprobadas para su uso, por lo que será más difícil "experimentar"; ¿Es eso cierto?*

**R1.** El desarrollo de códigos y estándares basados en el consenso para las barras de GFRP ha estado en marcha durante varias décadas. ASTM International Material specifications ASTM D7957 / D7957M<sup>1</sup> y ASTM D8505 / D8505M<sup>2</sup> se publican y hacen referencia a los métodos de prueba ASTM para características físicas, mecánicas y de durabilidad. Los diámetros de barra disponibles para

las barras de refuerzo de GFRP utilizan la misma nomenclatura (es decir, N° 3 [9.5 mm], N° 4 [12.7 mm] y más largas) que las barras de refuerzo de acero para indicar el diámetro a 1/8 pulg. (3 mm).

Además, existen informes de evaluación del International Code Council (ICC) para las barras de refuerzo de GFRP disponibles en el mercado. La barra de refuerzo de GFRP cumple o supera los criterios de aceptación ICC-ES AC454<sup>3</sup>, incluida la resistencia a la adherencia, la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad, entre otros. Esto y el hecho de que Código ACI-440.1R-22<sup>4</sup> se adoptó en el International Building Code (IBC)<sup>5</sup> de 2024 significan que los ingenieros pueden diseñar con confianza con concreto reforzado con GFRP dentro de las limitaciones del Código. Todos los códigos establecen límites en el uso de materiales, incluso concretos de mayor resistencia y aceros de refuerzo especiales o de mayor resistencia (más sobre eso en la próxima Parte 2 de este artículo de Q&A).

Desde la perspectiva de puentes y carreteras, existen códigos de diseño de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para el uso del refuerzo de GFRP en puentes peatonales y vehiculares y se han utilizado en todo el país desde finales de la década de 2000. La AASHTO Load and Resistance Factors Design (LRFD) Bridge Design Guide Specifications for GFRP – Reinforced Concrete, segunda edición, se publicó en 2018<sup>6</sup> y LRFD Guide Specifications for the Design of FRP Pedestrian Bridges, segunda edición<sup>7</sup>, se publicó este año. La AASHTO Product Evaluation and Audit Services (formerly National Transportation Product Evaluation Program or NTPEP) tienen auditorías de control de calidad y criterios de muestreo de prueba para fabricantes de barras de refuerzo de acero y GFRP. Varios departamentos estatales de transporte también tienen guías de diseño y especificaciones de materiales como referencia.

En Canadá, la especificación de materiales CSA S807<sup>8</sup> rige la fabricación de barras, mientras que CSA S6: 25<sup>9</sup> y CSA S806<sup>10</sup> son los códigos y estándares de diseño para puentes de carreteras y edificios, respectivamente. Las especificaciones también existen en otros países del mundo, pero no se describen en este documento.

**P2.** *¿Cuáles son las pruebas físicas, mecánicas y de durabilidad que deben cumplir las barras de refuerzo de GFRP?*



**Tabla 1:**  
**Métodos de prueba y requisitos para barras de GFRP**

| Propiedad                         | Método de prueba                | Límites                                                                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Contenido de fibra                | ASTM D2584 <sup>11</sup>        | ≥ 70%                                                                                   |
| Grado de curado                   | ASTM D2160 <sup>12</sup>        | ≥ 95%                                                                                   |
| Temperatura de transición vítrea  | ASTM E1356 <sup>13</sup>        | ≥ 100°C<br>≥ 212°F                                                                      |
| Absorción de agua                 | ASTM D570 <sup>14</sup>         | ≤ 0.25 % en 24 horas a 50 °C (122 °F)                                                   |
| Resistencia al ambiente alcalino  | ASTM D7705/D7705M <sup>15</sup> | ≥ 80% de la fuerza de tracción última media inicial después de 90 días a 60 °C (140 °F) |
| Máxima resistencia a la tracción  | ASTM D7205/D7205M <sup>16</sup> | Varía, reportado como una fuerza por diámetro de barra                                  |
| Módulo de elasticidad de tracción | ASTM D7205/D7205M               | ≥ 44,800 MPa<br>≥ 6,500,000 psi                                                         |
| Deformación máxima por tracción   | ASTM D7205/D7205M               | ≥ 1.10%                                                                                 |
| Resistencia al corte transversal  | ASTM D7617/D7617M <sup>17</sup> | ≥ 131 MPa<br>≥ 19,000 psi                                                               |
| Resistencia de Adherencia         | ASTM D7913/D7913M <sup>18</sup> | ≥ 7.6 MPa<br>≥ 1100 psi                                                                 |

**R2.** ASTM D7957/D7957M contiene referencias a métodos de prueba estándar y requisitos mínimos para varias propiedades. La Tabla 1 proporciona una lista detallada de los métodos de prueba y los resultados requeridos. Esta especificación de materiales habla de los esfuerzos de la industria de los compuestos para garantizar la calidad y la mejora continua con respecto a las generaciones anteriores de barras de refuerzo de GFRP, es decir, en el rendimiento del material tanto en el momento de la producción como después de la exposición ambiental para demostrar su durabilidad.

**P3.** Sin embargo, GFRP no tiene ningún código / estándar residencial, ¿verdad?

**R3.** The Masonry Society (TMS) publicó TMS 402/602: Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures<sup>19</sup>, que describe las disposiciones para el refuerzo de GFRP para elementos de mampostería en el Apéndice D. Además, los documentos de ACI se pueden utilizar para el diseño de concreto residencial. Las barras de refuerzo de GFRP se pueden usar en concreto residencial, incluidas zapatas y muros de cimentación, según lo prescrito en Código ACI-332-20<sup>20</sup> utilizando la metodología de diseño Código ACI-440.11-22. Código ACI-332 se publicará en 2026

e incluirá barras de GFRP como material de refuerzo aceptado.

Las tablas prescriptivas sugeridas se encuentran en MNL-6 (23): Pautas de práctica recomendadas para barras de FRP en proyectos prediseñados<sup>21</sup>. Estas pautas utilizan las propiedades mínimas de los materiales ASTM D7957 / D7957M para el diseño para tablas de diseño prescriptivas detalladas para trabajos residenciales de acuerdo con Código ACI-440.11-22 para losas en el suelo y cimientos. Consulte con su fabricante de GFRP para obtener tablas de diseño prescriptivas para eliminar la revisión de ingeniería y los cálculos de condiciones dentro de los parámetros permitidos.

**P4.** ¿Qué filosofía de diseño para la flexión, por ejemplo, recomienda Código ACI-440.11-22?

**R4.** Código ACI-440.11-22 permite que la sección de concreto armado se refuerce en exceso, con un modo de falla de aplastamiento del concreto, o subreforzado, con un modo de falla de rotura de refuerzo. Los procedimientos de diseño de ACI para ambos modos de falla utilizan factores de seguridad apropiados para garantizar la seguridad y confiabilidad estructural de por vida como con otros códigos de ingeniería reconocidos. Cualquiera de los métodos utiliza el análisis clásico de bloques de tensión de Whitney y suposiciones. Debido al



**Rejilla de GFRP atada** (foto de cortesía de Mateenbar Composite Reinforcements)



**Colocación de concreto con barras de refuerzo de GFRP** (foto de cortesía de Mateenbar Composite Reinforcements)

módulo elástico más bajo (aproximadamente una cuarta parte del del acero) y al comportamiento lineal-elástico a la falla, la capacidad de servicio a menudo controla los diseños, que exploraremos más a lo largo de esta serie de artículos.

**P5.** *¿En qué se diferencian las pruebas de adherencia para las barras de refuerzo GFRD y de acero?*

**R5.** Las pruebas de adherencia para barras de GFRD se realizan de acuerdo con el método de prueba de extracción definido en ASTM D7913 / D7913M.<sup>18</sup> Los fabricantes informan de los resultados obtenidos al realizar esta prueba para garantizar la calidad y el cumplimiento de las especificaciones del material. Aunque el método de prueba de extracción no es necesariamente representativo del comportamiento real de una barra, incrustado en una viga de concreto, es sin embargo una forma rápida y eficaz de describir la eficiencia del perfil de la superficie que aún no está estandarizado.

**P6.** *El GFRP no se corroe, pero ¿cuáles son los mecanismos de degradación que funcionan con el tiempo?*

**R6.** Debido a que el GFRP no es ferroso, nunca se corroerá ni causará la expansión de los subproductos del óxido y posterior desprendimiento del concreto con los que estamos familiarizados. La naturaleza compuesta del material hace que las fibras sirvan como resistencia a la tracción de la barra y la resina sirva como agente aglutinante que impregna y encapsula las fibras. Los métodos de prueba de ASTM International descritos anteriormente (absorción de agua, resistividad alcalina y grado de curado) se desarrollaron para establecer límites de umbral para garantizar el rendimiento a largo plazo. Se han realizado pruebas de propiedades físicas de las barras en varios puentes in situ y muestran una degradación muy nominal con el tiempo. Esta sigue siendo un área de investigación para la industria

de los compuestos. En cualquier caso, Código ACI-440.11-22, de manera similar a otros códigos, introduce un coeficiente de reducción, CE, que tiene en cuenta los efectos ambientales para garantizar una vida útil de más de 100 años.

**P7.** *¿Qué consideraciones pueden ser diferentes durante la construcción y la colocación del concreto?*

**R7.** Las tolerancias de construcción generalmente se especifican de acuerdo con ACI SPEC-117-10(15)<sup>22</sup>, lo que las hace iguales que para el acero barras de refuerzo. El peso más liviano hace que las barras de refuerzo de GFRP sean más fáciles de manejar y puede reducir las demandas de los equipos de trabajo y el equipo. Son más fáciles de cortar, solo requieren una pequeña sierra de mano y la colocación y el atado siguen con los mismos soportes de barra y amarres que el acero. Dependiendo de los planos de colocación, es posible que las barras de GFRP deban atarse o apoyarse un poco más a menudo en función de su peso más liviano (es decir, las barras pueden exhibir una tendencia a flotar en el concreto recién colocado) y la flexibilidad (es decir, las barras más largas tenderán a desviarse más bajo su propio peso, lo que hace que los soportes sean más críticos para un recubrimiento determinado). Estos detalles están cubiertos por ACI SPEC-440.5-22: Construction with Glass Fiber – Reinforced Polymer Reinforcing Bars – Specification<sup>23</sup>.



**Proyecto de muelle en malecón de Charleston, Carolina del Sur, EE. UU.** (foto cortesía de Mateenbar Composite Reinforcements)

## P8. *¿Se pueden doblar las barras de GFRP?*

**R8.** Debido a que la resina termoestable (es decir, el éster vinílico según lo exige la especificación ASTM International) utilizada en las barras polimerizan irreversiblemente durante el proceso de fabricación, las barras de GFRP no se pueden doblar en el campo. Cualquier doblez debe realizarse en planta (es decir, como el acero, antes de la entrega en el lugar de trabajo en la mayoría de los mercados). Sin embargo, debido a este proceso, las curvas son exactas, lo que vemos como una ventaja. Las barras se forman alrededor de los pasadores necesarios y se curan en su lugar, lo que significa que las tolerancias, la forma y las dimensiones son exactas y consistentemente uniformes. La planta de fabricación sirve como molino y fabricante, proporcionando barras dobladas y rectas para el proyecto. Las barras de refuerzo de GFRP están disponibles en las mismas formas de curvatura que los diseñadores y contratistas estarían acostumbrados a usar. En algunos casos, para curvas de en L largas, la barra deberá suministrarse en dos piezas y luego superponerse en el campo. Las longitudes de traslape son generalmente más largas que las barras de acero, pero al igual que el acero varían según los parámetros de diseño de resistencia del concreto, diámetro de la barra, etc. Los cálculos deben hacerse para su diseño específico.

## P9. *¿Cómo afectan los aranceles recientes a la cadena de suministro de barras de refuerzo de GFRP?*

**R9.** El precio de los materiales componentes del refuerzo de GFRP es relativamente estable, a diferencia del precio del acero que puede variar considerablemente a lo largo del tiempo en función de los precios de la chatarra y la demanda, la variabilidad estacional y otras fuerzas del mercado. Los avances en la tecnología de fabricación también han dado como resultado eficiencias que han reducido y continuarán reduciendo el precio unitario de las barras de refuerzo de GFRP. Se encuentran disponibles fuentes nacionales de resina y fibras, junto con fuentes nacionales de fabricación.

La Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA) ([www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684](https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684)) amplió las reglas de contenido nacional para la infraestructura financiada con

fondos federales para incluir materiales compuestos como el GFRP. Los materiales compuestos pueden clasificarse como “productos manufacturados” o “materiales de construcción”, y las agencias tienen cierta discreción en cuanto a sus criterios de aceptación y cada categoría tiene su propia clasificación. Los fabricantes nacionales están disponibles para proyectos que requieren el cumplimiento de Build America, Buy America (BABA). Consulte con sus proveedores para obtener su certificación.

## Referencias

1. ASTM D7957/D7957M-22, “Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 5 pp.
2. ASTM D8505/8505M-23, “Standard Specification for Basalt and Glass Fiber Reinforced Polymer (FRP) Bars for Concrete Reinforcement,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 8 pp.
3. AC454 (24), “Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars for Internal Reinforcement of Concrete Members,” ICC Evaluation Service, LLC, Washington, DC, 2025, 11 pp.
4. ACI Committee 440, “Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars—Code and Commentary (ACI CODE-440.1R-22),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 260 pp.
5. “2024 International Building Code (IBC),” International Code Council, Washington, DC, 2024, 753 pp.
6. AASHTO, LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete, second edition, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, DC, 2018, 122 pp.
7. AASHTO, LRFD Guide Specifications for the Design of FRP Pedestrian Bridges, second edition, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, DC, 2025, 83 pp.
8. CSA S807:19, “Specification for Fibre-Reinforced Polymers,” CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2019, 67 pp.
9. CSA S6:25, “Canadian Highway Bridge Design Code,” CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2025.
10. CSA S806:12(R2021), “Design and Construction of Building Components with FRP,” CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2012, 201 pp.
11. ASTM D2584-18, “Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 3 pp.
12. ASTM D2160-92, “Standard Test Method for Thermal Stability of Hydraulic Fluids (Withdrawn 1997),” ASTM International, West Conshohocken, PA, 1992, 4 pp.



13. ASTM E1356-08(2014), "Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperatures by Differential Scanning Calorimetry (Withdrawn 2023)," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, 4 pp.
14. ASTM D570-22, "Standard Test Method for Water Absorption of Plastics," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 4 pp.
15. ASTM D7705/D7705M-12(2019), "Standard Test Method for Alkali Resistance of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Matrix Composite Bars used in Concrete Construction," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 5 pp.
16. ASTM D7205/D7205M-06, "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, 12 pp.
17. ASTM D7617/D7617M-11(2017), "Standard Test Method for Transverse Shear Strength of Fiber-reinforced Polymer Matrix Composite Bars," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, 12 pp.
18. ASTM D7913/D7913M-14(2020), "Standard Test Method for Bond Strength of Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite Bars to Concrete by Pullout Testing" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, 9 pp.
19. TMS 402/602-22, "Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures," The Masonry Society, Fort Collins, CO, 2022.
20. ACI Committee 332, "Code Requirements for Residential Concrete and Commentary (ACI CODE-332-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 72 pp.
21. ACI/NEx, "MNL-6(23): Recommended Practice Guidelines for FRP Bars in Pre-Engineered Projects," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 80 pp.
22. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI SPEC-117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.
23. ACI Committee 440, "Construction with Glass Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars—Specification (ACI SPEC-440.5-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 10 pp.

Gracias a Danielle Kleinhans, FACI, Director de Ingeniería y Desarrollo de Negocio, Mateenbar Composite, Mateenbar Composite Reinforcements, LLC, Charlotte, NC, EE.UU, por responder estas preguntas.

*Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos del ACI y han sido respondidas por el personal del ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos del ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité del ACI. Los comentarios deben enviarse a [keith.tosolt@concrete.org](mailto:keith.tosolt@concrete.org).*

## Título original en inglés: Concrete Q&A. GFRP Misconceptions—Part 1

### La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Perú



*Traductora:*  
**Est. Maricielo  
Fernanda  
Rodríguez Moreno**



*Revisor Técnico:*  
**Ing. Cristopher  
Joseph Nuñez  
Varillas**

## Premio Clyde E. Kesler a la Educación

El **Capítulo Noreste de México** comparte con gran alegría y orgullo la noticia del reconocimiento otorgado a su actual Presidente Dr. Alejandro Durán Herrera por su destacada labor académica en la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL.

*“Por sus destacados logros como educador, mentor e investigador a lo largo de su carrera académica y sus contribuciones a los comités técnicos y capítulos estudiantiles del ACI.”*



**Alejandro Durán Herrera**, FACI, es Profesor y Coordinador de Asuntos Internacionales en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Con 35 años de experiencia profesional, ha dirigido más de 50 tesis, es autor o coautor de más de 50 publicaciones científicas y ha elaborado más de 1 500 informes técnicos. Es Fellow del ACI y ha sido miembro de diversos comités del ACI, incluyendo el Consejo Directivo (Board of Direction), el Comité de Programas de Certificación, el Comité de Actividades de Capítulos, el Comité de Actividades Educativas, y el Subcomité Internacional de Certificación.

Desde 2006, participa activamente en el Capítulo Noreste de México del ACI (SNEM-ACI), donde ha ocupado cargos como Secretario, Tesorero, Director de Actividades Educativas, Director de Capítulos Estudiantiles, Director de Certificación, Editor Técnico de Concreto Latinoamérica, y Presidente del Capítulo para el periodo de octubre de 2024 a octubre de 2026.

También es miembro de la Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales, Sistemas y Estructuras de Construcción (RILEM), donde se desempeñó como Coordinador Regional para América Latina de marzo de 2017 a marzo de 2024. Además, está afiliado a ASTM International, al Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI) y a la Academia de Ingeniería de México.

Durán Herrera recibió el Premio del Capítulo Italia del ACI por sus destacadas contribuciones a la tecnología del concreto en México en 2022; el Premio ACI a la Certificación en 2016; el Premio ACI por Actividades de Capítulos en 2011; el Premio ACI para Miembro Joven por Logro Profesional en 2004; el Reconocimiento PROMEP al Perfil Deseable para Profesores de Tiempo Completo (México) en 2006; y ha sido Investigador Nacional del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT, México) desde 2005.

Sus líneas de investigación incluyen el concreto de alto y ultra alto desempeño, el concreto autocompactable, la estabilidad volumétrica del concreto, el curado interno, el uso de ceniza volante, el concreto reforzado con fibras, los ensayos no destructivos (END) y la durabilidad del concreto.

Es ingeniero civil desde 1990. Obtuvo su maestría en ingeniería ambiental en 1994 y su doctorado en materiales de ingeniería en 2003, ambos por la UANL, y realizó un posdoctorado en tecnología del concreto en la Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canadá, en 2007.

**¡Enhorabuena y muchas felicidades al Dr. Durán!**

## Encuentro Latinoamericano de Capítulos Estudiantiles del ACI (ENLACE) Monterrey 2025

Encuentro que fortalece el conocimiento, redes de colaboración y participación de los Capítulos Estudiantiles del ACI en Latinoamérica con la industria de la construcción



Ceremonia Inaugural.

Realizado del 24 al 27 de septiembre de 2025 en Monterrey, Nuevo León, México, el Encuentro reunió a estudiantes, profesores y profesionales expertos en concreto.

Fue organizado por el Capítulo Estudiantil del ACI de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el Capítulo Noreste de México del ACI contando con gran apoyo de la UANL.

La sesión inaugural fue presidida por la Dra. María Juenger, Presidente del ACI Internacional, el Geol. Gerald Mouzolf Presidente del ICRI, autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, el Presidente del Capítulo Noreste de México del ACI y del Capítulo Estudiantil de la FIC-UANL-ACI, entre otros. Se motivó a los estudiantes asistentes a participar activamente en el evento para obtener el mayor provecho de los conocimientos compartidos, y agradecer a organizadores y patrocinadores su apoyo para lograr un evento exitoso.

Durante 4 días de actividades, el evento se consolidó como un foro para compartir conocimientos, relacionarse con expertos y promover la colaboración entre los futuros líderes de la construcción con concreto de Latinoamérica.

Se realizaron conferencias técnicas, talleres teórico-prácticos, paneles de discusión y visitas técnicas, además del Concurso Estudiantil de Cilindros de Concreto Ligero Fibro-reforzado.

### Historia

El Encuentro se estableció en el 2018 como un evento nacional en México buscando acercar a los estudiantes a la industria y promover el conocimiento de la tecnología del concreto. A partir del año 2024, el evento se amplía para darle un alcance Latinoamericano cambiando su nombre de ENACE a ENLACE.

### Cifras Que Construyen Comunidad

Se contó con la participación de 23 universidades y una asistencia de casi 500 participantes, entre los 425 estudiantes, más 50 profesionales de la industria y además de los conferencistas y representantes de los patrocinadores del evento. Destaca la presencia de estudiantantes de Puerto Rico y del Perú.





Dr. Sergio M. Alcocer



Ing. Oscar Antommattei



Dr. Roberto Stark Feldman



M.C. Julissa Hidalgo

## Conferencias y Conferencistas

**Dra. María Juenger**, Presidente del ACI Internacional habló sobre el tema: “Ajustar la reactividad del material cementante suplementario para una reducción óptima del carbono en el concreto”

**Frederick H. Grubbe**, MBA, CAE. Presidente ejecutivo del ACI expuso el tema: “ACI: Pasado, presente y futuro”

**Ing. José M Izquierdo**, expresidente del ACI Internacional habló sobre: “No hay sustentabilidad o durabilidad sin resiliencia”

**Geol. Gerard Moulzolf**, Presidente del ICRI (International Concrete Repair Institute) compartió con los asistentes el tema: “Evaluación del concreto mediante la petrografía”

**M.C. Eric Hault**, Director Ejecutivo de ICRI presentó el tema: “Amplía tu red profesional y tus conocimientos a través de la afiliación a asociaciones técnicas”

**Dr. Sergio M Alcocer**, Profesor Investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM nos habló sobre “¿Porqué las estructuras deben ser resilientes y no nada más resistentes y durables?”

**Ing. Oscar Antommattei**, Director de Ingeniería en Materiales de la empresa KIEWIT Corp., expuso “Aspectos de durabilidad en la implementación del diseño por vida útil para proyectos de infraestructura”

**Dr. Roberto Stark Feldman**, Diseñador Estructural habló sobre: “Evolución de las estructuras de concreto con el tiempo”

**M.C. Julissa Hidalgo**, Directora de Tecnología de Concreto para las Américas de Sika Corp., nos propuso los “Beneficios de los concretos con baja viscosidad”

**Ing. Andrés Matos**, Director Técnico en Laboratorio de Ensaye de Materiales – Millennia Professional Services expuso: “El soporte del concreto: la importancia de la geotecnia en la construcción”.

**Dr. Cesar Constantino**, Director Sénior de I + D + i y de Calidad – Chryso Norteamérica SAINT-GOBAIN habló sobre: “Resiliencia: el nuevo estándar en la construcción sustentable”.

**Dr. Esteban Astudillo**, Diseñador estructural, nos contó sobre “Torre Rise: un ícono concreto en el horizonte Regiomontano”

**Dra. Margareth Dugarte**, Profesora Asociada de la Universidad del Norte en Barranquilla, Colombia, habló sobre: “Durabilidad del concreto reforzado en zonas costeras; retos y soluciones”

A lo largo de todas las conferencias durante los recesos, se realizaron rifas de distintos artículos proporcionados por patrocinadores y el equipo organizador, con el fin de motivar la participación de los estudiantes para buscar las pistas de cada concurso en los diferentes “stands” de los proveedores o durante las propias conferencias.



Entrega de la medalla "Dr. Ramón L. Carrasquillo"



## Medalla "Dr. Ramón L. Carrasquillo"

Para reconocer al Ing. Ramón L. Carrasquillo y honrar su memoria así como su gran trayectoria en el ámbito académico, investigación, consultoría, práctica profesional de la construcción e ingeniería estructural y de tecnología de concreto, y especialmente su siempre desinteresado apoyo y mentoría a los estudiantes sin mirar nacionalidades o condición, se instituyó la medalla "Dr. Ramón L. Carrasquillo" por parte del Capítulo Centro y Sur de México del ACI y en esta primera ocasión la medalla se entregó al Ing. José M. Izquierdo, como reconocimiento a su destacada labor en apoyo de los Capítulos Estudiantiles del ACI en Latinoamérica. La medalla y el pergamino que la acompaña fueron diseño del artista mexicano Guido Farina. La entrega la realizó la Presidente del ACI Internacional Dra. María Juenger.

## Paneles

### Panel de Profesionistas

Destacó la transformación tecnológica de la construcción, desde la planeación hasta la ejecución en obra, y la visión de los expertos sobre el futuro de la industria.

Participaron líderes del sector como la **Dra. Maria Juenger, M.C. Julissa Hidalgo, Geol. Gerard Moulzolf, Dr. Cesar Constantino, Dr. Roberto Stark, Dr. Ricardo González Alcorta e Ing. Alejandro Narro Aguirre**, quienes compartieron experiencias reales, sus mayores desafíos y estrategias de éxito sus proyectos así como su vida profesional.

### Panel de Mujeres

Buscando promover la equidad de género en la industria de la construcción, se reflexionó sobre, las realidades, avances y retos que hoy enfrenta la participación femenina en la industria. Expusieron sus experiencias a lo largo de sus trayectorias

profesionales la **Dra. Maria Juenger, M.C. Julissa Hidalgo, Ing. Elissa Narro Aguirre y Dra. Margareth Dugarte**, quienes además destacaron el impacto del liderazgo y la innovación de las mujeres en el sector del concreto para buscar un futuro más inclusivo y justo.



Panel de Mujeres.



## Aprendizaje en Acción: Talleres Técnicos

Más de 250 asistentes participaron activamente en los talleres impartidos por expertos internacionales.

Los Talleres fomentaron el intercambio técnico y práctico sobre las más recientes innovaciones y tecnologías en materiales, sostenibilidad, control de calidad y evaluación del concreto.

Los temas ofrecidos fueron:

- **Pisos Industriales de Concreto “La Clave del Éxito”.** Patrocinó: ICCE Rentas y Servicios
- **Evaluación del Concreto.** Ofrecido por la Facultad de Ingeniería Civil UANL
- **Aditivos Reductores de la Contracción.** Patrocinada por EUCOMEX
- **Concreto Autocompactable.** Patrocinada por EUCOMEX
- **Fibras Sintéticas.** Patrocinada por BARCHIP
- **Impermeabilización por Cristalización.** Patrocinada por EUCOMEX
- **Pruebas no destructivas (NDT).** Ofrecido por la Facultad de Ingeniería Civil UANL
- **Madurez del Concreto.** Patrocinada por EXACT
- **International Concrete Repair Institute.** Ofrecido por ICRI México y PENETRON



Visita Técnica Planta de Prefabricados.

## Visitas Técnicas

Con asistencia de más de 250 estudiantes, se acudió a las visitas técnicas preparadas como parte del evento a fin de que se conocieran edificaciones y procesos constructivos importantes en la ciudad.

Se visitaron las siguientes obras e instalaciones:

- **Torre Rise en construcción**
- **Torre Avalon en construcción**
- **Planta de prefabricados para las líneas 4 y 6 del metro**
- **Planta productora de concreto de Holcim en Santa Catarina**
- **Planta cementera de Holcim Ramos Arizpe**



Visita Técnica a la Torre Rise.

## Concurso de Cilindros de Concreto Ligero Fibroreforzado

En honor al Dr. Ramón L. Carrasquillo y con el patrocinio de Holcim México, se realizó el tradicional concurso técnico como preparación al concurso internacional que se llevará a cabo en la próxima convención de primavera del ACI, al que el equipo ganador del primer lugar asistirá con los gastos pagados por parte del patrocinador, Holcim México.

En el concurso participaron 48 equipos provenientes de México, Perú y Puerto Rico, quienes pusieron a prueba sus conocimientos técnicos, creatividad, y trabajo en equipo en el diseño de concretos ligeros fibro-reforzados.



Talleres Técnicos en diversas sedes.





Concurso de concretos ligeros fibro-reforzados.



Cilindros fibroreforzados después de su ensaye.

## Las Universidades participantes fueron:

- Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías- Universidad de Guadalajara
- Facultad de Estudios Superiores Aragón UNAM
- Instituto Politécnico Nacional
- Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo
- ITESM Campus Querétaro
- Tec N M Campus Cd.Victoria
- Universidad Americana del Noreste
- Universidad Autónoma de Baja California
- Universidad Autónoma de Sinaloa
- Universidad Autónoma del Estado de México
- Universidad Nacional de Ingeniería.
- Universidad Panamericana. Campus Guadalajara.
- Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
- Universidad Popular de la Chontalpa
- Universidad de Sonora
- Universidad Autónoma de Tamaulipas. Campus Tampico-Madero
- Universidad Politécnica de Pachuca
- Universidad Autónoma de Zacatecas
- Universidad Politécnica de Puerto Rico
- Instituto Tecnológico de La Paz
- Facultad de Ingeniería de la UNAM
- Instituto Tecnológico de Sonora

Los ganadores del concurso fueron:

- **Primer Lugar** - UAEMEX4 Universidad Autónoma del Estado de México - Capítulo ACI Centro y Sur
- **Segundo Lugar** - UNIPL Universidad Nacional de Ingeniería - Perú
- **Tercer Lugar** - ACI2FIUNAM Facultad de Ingeniería UNAM - Capítulo ACI Centro y Sur.

El concurso, además de celebrar la excelencia técnica, honró el legado del Dr. Ramón L. Carrasquillo, promotor incansable del conocimiento, la ética profesional y la educación en el campo del concreto.

## Cena de Clausura

Para cerrar el evento se realizó una cena de gala en el hotel sede y durante la misma se presentó una muestra cultural mexicana con bailables típicos de los estados de Tamaulipas, Jalisco y Nuevo León, presentados por el ballet folklórico de la UANL.

Se hizo entrega de reconocimientos a los participantes y patrocinadores así como el anuncio de los equipos ganadores del concurso de Cilindros de Concreto ligero Fibro-reforzado.

El acto final consistió en la entrega de la estafeta del ENLACE al Capítulo Noroeste de México, quienes tendrán a su cargo la realización del ENLACE 2026.



## Testimonios

*“La semana pasada la pasé genial en Monterrey, México, asistiendo al ENLACE 2025. ¡Esta conferencia estudiantil tuvo de todo! Cientos de estudiantes de todo México, Puerto Rico y Perú, distinguidos y reconocidos ponentes y panelistas, visitas a obras, concursos estudiantiles y ¡fiestas! Incluso toleraron mi español deficiente (¡de verdad necesito practicar más!). Este es sin duda un modelo que deberíamos replicar en todo el mundo para el Instituto Americano del Concreto.”*

**María Juenger**, Presidente del ACI Internacional.

*“Sin duda, considero que este tipo de eventos son algo que todo estudiante de ingeniería civil debería vivir al menos una vez durante su formación”*

**Jesús García**, estudiante encargado de los talleres técnicos del ENLACE 2025.

Para los alumnos que trabajaron en la organización del evento, *“éste resultó ser un desafío muy grande, desde planear a ejecutar algo tan grande y para tantas personas y con tantas y diversas actividades. El aprendizaje fue intenso y resultó ser una experiencia enriquecedora tanto en la parte técnica como de desarrollo humano.”*

*“Tres palabras me vienen a la mente: energía, optimismo y generosidad. La energía de los más de 400 estudiantes que Gerard Moulzolf, PG, y yo experimentamos fue increíble desde el primer momento. También sentimos la alegría y el optimismo de los estudiantes y sus extraordinarios mentores/ asesores académicos, como Elissa Narro Aguirre y Alejandro Durán-Herrera. Y en todo momento, experimentamos una generosidad asombrosa.*

*Nunca se sabe lo que trae un viaje internacional, pero en mi experiencia, siempre trae nuevas perspectivas, conexiones y crecimiento. ¡Agradecidos con nuestros amigos en México por esta increíble oportunidad!”*

**M.C. Eric Hauth**, Director Ejecutivo ICRI.

## Legado de ENLACE 2025

ENLACE ACI MTY 2025 deja como legado una comunidad estudiantil más unida, participativa y comprometida con la innovación y la calidad del concreto. Su éxito reafirma la importancia de estos espacios de encuentro, donde el conocimiento técnico y la colaboración trascienden fronteras.

Para **más información** sobre el evento, actividades y resultados:

**<https://iic.uanl.mx/enlaceacimty2025/>**

Galería de fotos del evento:

**<https://iic.uanl.mx/enlaceacimty2025-galeria/>**

## Agradecimientos

Agradecemos a Victor Pedraza Almaguer y a Fabiola Durán Mata por su apoyo para la realización de este artículo.



**Victor Pedraza Almaguer**



**Fabiola Durán Mata**



**CONCRETO**  
LATINOAMÉRICA