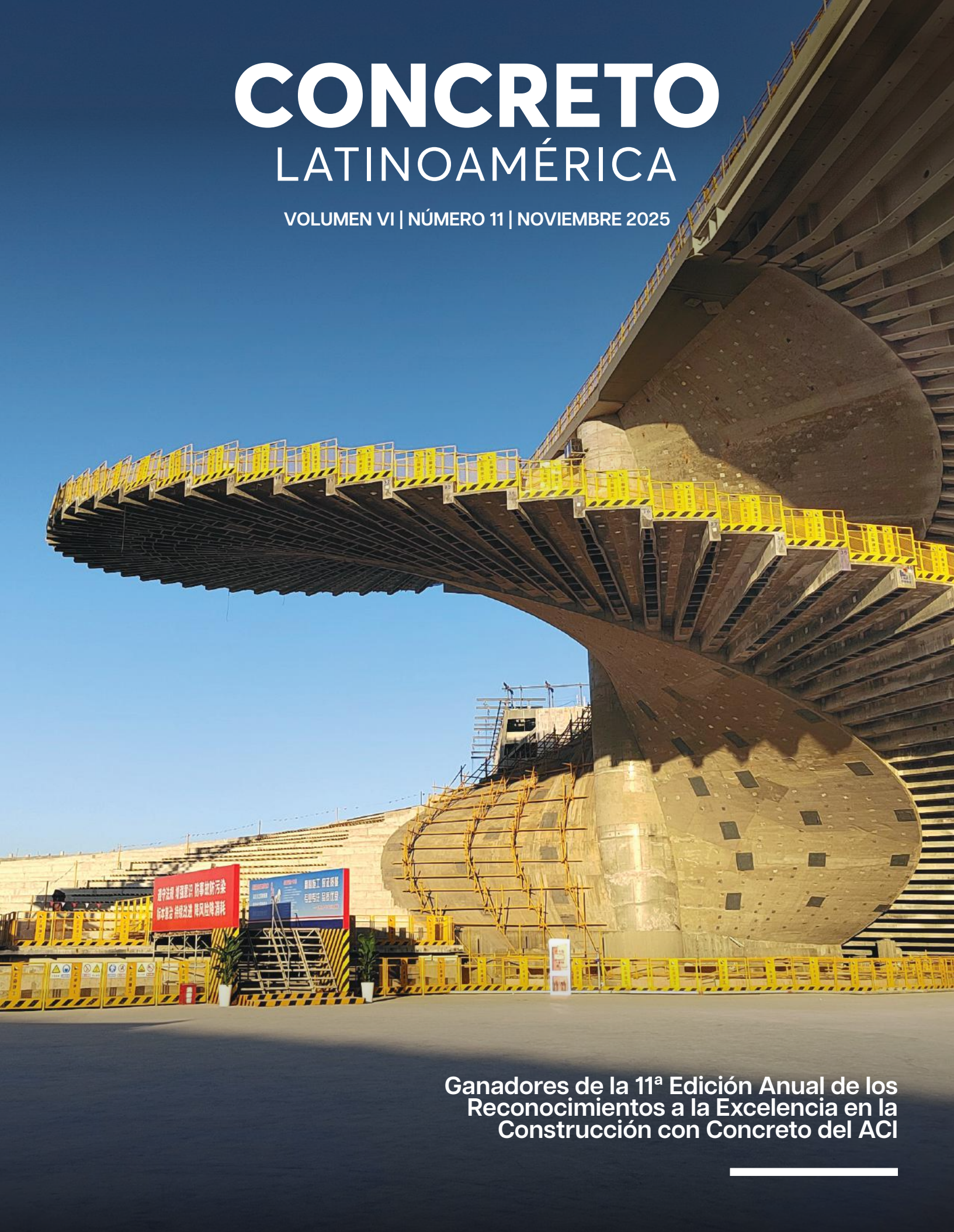


CONCRETO LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VI | NÚMERO 11 | NOVIEMBRE 2025



Ganadores de la 11ª Edición Anual de los
Reconocimientos a la Excelencia en la
Construcción con Concreto del ACI

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

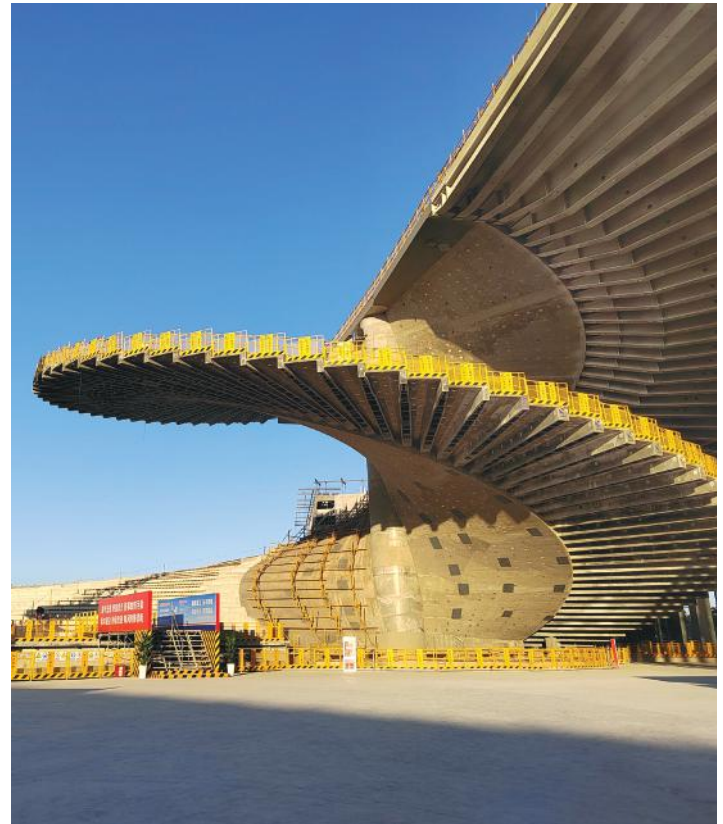
Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



La Gran Ópera de Shanghái, en Shanghái, China, presenta una increíble escalera exterior en espiral que imita la forma de un abanico chino abierto, que une la belleza arquitectónica con la innovación estructural. Con un radio de 32 m (105 pies) esta escalera combina concreto prefabricado de ultra alto desempeño con concretos colados en sitio y logra voladizos de hasta 15.5 m (51 pies). Este emblemático proyecto exhibe la primera aplicación a gran escala de la tecnología del concreto de ultra alto desempeño en China, símbolo de un gran logro de la ingeniería junto con la cultura.

Esta obra alcanzó Mención Honorífica en la Categoría de Estructuras de Mediana Altura durante la última edición de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI 2025 el pasado mes de octubre. (Más información en el artículo 2 de este número)

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 Noviembre 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. Francisco René 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:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Dr. René Francisco Vázquez Leal
Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll



American Concrete Institute
Always advancing

¡Únete hoy!

Conoce tu capítulo local ACI
300+ Capítulos profesionales y estudiantiles
www.concrete.org



CONTENIDO

1 | Capitolio de Puerto Rico: La restauración de la cúpula

Ganador absoluto de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto 2025 del ACI.

5 | Cómo el ACI transformó los códigos de concreto y prácticas en Indonesia, Parte 2 – De las normas a la implementación

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

2 | Ganadores de la 11ª Edición Anual de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI

6 | Concreto con aire incluido y su sistema de vacíos de aire

Por N. Subramanian

3 | Celebrando la Historia del Concreto: Un tributo a Luke and Billie Snell

Por F. Michael Bartlett, Karin T. O'Brien, W. James Wilde, Anne Werner, Jacob L. Borgerson, Kelsey E. Sheridan, Kimberly Waggle Kramer, and Lance Heiliger

7 | Los números “F” y la precisión de los dispositivos de medición

4 | Evolución del Código ACI-562-25

Capítulo 8: Refuerzo y detallado del armado para la evaluación, reparación y rehabilitación estructural

Por Lisa R. Feldman

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

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

Capitolio de Puerto Rico: La restauración de la cúpula

Ganador absoluto de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto 2025 del ACI.

La restauración y remodelación integral de la cúpula del Capitolio de Puerto Rico en San Juan, Puerto Rico, es un testimonio excepcional de la conservación del patrimonio y la innovación en ingeniería. Inaugurada en 1929, la cúpula del Capitolio es un techo de concreto armado revestido de mármol y adornado con detalles de terracota. Durante casi un siglo, sufrió un deterioro significativo de los materiales, incluyendo concreto segregado con huecos, corrosión de los soportes de acero de la fachada de terracota e intrusión de humedad salina debido a la proximidad al Océano Atlántico.

Impulsado por estos desafíos, el equipo multidisciplinario de diseño y restauración se propuso limpiar, estabilizar, replicar y consolidar cada elemento de la base y los niveles de la cúpula.

Las técnicas de restauración incluyeron:

- **Restauración selectiva de mármol:** Limpieza, rejunteado y consolidación de superficies enchapadas utilizando sistemas micro abrasivos aprobados o limpiadores químicos no ácidos, incluyendo ProSoCo HCP o Geal y consolidadores para mármol;
- **Reparación de fachadas de terracota:** Para atender el problema de los soportes angulares de acero gravemente corroídos, el equipo instaló más de 800 anclajes Cintec™ -elementos especiales de acero inoxidable recubiertos con calcetines rellenos de mortero- que se instalaron a presión para reforzar los sustratos debilitados.
- **Recuperación de la integridad estructural mediante inyección de microcemento:** Inspirándose en la estabilización de túneles mineros, se inyectó MasterRoc MP 900, un cemento Portland microfino, desde la parte inferior utilizando bombas de baja presión. Esta técnica rellenoó parte del volumen de la cúpula, sellando huecos y restaurando la la estructura sin retirar el revestimiento de mármol.

- **Reparación de la corrosión y refuerzo de los elementos estructurales circundantes:** Los morteros de reparación restauraron el concreto dañado de las losas, vigas y pilares, seguido de la inyección de microcemento para una mayor durabilidad. Se añadieron láminas de fibra de carbono para reconstruir la resistencia a fuerzas cortantes en los estribos.
- **Reacondicionamiento hidrófugo:** Se tallaron nuevas pendientes, se trataron las superficies con metacrilato de metilo para su consolidación y se aplicaron sistemas de impermeabilización para su debida protección a la humedad; y
- **Reproducción de la documentación de diseño original:** Entre noviembre de 2021 y febrero de 2022, PQC Architectural Studio LLC, con autorización de la Superintendencia del Capitolio de Puerto Rico, escaneó, digitalizó y verificó en campo los planos arquitectónicos originales de 1929.

“La reparación y restauración de una cúpula centenaria no es tarea fácil, dada la multitud de desafíos que se presentan al trabajar en los detalles de la reparación sin afectar la estética. El uso juicioso de elementos de acero inoxidable y laminados de fibra de carbono ha contribuido a la longevidad de la estructura. En general, se trata de un trabajo muy minucioso y, por lo tanto, merecedor del premio”, afirmó Sivakumar Kandasami, miembro del ACI y juez del premio a la Excelencia General, Jefe de Tecnología del Concreto en la división de Edificios y Fábricas de L&T Construction.



Domo del Capitolio de Puerto Rico durante su restauración.



Piezas ornamentales de terracota en la base del domo mostrando los daños por corrosión y agrietamiento.

Impacto y Reconocimiento

Este proyecto demuestra el poder de combinar el respeto por el patrimonio arquitectónico con la ciencia de la construcción de vanguardia. El reconocimiento a la Excelencia General subraya el valor de este proyecto. Para Puerto Rico, es un emblema de resiliencia cultural. El galardón, entregado en la Gala de Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI el 27 de octubre de 2025, durante la Convención de Otoño del ACI en Baltimore, MD, EE. UU., destaca los logros del proyecto, desde el delicado arte en mármol hasta la revitalización estructural interna.

Con este premio, la restauración de la cúpula del Capitolio preserva un pilar de la identidad cívica puertorriqueña e inspira un modelo para los esfuerzos de conservación a nivel mundial. Este éxito refleja la sinergia de la Legislatura del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, la Superintendencia del Capitolio de Puerto Rico, PQC Architectural Studio LLC, Porticus CSP – Ingeniería, Building Preservation Material Technologies, Sika, Cintec, Gladding, McBean y otros que colaboraron para dar nueva vida a una estructura de casi un siglo de antigüedad.

Preservación e Ingeniería Moderna

La perfecta fusión entre la preservación histórica y la tecnología de concreto de vanguardia distinguió esta restauración. El uso de las inyecciones de microcemento por la parte inferior, evito la prohibitivamente costosa remoción de los revestimientos de mármol. Vanos o huecos dentro del cuerpo de la cúpula fueron rellenos y sellados sin perturbar la fachada exterior, una solución que preserva la estética original del domo a la misma vez que su integridad estructural. Mediante el uso de anclajes Cintec, capaces de adherirse a sustratos dañados, el equipo de restauración logró el refuerzo estructural de la pesada estructura de terracota sin necesidad de reemplazarla por completo. Tras casi nueve décadas de exposición al agua salada, el equipo seleccionó laminados de fibra de carbono, microcementos y metacrilato de metilo por su alta durabilidad en ambientes marinos, lo que garantizará la preservación a largo plazo del sistema estructural de la cúpula. La fiel reproducción digital y la verificación en campo de planos de casi un siglo de antigüedad permitieron recuperar referencias perdidas, guiando una restauración precisa.

“Explorar estos proyectos ha sido una oportunidad emocionante para ver de primera mano el avance de la industria. Ganar, o incluso ser nominado, requiere la colaboración entre visionarios, diseñadores, contratistas, productores, proveedores, consultores, artesanos, operadores y especialistas en seguridad, cada uno superando los límites, con las mejores prácticas y la tecnología disponible”, dijo Kenneth C. Hoover, miembro honorario del ACI y juez de Excelencia General, profesor emérito y becario presidencial Weiss en la Universidad de Cornell. “Al revisar los proyectos competidores, no solo me maravillaron sus logros, sino que también reconocí cómo cada proyecto elevó el nivel e hizo avanzar a nuestra industria desde lo que podría ser posible hasta lo que ahora se ha logrado.”



Reforzamiento utilizando láminas de fibra de carbono.

Título original en inglés:
**Capitol of Puerto Rico
Dome Restoration**

Overall winner of the 2025 ACI Excellence in
Concrete Construction Awards

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Puerto Rico**



Traductor:
Andrés Matos, PE



Revisora Técnica:
Anabel N. Merejildo

Ganadores de la 11ª Edición Anual de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI

Durante más de una década, el ACI ha celebrado con orgullo los logros más destacados de la industria a través de los Reconocimientos ACI a la Excelencia en la Construcción con Concreto.

En los últimos 11 años, hemos tenido el honor de reconocer a personas y organizaciones que están redefiniendo la excelencia, la innovación y el liderazgo en el diseño y la construcción con concreto. Hasta la fecha, hemos celebrado proyectos excepcionales de concreto en 24 países, abarcando un total de 74 provincias, estados y otras jurisdicciones regionales.

Hoy en día, a medida que la industria enfrenta crecientes desafíos económicos, ambientales y estéticos, la necesidad de técnicas innovadoras y tecnologías avanzadas es mayor que nunca.

Los Reconocimientos del ACI a la Excelencia en la Construcción con Concreto continúan siendo una plataforma global para honrar proyectos excepcionales de concreto que superan los límites e inspiran el progreso.

Las candidaturas fueron presentadas por miembros de la red de Capítulos y Socios Internacionales del ACI, así como mediante candidaturas en línea.

Los proyectos se evaluaron en las siguientes ocho categorías:

- Estructuras de baja altura (hasta tres plantas);
- Estructuras de mediana altura (de cuatro a quince plantas);
- Estructuras de gran altura (más de quince plantas);
- Puentes;
- Concreto decorativo;
- Pavimentos;
- Infraestructura; y
- Reparación y restauración.

La competitividad de las candidaturas de este año requirió de un jurado compuesto por 35 expertos del sector (32 jueces por categoría y tres jueces generales). El jurado evaluó los proyectos en función de: mérito arquitectónico y de ingeniería; creatividad;

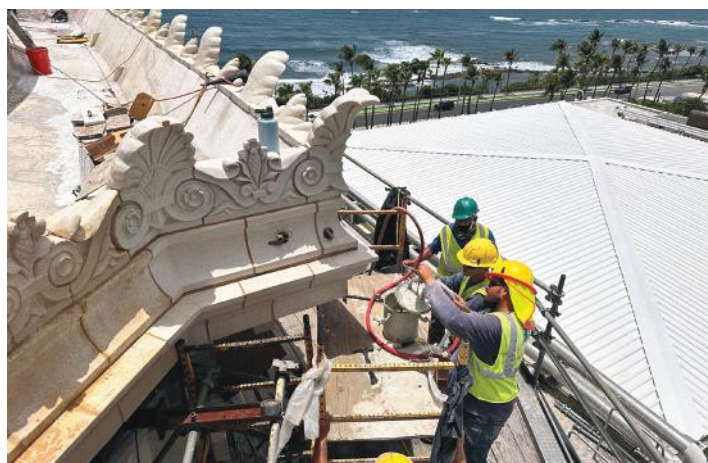


técnicas constructivas innovadoras, soluciones o uso innovador de materiales; ingenio; sostenibilidad y resiliencia; y funcionalidad.

Los proyectos ganadores se anunciaron en la Gala de Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI 2025. El evento tuvo lugar durante la Convención de otoño del ACI el 27 de octubre en Baltimore, Maryland, EE. UU.

Los proyectos ganadores fueron:

Ganador Absoluto a la Excelencia y Primer Lugar en la categoría de Reparación y Restauración



Cúpula del Capitolio, San Juan, PR, EE. UU.

Nominado por: Capítulo del ACI Puerto Rico

Propietario: Asamblea Legislativa de Puerto Rico

Firma de arquitectura: PQC Architectural Studio LLC (PQCAS)

Firma de ingeniería: Porticus CSP - Ingeniería

Contratista general y de concreto: Building Preservation Material Technologies

Proveedor de concreto: Master Builders Solutions/Sika MBCC Puerto Rico Corporation

Proveedor especializado de anclajes: Cintec

Fabricante de terracota: Gladding, McBean

La restauración de la cúpula del Capitolio incluyó la rehabilitación estructural y arquitectónica de la cúpula de 1929 en San Juan, Puerto Rico, corrigiendo la extensa segregación del concreto, la corrosión y el deterioro de las fachadas de terracota. Las técnicas innovadoras incluyeron la inyección de microcemento para rellenar los huecos en la cúpula y las losas, el refuerzo con polímero reforzado con fibra y la instalación de más de 800 anclajes especiales Cintec para estabilizar la terracota. Se utilizó cemento MasterRoc MP 900 para lograr una penetración impermeable en las fisuras, mientras que los laminados de fibra de carbono mejoraron la resistencia al cortante. El proyecto también incluyó la limpieza, la reproducción y la estabilización meticulosa de las superficies de mármol y terracota, integrando mejoras mecánicas y eléctricas y garantizando tanto la preservación histórica como la integridad estructural a largo plazo.

Segundo Lugar en la categoría de Reparación y Restauración
Universidad de California, San Diego York Hall,



La Jolla, CA, EE. UU.

Nominado por: Capítulo Internacional del ACI en San Diego

Propietario: Junta de Regentes de la Universidad de California

Estudio de Arquitectura e Ingeniería: LPA Design Studios

Contratista General: PCL Construction

Contratista de concreto: Pacific Southwest Structures, Inc. (PSSI)

Proveedor de concreto: Cemex

El proyecto de mejora sísmica del York Hall de la Universidad de California en San Diego (U.C. San Diego) en La Jolla, California, consistió en la modernización y el reforzamiento de este edificio histórico de 1966,

conservando a la vez su patrimonio arquitectónico.

El concreto fue fundamental para el reforzamiento de los cimientos, los muros de concreto lanzado, las losas de relleno y de acabado, y la sustitución de cuatro intrincadas columnas acanaladas mediante encofrados de fibra de vidrio hechos a la medida.

El concreto de alta resistencia mejoró la resiliencia sísmica, distribuyendo las fuerzas y mitigando las vulnerabilidades estructurales. Los materiales de origen local y la eficiente construcción minimizaron las emisiones de carbono, mientras que la durabilidad del concreto garantiza un rendimiento a largo plazo.

El proyecto integra con éxito la ingeniería moderna con la artesanía histórica, demostrando la versatilidad del concreto para revitalizar estructuras patrimoniales, mejorar la seguridad de los ocupantes y preservar el legado arquitectónico en el campus de la U.C. San Diego.

Primer Lugar en la categoría de Estructuras de baja altura

La Casa Altamura, Santa Rosa, CA, EE. UU.



Nominada por: Capítulo del ACI del Norte de California y Nevada Occidental

Propietarios: Peter y Catherine Altamura

Empresa de Ingeniería: Zenith Engineers Inc.

Contratista General: MacKillop Construction

Contratista de concreto: Fuego Construction Inc.

Proveedor de concreto: Northgate Ready Mix, una empresa de CRH

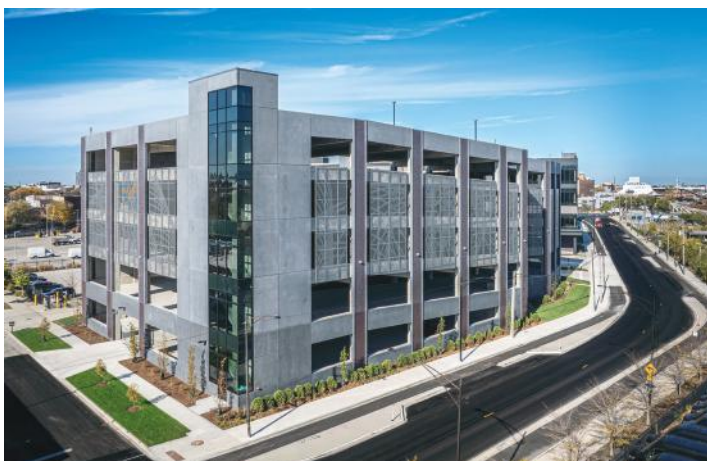
Otros materiales: IntegraSpec ICF; Castle Concrete Pumping, Inc.; Cantera de BoDean Company

Diseñada y construida para la máxima eficiencia, la residencia Altamura en Santa Rosa, California, es una vivienda de consumo energético casi nulo que utiliza una estructura geotérmica de concreto

aislado para regular la temperatura de forma natural, sin necesidad de sistemas mecánicos. Su singular distribución en forma de X sitúa cada habitación cerca de la luz natural, con suelo radiante, aire acondicionado central y ventanas automatizadas para la ventilación. La sala de conciertos de la planta baja, construida íntegramente con muros de concreto aislante (ICF), es completamente insonorizada. Se utilizaron los sistemas ICF IntegraSpec e Insul-Deck para lograr complejas pendientes de tejado, grandes voladizos y buhardillas con múltiples ángulos. El innovador sistema de encofrado permitió colocar el concreto del tejado y los muros de forma monolítica, creando una resistencia estructural inigualable. Cada elemento, desde los cimientos y los muros de contención hasta los frontones y las buhardillas, se construyó con concreto para garantizar su durabilidad y rendimiento.

Segundo Lugar en la categoría de Estructuras de baja altura

Proyecto Heat, Chicago, IL, EE. UU.



Nominado por: Capítulo de Illinois del ACI

Propietario: Logistics Property Company, LLC

Estudio de arquitectura: Ware Malcomb

Estudio de ingeniería: DCI Engineers

Contratista general y de concreto: Walsh Construction

Proveedor de concreto: Prairie Materials

Otros: Flood Testing Laboratories, Inc.; Braun Intertec

Este almacén industrial de dos plantas y 250 000 ft² (23 230 m²) es la primera instalación multinivel de Chicago diseñada para el acceso de camiones semi-remolque de tamaño completo en ambas plantas. Construido en un terreno urbano reducido, la estructura incluye claros libres de hasta 60 ft (18 m), techos de 32 ft (10 m) de altura y un estacionamiento

en la azotea con capacidad para 1 200 vehículos, conectado a un garaje de cinco plantas mediante una pasarela cubierta. Se colocaron más de 73 000 yd³ (55 813 m³) de concreto, con losas sobre el terreno, losas sobre chapa metálica, muelles de carga pretensados y arriostramientos con restricción de pandeo de acero revestidos de concreto (BRB). Los métodos de colocación de precisión lograron una planicidad del suelo muy superior a los requisitos, mientras que el concreto ligero en la cubierta mejoró el rendimiento térmico y redujo el peso estructural. Las prácticas sostenibles incluyeron la tecnología CarbonCure, materiales cementantes suplementarios (MCS) y refuerzo de grado 80 para minimizar el uso de materiales sin sacrificar la resistencia.

Primer Lugar en la categoría de Estructuras de mediana altura

City of Hope – Hope Plaza, Duarte, CA, EE. UU.



Nominado por: Capítulo del Sur de California del ACI

Propietario: City of Hope

Empresa de ingeniería: KPFF Consulting Engineers

Estudio de arquitectura: CO Architects

Contratista general y contratista de concreto para la construcción: DPR Construction

Proveedor de concreto para la construcción: Holliday Rock

Contratista de concreto para obra: Bomel Construction Company Inc.

Proveedor de concreto para obra: National Ready Mixed Concrete Company

Hope Plaza es un centro ambulatorio y campus de ocho pisos y 352 000 ft² (32 700 m²) en Duarte, California. Los muros de contención de concreto armado in situ y una bóveda de radiología con concreto de alta densidad proporcionan protección contra la radiación. Entre las características del edificio se incluyen pasillos de concreto coloreado, asientos de anfiteatro con forma personalizada y una fuente de agua en cascada fabricada con cemento blanco. El piso decorativo y los bancos personalizados requirieron una precisión de modelado y acabado. Más de 80 000 ft² (7 430 m²) de superficies de concreto arquitectónico realzan el parque circundante, combinando durabilidad con atractivo visual. La coordinación en todo la extensa construcción garantizó una integración perfecta de los elementos estructurales y paisajísticos de concreto, creando un entorno funcional y acogedor para pacientes, visitantes y personal.

Segundo Lugar en la categoría de Estructuras de mediana altura



Pabellón de Humanidades de la Universidad Nacional de Taiwán, Taipéi City, Taiwan.

Nominado por: Capítulo de Taiwán del ACI

Propietario: Universidad Nacional de Taiwán

Firma de arquitectura: Chien Arquitectos & Asociados

Firma de ingeniería: Envision Engineering Consultants

Contratista general: Feng Yu Construction Co., Ltd.

Contratista y proveedor de concreto: Ho Chang International Co., Ltd.

Otros: Feng Yu United Engineering Co., Ltd.; Fengyu Grupo; Instituto de Concreto de Taiwán (TCI); Acero China Corporación (CSC); Compañía Global de Reingeniería (GRC); FBC Encofrados Systems Co., Ltd.

El Edificio de Humanidades es un moderno edificio académico de la Universidad Nacional de Taiwán en la ciudad de Taipéi, Taiwán, que conecta el campus, el patrimonio y la ciudad mediante un puente aéreo de 50 metros. Diseñado con una visión de perdurar más de 100 años, el Edificio aspira a erigirse como un emblema junto a la icónica Puerta Principal y la Facultad de Artes Liberales de la Universidad. El Edificio cuenta con muros de corte de concreto aparente, losas compuestas y parasoles de concreto de ultra alto comportamiento (UHPC) para mayor resistencia sísmica, confort térmico y durabilidad. El encofrado con patrón de cedro y una dosificación precisa crean una textura natural sin necesidad de revestimiento. Entre otras prácticas sostenibles se incluyen agregados dragados de ríos; la sustitución del 30 % del cemento por escoria granulada de alto horno (GGBS); y la eliminación de acabados secundarios, reduciendo las emisiones de carbono en más de 2 000 toneladas. El resultado es un edificio emblemático que fusiona el diseño contemporáneo con un entorno histórico.

Mención Honorífica en la categoría de Estructuras de mediana altura Ópera de Shanghái, Shanghái, China



Nominado por: Capítulo de China del ACI

Propietario: Ópera de Shanghái

Empresa de ingeniería: East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd.

Estudio de arquitectura: East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd.; Snøhetta

Contratista general: Shanghai Construction No. 4 (Group) Co., Ltd.

Proveedor de concreto: Sobute New Materials Co., Ltd.

Otros: Shanghai Tongji Building Technology & Engineering Co., Ltd.; Shanghai Construction Building Materials Technology Group Co., Ltd.

La Ópera de Shanghái, en China, presenta una impresionante escalera de caracol exterior con forma de abanico chino abierto, que aúna belleza arquitectónica e innovación estructural. Con un radio de 32 m (105 pies), la escalera combina concreto de ultra alto desempeño (UHPC) prefabricado y colado in situ para lograr largos voladizos de hasta 15.5 m (51 pies). Su sistema estructural compuesto reduce el uso de materiales, acorta el tiempo de construcción y disminuye las emisiones de carbono, manteniendo la resistencia y la durabilidad. Los amortiguadores de masa sintonizados minimizan la vibración, garantizando la comodidad de los visitantes. Este emblemático edificio representa la primera aplicación pública a gran escala de la tecnología UHPC en China, convirtiendo la azotea en un espacio público funcional, un punto de encuentro y un símbolo de un logro de la ingeniería y la cultura.

Primer Lugar en la categoría de Estructuras de gran altura



Satsukita 8-1, Sapporo, Hokkaido, Japón

Nominado por: Instituto Japonés del Concreto (JCI)

Propietario: Asociación de Reurbanización Urbana de la Salida Norte 8-1 de la Estación de Sapporo

Empresa de ingeniería: Taisei Design Planners Architects & Engineers

Contratista general y de concreto: Taisei Corporation

Proveedor de concreto: Sanko Precon System Co., Ltd.

Otros: Hokkon Co., Ltd.; Aizawa Concrete Corporation; Hokkaido Taiheiyo Namakon Corporation; Fuji Komuten Co., Ltd.; Kunigami Komuten Corporation

Satsukita 8-1 es el rascacielos más alto de Hokkaido, Japón, con 48 plantas y 175 m de altura. Diseñado para condiciones frías y nevadas. El edificio utiliza armado de concreto para mayor resistencia a terremotos y vientos, con columnas, vigas y refuerzo de cortante de alta resistencia. Aproximadamente el 65% de la estructura se compone de elementos prefabricados, lo que acelera la construcción sin comprometer la calidad. El concreto de ultra alta resistencia, las fibras de polipropileno y los materiales de origen local mejoran la resistencia a las heladas, la robustez y la sostenibilidad. Este emblemático edificio integra innovación estructural, tecnología de construcción y responsabilidad ambiental, transformando una entrada urbana remodelada en un icono arquitectónico moderno.

Segundo Lugar en la categoría de Estructuras de gran altura



Fotografía cortesía de Moris Moreno Photography

El Ayer, Seattle, WA, EE.UU. UU.

Nominado por: Capítulo de Washington del ACI

Propietario: Holland Partner Group

Estudio de arquitectura: Weber Thompson

Estudio de ingeniería: Cary Kopczynski & Company, Inc. (CKC Structural Engineers)

Contratista general: Holland Construction, Inc.

Contratista de concreto: Las Empresas Conco

Proveedor de concreto: Stoneway Concrete

El Ayer es una torre residencial de 45 pisos y 576 000 ft² (53 510 m²) ubicada en Seattle, Washington. Su estructura de concreto armado in situ incluye losas postensadas de 203 mm (8 pulgadas), voladizos perimetrales de hasta 3.7 m (12 pies) y un núcleo de muros de corte para resistencia sísmica y al viento. Las columnas alineadas verticalmente eliminan las vigas de transferencia, mientras que el concreto reforzado con fibras de acero simplifica las vigas de acoplamiento. Las innovadoras técnicas de construcción, incluidas las jaulas de columnas envueltas en

mallas para evitar el encharcamiento de las losas, aceleraron el cronograma. La torre residencial de 454 unidades incorpora concreto estructural innovador y de vanguardia, y apuesta por la sostenibilidad. El Ayer ejemplifica la tecnología de concreto de vanguardia, la innovación estructural y la construcción eficiente de rascacielos.

Primer Lugar en la categoría de Puentes



Sistema Regional de Tránsito Rápido Ferroviario Delhi-Meerut, Meerut, India

Nominado por: Capítulo India del ACI

Propietario: Corporación de Transporte de la Región Capital Nacional (NCRTC)

Empresa de ingeniería: SYSTRA y Consorcio Ayesa-Italferr-Ayesa India

Contratista general: L&T Construction

Contratista y proveedor de concreto: L&T Construction

El primer tren de mediana a alta velocidad de la India, ubicado en Meerut, Uttar Pradesh occidental, conecta nodos regionales mediante un corredor exclusivo, reduciendo el tiempo de viaje entre Delhi y Meerut a 55 minutos. El viaducto de 42 km (26 millas) utiliza vigas cajón segmentadas prefabricadas y pórticos para minimizar las molestias de la construcción. Las mezclas de concreto de alto rendimiento, incluyendo el M60, garantizaron la durabilidad en condiciones de calor extremo, mientras que el agua refrigerada y una logística meticulosa mantuvieron la calidad. Las innovaciones incluyeron brazos de pilares de estación prefabricados en forma de U, concreto autocompactante en zonas congestionadas y colado monolítico. Las medidas ecológicas redujeron las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el uso de arena natural y el consumo de agua.

Segundo Lugar en la categoría de Puentes



Autopista Cebu-Cordova Link, Ciudad de Cebú, Filipinas

Nominado por: Capítulo Filipinas del ACI

Propietario: Corporación de la Autopista Cebu-Cordova Link

Esta autopista de 8.9 km (5.5 millas) en la isla de Mactán, Filipinas, conecta Cordova con la ciudad de Cebú, aliviando la congestión y dinamizando la actividad económica regional. Completada a pesar de los desafíos presentados por la COVID-19 y el supertifón Rai, el proyecto utilizó 185 000 m³ (241 970 yd³) de concreto, aprovechando tecnologías avanzadas como una grúa pórtico de lanzamiento y una pavimentadora de gran diámetro. El diseño de las mezclas de concreto priorizó la sostenibilidad, la durabilidad, la puntualidad y la localización, incluyendo cemento tipo II, cenizas volantes, aditivos para una mayor resistencia inicial y materiales de origen local. Los laboratorios de obra supervisaron de cerca las mezclas para optimizar su rendimiento, mientras que la construcción equilibró cuidadosamente la protección ambiental y las actividades comunitarias, dando como resultado una autopista de peaje resiliente y de clase mundial, un nuevo hito regional.

Primer Lugar en la categoría de Concreto Decorativo



Monumento a los Bomberos de California, Sacramento, CA, EE. UU.

Nominado por: Capítulo del Norte de California y Oeste de Nevada del ACI

Propietario: Fundación de Bomberos de California

Firma de Arquitectura e Ingeniería: Lionakis
Contratista General: Turner Construction Company

Contratista de concreto: Trademark Concrete Systems, Inc.

Proveedor de concreto: Cemex

Otros: Adan Romo - Romo Studios LLC

El Monumento a los Bomberos de California en Sacramento, California, amplía el homenaje existente en Capitol Park, honrando a más de 1 500 bomberos que fallecieron en acto de servicio desde 1850. El monumento combina monumentos, estatuas y un meticuloso diseño de pisos de concreto decorativo para crear un espacio público reflexivo y perdurable. Con 929 m² (10 000 ft²) de pavimento plano de 152 mm (6 in) de espesor con una mezcla de concreto blanco personalizada, incrustaciones de bronce, bancos, pedestales circulares y muros con letreros, el proyecto utilizó 270 m³ (350 yd³) de concreto. La cuidadosa selección de materiales, la artesanía y el diseño coherente convierten al monumento en un logro técnico en concretos decorativos y un significativo hito cívico.

Segundo Lugar en la categoría de Concreto Decorativo



Proyecto de Desarrollo del Campus del Instituto Indio de Tecnología de Hyderabad (Fase 2) – Paquete 3B, Telangana, India

Nominado por: Capítulo de la India del ACI

Propietario: Shapoorji Pallonji Group And Company Private Limited

Estudio de Arquitectura: CCBA Designs

Estudio de Ingeniería: JW Consultants LLP

Contratista General y de Concreto: Shapoorji Pallonji Group And Company Private Limited

El campus de la Fase 2 del Instituto Indio de Tecnología de Hyderabad integra concreto arquitectónico avanzado con encofrados y acabados en aulas, edificios departamentales, comedores y laboratorios centrales. Utiliza más de 10 000 m³ (13 080 yd³) de concreto autocompactable. En concreto, el proyecto presenta losas de casetones, arcos nervados, columnas circulares, murales, escaleras helicoidales y muros perforados. Las vigas pretensadas (PT) y los materiales cementantes suplementarios (SCM), incluido un 25 % de cenizas volantes, mejoran la sostenibilidad a la vez que reducen el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Con énfasis en la estética, la durabilidad y el bajo mantenimiento, este campus ejemplifica el uso innovador del concreto decorativo, creando un entorno de aprendizaje cohesivo y de primer nivel con una expresión arquitectónica funcional y artística.

Primer Lugar en la categoría de Pavimentos



Concreto de Baja Emisión de Carbono: Estación de Carga de Autobuses, Salt Lake City, UT, EE. UU.

Nominado por: Capítulo Intermountain del ACI

Propietario: Roman Cement LLC

Empresa de Ingeniería: CMT Technical Services

Contratista General: Stacy Witbeck

Proveedor de Concreto: Geneva Rock Products, Inc.

Otro: Altaview Concrete

La estación de carga para los autobuses eléctricos de Salt Lake City, Utah, demuestra el uso innovador del concreto de bajas emisiones de carbono mediante la tecnología patentada de Roman Cement LLC. El rediseño de las mezclas de concreto estándar mejoró la hidratación del cemento, la compactación de partículas y la trabajabilidad, a la vez que redujo el consumo de cemento, el costo y las emisiones de CO₂ en un 20 %. Finalizado en septiembre de 2022, el proyecto exhibe una durabilidad excepcional, con mayor resistencia a la compresión y a la flexión, y una mejor reacción álcali-sílice (RAS), prueba de permeabilidad rápida al cloruro (PCRC), resistividad superficial y resistencia a la descamación. Tras tres inviernos, el hormigón no presenta fisuras ni desprendimientos. Este proyecto destaca el alto rendimiento, la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental de las superficies pavimentadas, estableciendo un referente para las aplicaciones de concreto sostenible en infraestructuras públicas.

Segundo Lugar en la categoría de Pavimentos



Proyecto de plataforma y calle de rodaje para la Terminal 3, del Aeropuerto Internacional de Taoyuan (TTIA), Ciudad de Taoyuan, Taiwán.

Nominado por: Instituto de Concreto de Taiwán (TCI)

Propietario: Corporación del Aeropuerto Internacional de Taoyuan

Empresa de ingeniería: BES Engineering Corporation

Proveedor de concreto: Guopu Concrete Industry Co., Ltd.

El proyecto de la Terminal 3 del Aeropuerto Internacional de Taoyuan, en Taoyuan City, Taiwán, implicó la incorporación de más de 13 000 losas rígidas de concreto y una amplia obra de concreto estructural, todo ello bajo operaciones aeroportuarias activas. Diseñado para una vida útil de 30 años, el pavimento está preparado para soportar cargas pesadas de aeronaves, condiciones climáticas extremas y exposición a la salinidad, al mismo tiempo que minimiza los riesgos de objetos extraños (Foreign Object Debris, FOD). Entre las medidas innovadoras se incluyeron: un diseño óptimo de pavimento, uso de materiales puzolánicos para reducir las emisiones de carbono, nivelación de alta precisión mediante la detección y alcance por luz (LiDar), y métodos especializados de curado. Una planeación exhaustiva y un riguroso control de calidad garantizaron la durabilidad, la integridad de las juntas y la planicidad de todas las losas. Este proyecto es un ejemplo de una obra de pavimentos a gran escala y de alto rendimiento, ejecutada bajo complejas condiciones operativas.

Primer Lugar en la categoría de Infraestructura



Romaine-4. Estación de generación, Havre-Saint-Pierre, QC, Canadá.

Nominada por: el Capítulo de Quebec y Ontario del Este del ACI

Propietario: Hydro-Québec

Empresa de Ingeniería: AECOM

Empresa de Arquitectura: Régis Côté et associés (RÉGIS Architecture)

Contratista general: Nordex SE

Proveedor del concreto: Les Excavations Marchand & Fils Inc.

Otros: Armature Trépanier; Pomerleau; EBC; Alstom SA; SBP Entrepreneur; Canmec Industrial Inc

Romaine-4 es la central hidroeléctrica final del complejo Romaine, en Quebec, Canadá, que ahora produce 1550 MW de electricidad limpia. Construido en una región remota de Quebec, el proyecto se basó en una estrecha colaboración con las comunidades locales e indígenas. Los trabajadores enfrentaron condiciones invernales extremas, plazos ajustados y una geología compleja, que incluyó desafíos inesperados en el lecho rocoso. El concreto fue un elemento central del proyecto, presente en la presa masiva, la casa de máquinas, los túneles y las tuberías forzadas. Se utilizaron mezclas especiales y elementos prefabricados para mantener la calidad y acelerar la construcción. La seguridad también fue una prioridad fundamental, con sistemas innovadores que garantizaron operaciones seguras en pendientes empinadas y heladas.

Segundo Lugar en la categoría de Infraestructura



King Salman Energy Park (SPARK), Abqaiq, Provincia Oriental, Reino de Arabia Saudita.

Nominado por: Capítulo de la Provincia Oriental de Arabia Saudita del ACI

Propietario: Saudi Aramco

Firma de arquitectura e ingeniería: Parsons Corporation

Contratista general: China Railway Construction Corporation Limited (CRCC)

Contratista de concreto: Shihb Al Jazira Contracting Co.

Proveedor de concreto: Al-Houssain & Al-Afaliq Co.

Otros: Dar Al-Handasah Consultants

SPARK, una piedra angular de la Visión 2030 de Arabia Saudita, ofrece infraestructura industrial y energética de clase mundial en 14 km² (5.4 millas²) correspondientes a la Fase 1. Para este proyecto en Abqaiq, Arabia Saudita, el concreto fue un elemento central en la construcción de carreteras, servicios públicos, edificios cívicos, instalaciones portuarias secas y estructuras de mantenimiento, que incluyen cimientos profundos tipo losa, columnas, vigas y losas, utilizando mezclas de alto rendimiento y ambientalmente sostenibles. El uso de concreto verde innovador con materiales cementantes suplementarios (SCM) permitió reducir las emisiones de carbono manteniendo la resistencia y durabilidad.

Las condiciones complejas del sitio, los plazos ajustados y los requisitos ambientales exigieron dosificación, colocación y monitoreo precisos. El proyecto ejemplifica la construcción industrial sostenible, combinando tecnología avanzada del concreto con infraestructura de alta calidad, resiliente y comprometida con el medio ambiente.

¡Muchas felicidades a los ganadores de los Reconocimientos a la Excelencia a la Construcción con Concreto 2025!

Convocatoria para Participantes 2026

Los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto destacan las obras excepcionales de construcción en concreto realizadas en todo el mundo. Los proyectos son distinguidos por su grado de innovación, complejidad, logros y el valor que el concreto, como material, aporta. Los proyectos de concreto recientemente completados y nominados son evaluados por un panel independiente de profesionales de la industria, quienes otorgan premios de primer y segundo lugar por categoría. Solo un proyecto se destacará al recibir el Reconocimiento Absoluto a la Excelencia, el cual se entregará la noche del lunes durante la Convención de Otoño de Concreto del ACI.

La fecha límite de presentación de candidaturas es el 1 de abril de 2026.

Requisitos de elegibilidad

Presente su proyecto pagando una cuota de nominación no reembolsable de \$995 USD por proyecto. La cuota de nominación será exonerada para los proyectos nominados por capítulos del ACI o por socios internacionales.

Para mayor información: www.ACIExcellence.org

Título original en inglés:
**Winners of the 11th Annual
ACI Excellence in Concrete
Construction Awards**

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



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

Celebrando la Historia del Concreto: Un tributo a *Luke and Billie Snell*

Por F. Michael Bartlett, Karin T. O'Brien, W. James Wilde, Anne Werner, Jacob L. Borgerson, Kelsey E. Sheridan, Kimberly Waggle Kramer, and Lance Heiliger

El 27 de octubre de 2025, en la Convención de otoño del ACI de 2025, en Baltimore, MD, EE. UU., el Comité 120 del ACI, Historia del Concreto, llevó a cabo una sesión especial titulada “Documentando la Historia del Concreto: Un Tributo a Luke y Billie Snell”, conmemorando sus contribuciones al éxito del Comité. Seis miembros del Comité 120 de ACI realizaron presentaciones basadas en artículos anteriormente escritos por los Snell, los cuales se describen brevemente en este artículo.

Luke y Billie Snell (Fig. 1) han estado activos en el Comité 120 del ACI durante décadas. Luke, Miembro Honorario del ACI, cumplió dos periodos de 6 años como coordinador desde principios de la década de 2000 hasta 2018, y fue sucedido primero por Joe Amon y luego por Rick Yelton. Billie, “Fellow” del ACI, fungió como secretaria del Comité 120 del ACI durante este período. Durante este tiempo, escribieron artículos, realizaron presentaciones y fomentaron un ambiente acogedor en las reuniones del comité. Muchos miembros del Comité 120 del ACI estaban (y están) activos en otros comités del ACI, pero se aseguraban de asistir al Comité 120 porque era el más divertido. Como parte de las presentaciones en la reunión, Luke comenzó una tradición de pedir a los presentes que declararan qué habían estado investigando recientemente en la historia del concreto.

Luke M. Snell, es Consultor de Concreto y Profesor Emérito en la Universidad de Southern Illinois en Edwardsville, Edwardsville, IL, EE. UU., y ha llevado a cabo un extenso trabajo de consultoría sobre construcción y temas relacionados con el concreto en Estados Unidos y a nivel internacional. También ha sido autor de más de 400 artículos sobre concreto, materiales de construcción, educación en construcción y la historia del concreto. Ha trabajado con China, India, Singapur, Taiwán, Túnez y Arabia Saudita para iniciar programas de certificación en concreto. También ha sido presidente del Comité de Actividades de Capítulos;



Fig. 1: Luke y Billie Snell sentados en un anfiteatro Romano en El Jem, Túnez, construido alrededor del año 230 AC (Foto cortesía de Luke Snell)

Comité Asesor Internacional (eliminado); Comité de Actividades Educativas; Comités ACI E702, Diseño de Estructuras de Concreto, y 517, Curado Acelerado del Concreto (eliminado); y fue miembro de la Junta Directiva del ACI.

Billie G. Snell, es una maestra jubilada que se graduó con honores de la Universidad de Southern Illinois Edwardsville, Edwardsville, IL, EE. UU., es miembro de Phi Kappa Phi y Kappa Delta Pi (Capítulo Lambda Theta) y ha servido como tesorera, vicepresidente y presidente del Capítulo. Durante el tiempo que enseñó en los grados 5 a 8, fue honrada con los reconocimientos: Quién es quién de las mujeres del mundo – mujeres sobresalientes en América 2000, Maestra de la Sociedad de Honor Kappa Delta Pi, Beca del Decano de la Universidad, Premio de Educación Dr. Ruth Richardson, Programa de Honores de la Universidad y Lista de Honor Universitaria Nacional. Billie y Luke han coescrito más de 20 publicaciones para educar a los niños en los colegios sobre el concreto y la historia del concreto.

Nos complace compartir estos fragmentos de la presentación de la Sesión Técnica del Comité 120 del ACI en Baltimore, MD.



Fig. 2: Estatua y placa conmemorativa de George Bartholomew en la calle Court en Beaufort, OH, EE.UU. (Foto cortesía de W. James Wilde)

Primera calle de concreto en Estados Unidos—W. James Wilde

George Bartholomew (Fig. 2) construyó la calle de concreto más antigua de Estados Unidos en Bellefontaine, OH, EE. UU., en 1891.¹ El uso del concreto como capa de rodadura del pavimento era, en ese momento, algo sin precedentes. Bartholomew convenció al escéptico concejo de la ciudad sobre las ventajas y durabilidad de esta alternativa, construyendo grandes cunetas de concreto en la calle principal de la ciudad. “Después de varios años de uso excepcionalmente intenso, mostraron tan poco desgaste y brindaron tal satisfacción que el ingeniero de la ciudad decidió probar esta forma de construcción para los pavimentos de las calles.”²

Las losas del pavimento, formadas en cuadrados de 5 pies (1.5 m) con papel bituminoso en las juntas, consistían en un pavimento de concreto Portland de dos capas: una “base” de concreto de 4 in. (100 mm) con un tamaño máximo de agregado de 1-1/2 in. (40 mm) y una capa de rodadura de 2 in. (50 mm) con un tamaño máximo de agregado de 1/2 in. (13 mm). La arena, la piedra y el cemento se mezclaban con mezcladoras de tornillo manuales y se compactaban en las formaletas, atrapando un 8% de aire en el proceso. Los Snell acreditan a James C. Wonders, ingeniero del condado de Logan, el diseño del pavimento y la dirección de la construcción.

La Exposición Internacional de Chicago de 1893 otorgó a Bartholomew el primer lugar por el Avance de la Tecnología de Ingeniería en Materiales para Pavimentos, por su revolucionario logro. Así comenzó una larga historia de celebración de la “Primera calle de concreto en Estados Unidos” a través de ceremonias a nivel nacional, un Jubileo de Oro, desfiles, venta de postales y platos conmemorativos, y la coronación de una Señorita Pavimento de Concreto. Bellefontaine celebró el centenario de la construcción en 1991, y el pavimento de concreto original todavía soporta tráfico ligero.

La presentación también destacó las contribuciones de Luke Snell para documentar y preservar esta historia, haciendo hincapié en la evolución de la tecnología del concreto, de manera concurrente con la trayectoria de su carrera en la industria del concreto.

El Canal Erie—La Primera Aula de Concreto de América—Anne Werner

En 1800, la frontera occidental de los Estados Unidos era el río Mississippi. Con la compra de Luisiana en 1803, el país más que duplicó su tamaño. La expansión hacia el oeste había comenzado, creando



Fig. 3: Compuerta en el Canal Erie. (Foto cortesía de Judy Snell, cuñada de Luke y Billie Snell)

la necesidad de infraestructura de transporte para acomodar a la nación en crecimiento. En ese momento, el modo de transporte más eficiente era por agua. En toda Europa (particularmente en Inglaterra), las vías fluviales, incluidos los canales, eran el modo preferido.³

El Canal Erie (Fig. 3) se construyó entre 1817 y 1825, abarcando 363 millas (584 km) entre el río Hudson en Albany, NY, EE. UU., y el lago Erie en Buffalo, NY. Fue la primera vía navegable artificial importante en los Estados Unidos. El diseño y la construcción del canal marcaron el inicio de la ingeniería civil como profesión en Estados Unidos y el desarrollo de la fabricación nacional de cemento hidráulico.⁴ Canvass White, asistente de Benjamin Wright, quien fue el Ingeniero Jefe para la construcción del canal, fue enviado a Inglaterra en 1817 por el Gobernador de Nueva York para estudiar los sistemas de canales y sus materiales y métodos de construcción.⁵ Allí observó cómo se fabricaba el cemento hidráulico, y al regresar a Estados Unidos, experimentó con materiales locales para intentar producir un cemento hidráulico natural. En ese momento, el cemento hidráulico tenía que ser importado porque no estaba disponible a nivel nacional. White finalmente patentó su propio cemento hidráulico en 1820, que era más barato y de mejor calidad que el utilizado en Inglaterra.⁶ Este cemento se utilizó en el Canal Erie y en varios otros para pegar y rellenar las juntas de la mampostería.

El Canal Erie se ensanchó varias veces para acomodar embarcaciones más grandes. A pesar de la introducción de los ferrocarriles a mediados del siglo XIX, un modo de transporte más eficiente que los canales, el Canal Erie continuó en funcionamiento y aún hoy está abierto al tráfico.⁷ El arduo trabajo de White y de sus colegas ingenieros facilitó el desarrollo de la fabricación de cemento hidráulico en Estados Unidos, así como la promoción de la ingeniería civil como profesión.

Presa Hoover: Jacob L. Borgerson

Terminada en 1936, los 3.25 millones de yardas cúbicas (2.5 millones de m³) de concreto en la presa Hoover (Fig. 4) la convirtieron en la primera estructura hecha por el hombre en superar la masa de mampostería de la Gran Pirámide de Giza en Giza, Egipto. El material de este la presentación se basa en la investigación original de Luke y Billie Snell⁸ que se presentó en el “*World of Concrete*” durante más de 15 años.

Considerada como una de las mayores hazañas de ingeniería del siglo XX, la construcción de esta enorme presa de gravedad de arco de concreto en el Cañón Negro del río Colorado, requería técnicas innovadoras en la producción y manejo del concreto. El Congreso aprobó fondos para la construcción en 1930, y las 100 páginas de especificaciones con 76 planos salieron a licitación a 5 dólares americanos por juego. Las ofertas se abrieron el 4 de marzo de 1931 y la empresa Six Companies Inc., de California, se ganó el contrato. Los trabajadores, que ganaban entre 60 y 75 centavos por hora, experimentaron condiciones de trabajo terribles con temperaturas a menudo superiores a los 100 ° F (38 ° C). El programa de construcción de 24 horas hacía que trabajar en el turno nocturno fuera un placer. Las plantas de concreto comenzaron a operar en el sitio en 1932, y el primer concreto se colocó el 6 de junio de 1933. Las plantas de concreto podían producir 24 yd³ (18 m³) de concreto cada 3 minutos, y el total diario colocado récord superó los 10 000 yd³ (7 645 m³). Se utilizó cemento tipo IV, con C₃A reducido y C₂S aumentado, para reducir el calor de hidratación. El concreto tenía una resistencia a la compresión de 3 030 psi (21 MPa) a los 28 días y de 4 290 psi (30 MPa) a 1 año. Cubos de 4 y 8 yd³ (3 y 6 m³) suspendidos de teleféricos trasladaban el concreto al lugar de trabajo. La presa se curó con agua: durante el verano, el único trabajo de 20 hombres era rociar agua sobre la superficie de la presa. Se instalaron tuberías de una pulgada (25 mm), que transportaban agua del río y agua refrigerada dentro del concreto para proporcionar enfriamiento; estas se cortaban y se rellenaban con lechada a presión cuando se completaba el enfriamiento en una sección.

Se realizó un excelente trabajo de control de calidad mediante un laboratorio de ensayos de última generación. Para obtener cilindros con una dimensión mínima de cuatro veces el tamaño máximo del agregado, se probaron cilindros de 36 x 72 pulgadas (914 x 1 829 mm) en una máquina de pruebas de 4 millones de libras (1.8 millones de kg).



Fig. 4: Presa Hoover (Foto cortesía de W. James Wilde)

Noventa y seis trabajadores murieron durante la construcción, sin incluir los casos de agotamiento por calor que mataron a un trabajador cada dos días en el verano de 1931. Se reconoció que los trabajadores necesitaban beber agua.

Muchas instalaciones para la construcción de la presa, incluida una instalación de lavado de agregados y la planta de carga de grava a ferrocarril, siguen siendo visibles bajo el agua en el embalse creado por la presa.

Concreto para cementerios—Kelsey E. Sheridan y Kimberly Waggle Kramer

Billie Snell y Debbie Amon presentaron su investigación sobre la durabilidad y el significado histórico del concreto para cementerios en un artículo en *Concrete International* en 2006.⁹ Los cementerios de Nueva Orleans, a menudo llamados “Ciudades de los Muertos”, son reconocidos por su belleza arquitectónica y su parecido con pequeñas ciudades (Fig. 5). Filas de tumbas, construidas con ladrillo y cubiertas con mortero de cemento o estuco de cal y cemento, están organizadas como calles de la ciudad, reflejando divisiones sociales basadas en la riqueza, la religión y el estatus social.



Fig. 5: Vista del Cementerio de San Luis Núm 3 en Nueva Orleans, LA, EE.UU. (Foto cortesía de K.E. Sheridan)



Fig. 6: Luke Snell explicando los procedimientos de los ensayos a estudiantes en Etiopía. (Foto cortesía de Luke Snell)

La presentación examinó las prácticas históricas de inhumación y mantenimiento de tumbas, con un enfoque en el papel de materiales como la cal y el cemento en la construcción y preservación de criptas y mausoleos. Se mostró cómo la introducción del cemento Portland abrió nuevas posibilidades en la construcción. Este material podía moldearse en formaleas, lo que permitía a los constructores experimentar con vanos más grandes, perfiles más delgados y estilos arquitectónicos que impulsaban la evolución del diseño. Al mismo tiempo, su adopción a menudo generaba desafíos cuando se combinaba con las antiguas tradiciones de mampostería. La naturaleza más dura de los morteros de cemento a veces causaba deterioro en la piedra y el ladrillo históricos, revelando tanto la promesa como las consecuencias no deseadas de este cambio tecnológico. Mientras Nueva Orleans trabaja para preservar y reconstruir su patrimonio, abordar estos desafíos sigue siendo crucial para proteger el legado único de las “Ciudades de los Muertos”.

Inicio de la Certificación—Lance Heiliger

Luke Snell fue invitado a conmemorar el 25º aniversario del Programa de Certificación del ACI escribiendo un artículo en *Concrete International* sobre los orígenes y la evolución de la certificación en la industria del concreto.¹⁰ Snell cita el apoyo del entonces Presidente de ACI, John McLaughlin, al desarrollo de un programa de certificación en su Memorandum del Presidente de enero de 1980 en *Concrete International*, en el que señalaba que, aunque los barberos deben participar en un programa de capacitación y un examen para ser calificados según un conjunto de estándares, «...no tengo tal garantía con respecto a las calificaciones de los técnicos que, en gran medida, están a cargo día a día de la calidad de la construcción de concreto o de los proyectos en muchas partes de los Estados Unidos.»

El artículo ilustra el desarrollo de las pruebas estandarizadas, las medidas de control de calidad y los programas de capacitación que han dado forma a las prácticas modernas de construcción (Fig. 6). La discusión destaca los hitos clave, el papel de las organizaciones de la industria y el impacto de la certificación en garantizar estructuras de concreto duraderas y fiables. Al reflexionar sobre esta historia, la presentación subraya la importancia de la certificación para promover el profesionalismo, la seguridad y la innovación en la industria del concreto.

Construcción en la Biblia—Karin T. O'Brien

Luke Snell escribió una serie de cuatro artículos en Arizona Contractor and Community sobre el uso de materiales de construcción en tiempos bíblicos.¹¹⁻¹⁴ Su investigación examina técnicas de construcción antiguas, incluido el uso de morteros a base de cal, cementos naturales y aplicaciones tempranas de concreto y mampostería en estructuras como la Torre de Babel, el Templo de Salomón y los acueductos romanos. Analizando textos históricos y evidencias arqueológicas, Luke da luces sobre cómo las civilizaciones antiguas abordaban el presupuesto, la programación y la seguridad en el lugar de trabajo, lo que influyó en la tecnología de construcción moderna. Esta discusión conecta el ingenio antiguo con la ingeniería contemporánea, revelando la importancia perdurable del concreto en la historia de la humanidad.

¡Mantente atento!

La sesión técnica del Comité 120 de ACI en Baltimore contó con una buena asistencia y fue muy bien recibida. Esperamos realizar una sesión de seguimiento en una futura Convención del ACI: hay muchas más publicaciones de Luke y Billie para celebrar.

Una colección de sus publicaciones está disponible en https://acimissouri.org/LukeBillie_Snell.

Referencias

1. Snell, L.M., and Snell, B.G., “Oldest Concrete Street in the United States,” *Concrete International*, V. 24, No. 3, Mar. 2002, pp. 72-74.
2. Chubb, J.H., “Cost and Value of Concrete Pavements,” *ACI Journal Proceedings*, V. 5, No. 1, Jan. 1909, pp. 356-357.
3. Spangenburg, R., and Moser, D.K., *The Story of America's Canals*, Facts on File, Inc., New York, NY, 1992, 82 pp.

4. Thompson, L., The Erie Canal, Rourke Publishing, Co., Vero Beach, FL, 2005, 48 pp.
5. Snell, L.M., and Snell, B.G., "The Erie Canal – America's First Concrete Classroom," Concrete International, V. 18, No. 12, Dec. 1996, pp. 63-64.
6. McKee, H.J., "Canvass White and Natural Cement, 1818-1834," Concrete International, V. 1, No. 6, June 1979, pp. 39-42.
7. The Erie Canalway, National Heritage Corridor website, "The Canal System Today," <https://eriecanalway.org/learn/history-culture/canal-today>. (last accessed Oct. 10, 2025)
8. Snell, L.M., "Hoover Dam 1931-1935," World of Concrete presentation, 2025, <https://acimissouri.org/downloads/Articles/hooverdam.pdf>. (last accessed Oct. 10, 2025)
9. Snell, B.G., and Amon, D.L., "Graveyard Concrete," Concrete International, V. 28, No. 3, Mar. 2006, pp. 66-67.
10. Snell, L.M., "How ACI's First Certification Program Got Its Start," Concrete International, V. 27, No. 10, Oct. 2005, pp. 27-31.
11. Snell, L., "Construction in the Bible: Materials," Arizona Construction & Community, V. 8, No. 5, Sept.-Oct. 2019.
12. Snell, L.M., "Construction in the Bible: Materials: Part 2," Arizona Construction & Community, V. 8, No. 6, Nov.-Dec. 2019.
13. Snell, L., "Construction in the Bible: Techniques," Arizona Construction & Community, V. 9, No. 1, Jan.-Feb. 2020.
14. Snell, L., "Construction Techniques in the Bible," Arizona Construction & Community, V. 9, No. 6, Nov.-Dec. 2020

W. James Wilde es profesor y director del Departamento de Tecnología de la Ingeniería en la Universidad Estatal de Texas, San Marcos, TX, EE. UU. Es miembro de los comités del ACI S802, Métodos de Enseñanza y Materiales Educativos; 120, Historia del Concreto; 121, Sistemas de Aseguramiento de la Calidad para Concreto; 325, Pavimentos de Concreto; y 555, Concreto con Materiales Reciclados. Se desempeñó como presidente del Capítulo del ACI de San Antonio en 2022 y continúa sirviendo como miembro de la Junta Directiva del capítulo.



Anne Werner, es Profesora Asociada de Ingeniería de la Construcción en la Universidad del Sur de Illinois, Edwardsville, IL, EE. UU. Se desempeñó como oficial del CEC (capacidad de compromiso cooperativo) en la Marina de los Estados Unidos y ha trabajado para Black & Veatch, el Departamento de Transporte de Missouri, Ferrocarril BNSF y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. Es miembro de los Comités ACI 120, Historia del Concreto; 124, Estética del Concreto; Comité 236-Grupo de Trabajo (TG) 1, Técnicas Avanzadas de Análisis para Concreto, y Comité Conjunto 308-310-TG2, Curado de Concreto Decorativo. Sus intereses de investigación incluyen materiales de construcción, historia de la construcción y sostenibilidad.



F. Michael Bartlett, FACI, es Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Western Ontario en London, ON, Canadá. Al retirarse en 2019, obtuvo su Maestría en Artes en Historia de la Universidad de Western, London, ON, Canadá, y ahora disfruta de la vida en esa parte del diagrama de Venn donde la historia se cruza con la ingeniería estructural. Es presidente del Comité 120 del ACI, Historia del Concreto, y miembro del Comité 353 del ACI, Evaluación Basada en Estadística de Estructuras de Concreto Existentes.



Karin T. O'Brien es la directora ejecutiva del Capítulo de Missouri del ACI. Es presidenta del Comité C630 de IACI, Certificación de Inspectores de Construcción; secretaria de los Comités E702 del ACI, Diseño de Estructuras de Concreto, y 120, Historia del Concreto; y miembro del Comité de Actividades del Capítulo del ACI y del Comité C631 del ACI, Certificación de Inspectores de Construcción de Transporte de Concreto. Reside en Chesterfield, MO, EE. UU.



Jacob L. Borgerson es consultor en Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. Borgerson es asesor en la construcción de concreto en múltiples áreas, incluyendo fisuración, defectos de colocación/acabado, baja resistencia a la compresión, prácticas de construcción, concreto masivo, operaciones de concreto premezclado, especificaciones, pruebas de campo y reparación de estructuras existentes. Es profesor adjunto en la Universidad de Houston, Houston, TX, EE. UU. Recibió su doctorado en Ingeniería de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Champaign. Es ingeniero profesional con licencia en varios estados, incluyendo Texas.



Kelsey E. Sheridan, miembro del ACI, es ingeniero senior en WDP & Associates, especializada en investigaciones forenses de fallas, deterioro y daños en la construcción, con enfoque en estructuras de concreto. Su experiencia incluye evaluaciones del estado, diagnóstico de materiales y diseño de reparaciones tanto para estructuras modernas como históricas. Es secretaria del Comité 364 del ACI, Rehabilitación, y miembro del Comité 546 del ACI, Reparación, y del Subcomité 562-C del ACI, Evaluación de Cargas y Estado. También forma parte de la Junta Directiva de SEA-MW y orienta a estudiantes locales a través del Programa ACE Mentor.



Kimberly Waggle Kramer, FACI, es Profesora en la Universidad Estatal de Kansas, Manhattan, KS, EE. UU., y copropietaria de KDK Engineering, LLC. Tiene más de 35 años de experiencia en ingeniería estructural y más de 20 años de experiencia académica. Es presidente del Comité de Actividades Educativas (EAC) del ACI y del Comité 551 del ACI, Construcción de Concreto "Tilt-Up"; expresidente de los Comités E702 del ACI, Diseño de Estructuras de Concreto, y 124, Estética del Concreto, y del Subcomité 130-G de ACI, Educación; y miembro de la Junta Directiva del ACI. Nombrada por el gobernador de Kansas en la Junta Estatal de Profesionales Técnicos de Kansas (KBTP), Kramer, expresidente de KBTP, promueve su pasión por la ingeniería estructural.



Lance Heiliger, es Gerente de Servicios Técnicos en Standard Materials Group en Rogers, AR, EE. UU. Es miembro del Comité de Actividades Educativas del ACI; del Comité 211 del ACI, Dosificación de Mezclas de Concreto; y del Subcomité 201-H del ACI, Reacciones de los Agregados.



Título original en inglés:
**Celebrating Concrete History:
A Tribute to Luke and Billie Snell**

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



*Traductor y
Revisor Técnico:*
**Ing. Pedro Nel
Quiroga**

Evolución del Código ACI-562-25

Capítulo 8: Refuerzo y detallado del armado para la evaluación, reparación y rehabilitación estructural

Por Lisa R. Feldman

Estructuras de Concreto Existentes—Lecciones Aprendidas y Avances en Soluciones

El Comité ACI 562, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, se esfuerza para avanzar en la ingeniería y mejorar la reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes. El Comité está dedicado a brindar apoyo a ingenieros, funcionarios de construcción, contratistas, propietarios, inspectores, y otros profesionales, proporcionando información con mayor detalle del que es posible ofrecer únicamente a través del Código ACI-562. Con este fin, y con la intención de mejorar los documentos del comité, sus miembros ofrecen una serie de artículos bajo el tema principal, “Estructuras de concreto existentes—Lecciones Aprendidas y Avances en Soluciones.”

A través de esta serie, los miembros del Comité esperan explicar el motivo detrás de algunos cambios en el Código ACI 562, así como compartir ejemplos de problemas, ideas, conceptos y reflexiones discutidos en las reuniones del Comité ACI 562. Además, se espera que la serie ayude al Comité a atender preguntas provenientes de los sectores de la ingeniería y la construcción, solicitar respuestas a diversos problemas y revisar las áreas que requieren investigación y futuro desarrollo del código.

Cada artículo abordará un tema relacionado a la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes. Los temas serán seleccionados con la intención de aumentar la conciencia, mejorar la comprensión, y expandir las perspectivas relacionadas a este importante tema.

En enero de 2025, el Código ACI-562-25: Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto—Código y Comentario,¹ estuvo disponible en la plataforma ACI PLUS y ahora se encuentra disponible en formato impreso y PDF. El principal objetivo del ciclo del código 2025 fue incorporar información técnica en este Código y dio como resultado, en parte, la creación de un nuevo Capítulo 8, titulado “Detalles de Refuerzo y Condición para la Evaluación Estructural y el Diseño de la Reparación”. Si bien en esta etapa no está de ninguna manera completo, el Capítulo 8 actualmente incluye definiciones y tipos de barras de refuerzo de acero históricas; longitudes de desarrollo y empalme para la evaluación estructural y el diseño de la reparación; y consideraciones de diseño de la reparación para acero dulce corroído y refuerzo pretensado. Este artículo proporciona contexto e información sobre algunos de los aspectos más novedosos ahora incluidos, así como posibles nuevas directrices para este capítulo en la próxima edición del Código, programada para publicarse en 2031.

Barras De Refuerzo Históricas

La construcción moderna con concreto reforzado se introdujo en los Estados Unidos en la década de 1880. En ese momento, las barras de refuerzo de acero eran de carácter patentado y, por tanto, como se muestra en la Fig. 1, cada fábrica estaba obligada a producirlas con geometrías únicas. Las barras tenían una variedad de formas en sección transversal, incluyendo redonda (Fig. 1(d) y (e)), cuadrada (Fig. 1(b) y (c)), romboidal (Fig. 1(a)) y elíptica (Fig. 1(f)). Incluían rebordes distintivos (Fig. 1(a)), deformaciones elevadas (Fig. 1(c) y (e)), roscas (Fig. 1(d)), hendiduras (no mostradas), perforaciones (no mostradas), y otras deformaciones indescriptibles (Fig. 1(b)) creadas, en este caso, mediante el aplastamiento de la barra a intervalos cortos para mejorar su adherencia con el concreto circundante. Ernest Ransome³ patentó un proceso para torcer plásticamente barras cuadradas lisas alrededor de su eje longitudinal (Fig. 1(b)) con el fin de incorporar efectivamente deformaciones en estas barras. Las barras lisas (en otras palabras, barras sin ninguna deformación) también se permitieron hasta incluso en la edición de 1963 de la ACI 318.⁴ Ninguna de estas barras cumple con los requisitos especificados en ASTM A615/A615M⁵ o ASTM A706/A706M⁶ para barras deformadas.

La Figura 2 muestra que los mecanismos de transferencia de fuerza (también conocidos como adherencia) con el concreto varían según la geometría de la barra. En cada caso mostrado,

un tramo de barra de refuerzo con una geometría particular está embebido concéntricamente en un cilindro de concreto. Se aplica la tensión para extraer la barra del concreto circundante y la superficie inferior del cilindro de concreto normalmente se apoya contra el aparato de ensayo. Tres mecanismos de adherencia resisten la extracción de una barra deformada que cumple con alguno de los estándares actuales de ASTM International^{5,6}, como se muestra en la Fig. 2(a): 1) adhesión entre la barra y el concreto circundante antes de que la barra comience a deslizarse; 2) fricción por deslizamiento entre la barra y las partículas que se desprenden de la interfaz con el concreto luego de la pérdida de adhesión; y 3) anclaje mecánico de las deformaciones que hacen contacto contra el concreto circundante durante el deslizamiento de la barra. La magnitud y orientación de las fuerzas de contacto dependen de la geometría de las deformaciones de la barra, definida por su espaciamiento, altura y ángulos superficiales. Por ejemplo, la Fig. 2(b) muestra que una barra cuadrada torcida incluye los mismos tres mecanismos de adherencia que una barra típicamente deformada, pero que las fuerzas de anclaje mecánico cambian de orientación según el ángulo de la superficie de la barra a lo largo de su longitud. En contraste, una barra lisa (Fig. 2(c)) solo puede resistir la adherencia mediante adhesión y fricción por deslizamiento, dado que no presenta deformaciones que hagan contacto contra el concreto circundante. Por lo tanto, las barras lisas son menos eficaces en adherencia que

las barras típicamente deformadas^{2,7} y requieren mayores longitudes de desarrollo y empalme. Las barras cuadradas retorcidas presentan un mejor comportamiento de adherencia que las barras lisas, pero generalmente no son tan eficaces como las barras deformadas típicas.⁸

Todos estos tipos históricos de barras se utilizaron en estructuras de concreto reforzado en Canadá y Estados Unidos hasta aproximadamente mediados de la década de 1950, y dichas estructuras aún se encuentran en servicio. Algunos ejemplos incluyen el Puente Centre Street en Calgary, AB, Canadá⁹; el Puente Hillhurst Louise en Calgary¹⁰; y el ejemplo, convenientemente cercano, del Edificio Peter McKinnon, ubicado en el campus de la Universidad de Saskatchewan en Saskatoon, SK, Canadá (Fig. 3). Algunas de estas estructuras se consideran edificaciones históricas, por lo que su preservación es esencial. Cualquier reparación, por lo tanto, requiere la capacidad de evaluar la resistencia de los elementos estructurales reforzados con estos tipos históricos de barras. La edición de 1963 del Código ACI-318 fue la última en incluir disposiciones para el esfuerzo de adherencia de barras lisas, y nunca se han incluido disposiciones en ediciones pasadas del Código ACI-318 para barras cuadradas retorcidas. Esto deja a los ingenieros de rehabilitación con la tarea difícil de evaluar adecuadamente longitudes de desarrollo y empalme de estas barras, así como cuantificar la capacidad de los elementos estructurales que han sido reforzados con ellas.

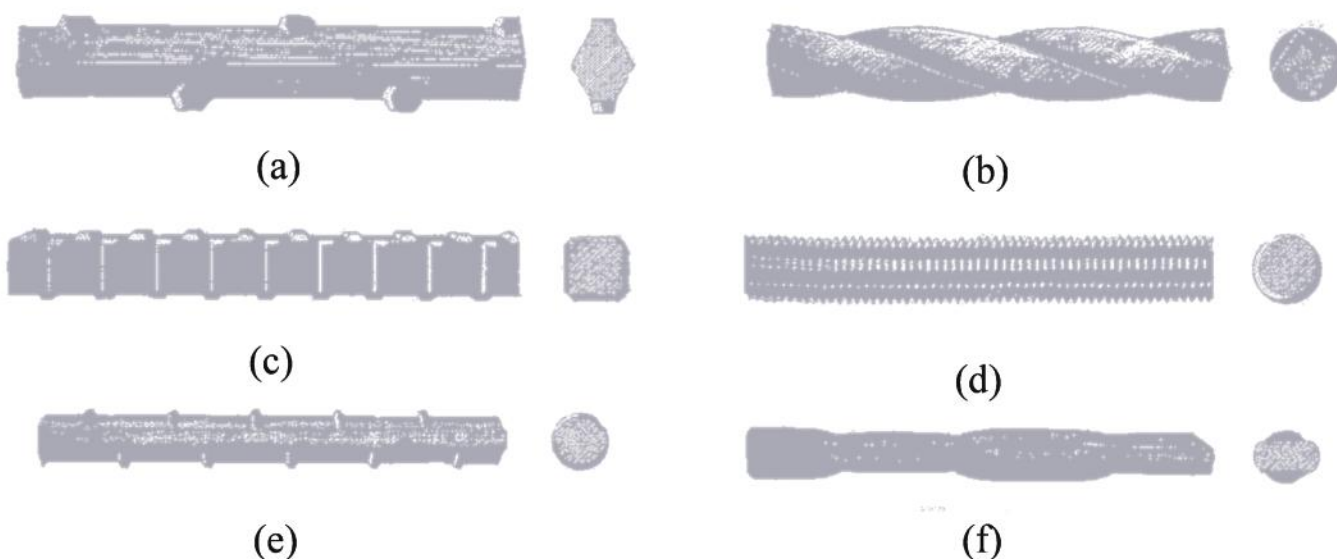


Fig 1: Barras de refuerzo de acero históricas: (a) barra de orejeta recta; (b) barra cuadrada retorcida; (c) barra cuadrada corrugada; (d) barra redonda roscada; (e) barras redondas onduladas; y (f) barra de bombilla Thatcher (después de Abrams⁹)

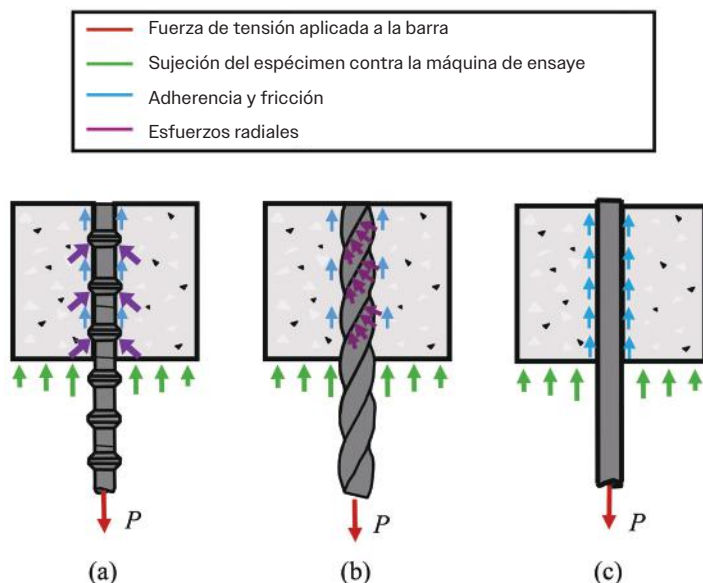


Fig 2. Fuerzas de adherencia a lo largo de las barras de refuerzo: (a) barra corrugada; (b) barra cuadrada retorcida; y (c) barra lisa.

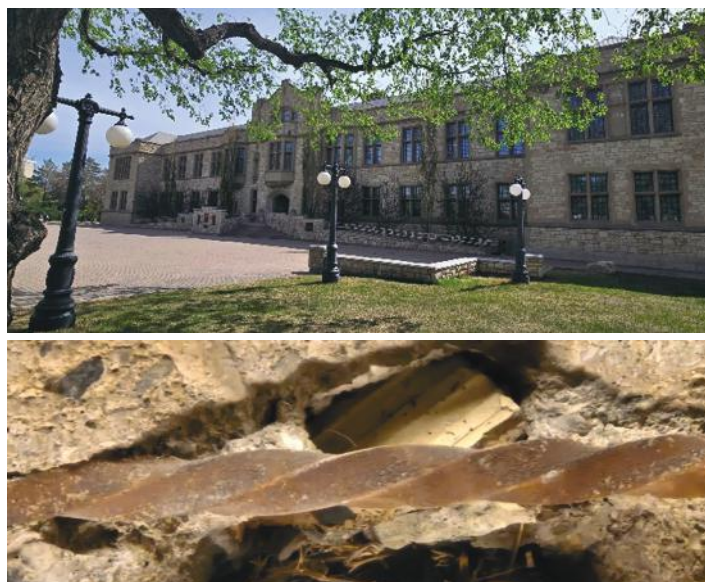


Fig. 3: Edificio Peter McKinnon en el campus de la Universidad de Saskatchewan: (a) vista general; y (b) puerto de inspección que muestra una barra cuadrada retorcida reforzando la losa del piso principal (fotos cortesía de L.R. Feldman)

Evolución del Código ACI-562 Requisitos para el Empalme y Desarrollo de Barras de Refuerzo

El Código ACI-562 siempre ha proporcionado medios para evaluar las longitudes de desarrollo y de empalme por traslape de tipos históricos de barras de refuerzo. La Sección 6.1.2 del Código ACI-562-13 establecía que: “Debe realizarse una evaluación estructural si, durante la evaluación preliminar..., se determina que un elemento existente, partes de una estructura o la estructura completa presentan signos de deterioro, deficiencia estructural o comportamiento que es inconsistente con los documentos disponibles de diseño y construcción o con los requisitos del código vigente al momento de la construcción.”¹¹ Este mismo requisito se incluyó en el Código ACI-562-16.¹² Aplicado al detalle del refuerzo, el desarrollo y el empalme se consideran adecuados si las longitudes cumplen con lo mostrado en los planos de diseño disponibles y con los requisitos del código que gobernaba la fase de diseño del proyecto.

Se identificaron desafíos con el enfoque proporcionado en estas primeras ediciones del Código ACI-562. Las fechas originales de construcción del proyecto generalmente no se conocen con certeza.

El periodo en el que se realizó el diseño estructural es aún más difícil de establecer y puede abarcar entre ediciones sucesivas del código. Por lo tanto, puede resultar complicado determinar qué edición del código se habría seguido para un proyecto, especialmente considerando que las disposiciones

para la adherencia del acero de refuerzo se saben que varían ampliamente entre ediciones históricas consecutivas del Código ACI-318.¹³ Se sabe que los esfuerzos de adherencia no son muy uniformes a lo largo de la longitud de la barra^{2,14,15} y convertirlos en longitudes apropiadas de desarrollo y empalme por traslape no es algo que pueda lograrse fácilmente.

En 2017, Feldman y Cairns¹³ publicaron los resultados de un estudio que evaluó la seguridad estructural de las predicciones históricas del Código ACI-318 para los esfuerzos de adherencia permisibles. Las predicciones del código se compararon con los resultados de especímenes de empalme por traslape y de extremo de viga reforzados con barras lisas redondas o cuadradas, colocadas en posición superior o inferior durante el colado. Los hallazgos mostraron que las disposiciones en todas las ediciones del código evaluadas —desde las Regulaciones Estándar de Construcción para el Uso de Concreto de 1910¹⁶ hasta los enfoques de diseño por esfuerzo admisible y resistencia última incluidos en la Norma ACI 318 de 1963⁴— no proporcionan una seguridad adecuada para barras coladas en la posición superior, aunque la mayoría son razonables para barras redondas coladas en la posición inferior. Este trabajo fue presentado al Comité 562 del ACI. Por lo tanto, la Sección 4.2.4 del Código ACI-562-21¹⁷ se enfocó en el detallado del refuerzo existente durante trabajos de reparación, pero aún permitió el cumplimiento con el código de construcción original, siempre que todos los daños y deterioros del refuerzo sean atendidos y que la capacidad del elemento exceda su demanda. Sin embargo, la Sección de Comentarios R4.2.4 reconoce que “las

investigaciones han demostrado que las ecuaciones de longitud de desarrollo de versiones anteriores del ACI 318 pueden ser no conservadoras para barras de acero de refuerzo colocadas en la parte superior.”¹⁷

La base de datos de especímenes posteriormente fue ampliada y utilizada para desarrollar una ecuación basada en fiabilidad para la longitud de desarrollo y de empalme por traslape ℓ_d en pulgadas⁷ para barras lisas redondas y cuadradas, calibrada de acuerdo con la práctica de los Estados Unidos:

$$\ell_d = \frac{0.073\psi_t d_{b,eq} f_y}{\sqrt{\frac{c_b}{d_{b,eq}} f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.2) en el Código ACI-562-25})$$

donde ψ_t es el factor de refuerzo, igual a 1.7 o 2.5 cuando se colocan más de 12 in. (305 mm) de concreto fresco por debajo de barras horizontales lisas cuadradas o redondas, respectivamente, y es igual a 1.0 en caso contrario; $d_{b,eq}$ es el diámetro nominal de una barra redonda o el diámetro equivalente de una barra cuadrada en pulgadas; c_b es la menor distancia desde la superficie de concreto (lateral, superior o inferior) hasta el centro de la barra, en pulgadas; f_y es el esfuerzo de fluencia especificado en psi; y f'_c es la resistencia a compresión del concreto especificada en psi. La Ecuación (8.3.1.2) es similar en forma a la Ec. (24.4.2.4a) del Código ACI -318-25¹⁸ para barras deformadas, con la excepción de la inclusión de una raíz cuadrada sobre el cociente $c_b/d_{b,eq}$ en el denominador. Una sola deformación dentro de la longitud de desarrollo de una barra deformada crea anclaje mecánico al hacer contacto contra el concreto circundante cuando inicia el deslizamiento de la barra, lo que genera una relación que varía linealmente, pero no proporcionalmente, con la longitud de desarrollo.¹⁹ La ausencia de deformaciones en las barras lisas genera la necesidad física de una relación lineal y proporcional, lo cual fue considerado al evaluar el efecto del confinamiento producido por el recubrimiento de concreto para estas barras.⁷ La Ecuación (8.3.1.2) puede utilizarse de manera conservadora para evaluar la longitud de desarrollo de barras deformadas que no cumplen los requisitos de ASTM A615/A615M⁷ o ASTM A706/A706M⁶, ya sea por su geometría original de fabricación o por pérdida de sección debida a la corrosión.

También se ensayaron especímenes con empalmes por traslape reforzados con barras cuadradas retorcidas en frío⁸ para desarrollar una ecuación similar para la longitud de desarrollo y de empalme de estas barras:

$$\ell_d = 0.04\psi_s \psi_s d_{b,eq} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.3) en el Código ACI-562-25})$$

donde ψ_s es el factor de tamaño del refuerzo, igual a 1.0 para barras cuadradas retorcidas de 1 x 1 in. (25.4 x 25.4 mm) o mayores, y 0.7 en caso contrario; y ψ_t es igual a 1.7 si se colocan 12 in. (305 mm) o más de concreto fresco por debajo de una barra horizontal, y 1.0 en caso contrario.

El detallado del refuerzo se relaciona tanto con la evaluación como con la reparación, por lo que dicha información no pertenecía ni al Capítulo 6, Evaluación, Análisis y Diagnóstico, ni al Capítulo 8, Diseño de Reparaciones. Por lo tanto, la investigación actualizada proporcionó el impulso para el desarrollo del Capítulo 8, Detalles y Condición del Refuerzo para la Evaluación Estructural y el Diseño de las Reparaciones, que es nuevo en la edición del Código 2025.¹

Capítulo 8—Una Mirada Hacia el Futuro

El ciclo del código 2025 representó un primer paso para abordar aspectos relacionados con el refuerzo y el detallado en la evaluación y reparación estructural. Aún quedan muchos temas por tratar. Por lo tanto, el ciclo del código 2031 será el primero en presentar un subcomité dedicado al refuerzo y detalles (Subcomité ACI 562-G), con la misión de actualizar el Capítulo 8. Algunos elementos previstos para el nuevo ciclo del código incluyen abordar ganchos con geometrías que no cumplen los requisitos del Código ACI-318-25, y evaluar miembros de concreto cuando no se cumplan los requisitos mínimos de estribos en vigas y amarres en columnas exigidos por el Código ACI-318-25.

Mejorar la calidad y el contenido del Capítulo 8 también requiere la participación de los usuarios del Código ACI-562. Por favor, proporcione comentarios al autor de este artículo o solicite unirse al Subcomité ACI 562-G, Refuerzo y Detallado, para el ciclo del código 2031.

Para concluir, me gustaría expresar mi gratitud a todos los voluntarios que trabajaron diligentemente para llevar a cabo el Capítulo 8 del Código ACI-562-25 y mejorarlo desde su primer borrador bien intencionado hasta su versión publicada.

Referencias

1. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 130 pp.
2. Abrams, D.A., "Tests of Bond Between Concrete and Steel," University of Illinois Bulletin No. 71, University of Illinois, Champaign, IL, 1913, 240 pp.
3. Hurd, M.K., "Ernest L. Ransome – Concrete Designer, Contractor," Concrete International, V. 18, No. 5, May 1996, pp. 50–51.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI CODE-318-63)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1963, 148 pp.
5. ASTM A615/A615M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 8 pp.
6. ASTM A706/A706M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, 2024, PA, 9 pp.
7. Feldman, L.R.; Poudyal, U.; and Cairns, J., "Proposed Development Length Equations for Plain Bars," ACI Structural Journal, V. 115, No. 6, Nov. 2018, pp. 1615-1623.
8. Poudyal, U., and Feldman, L.R., "Evaluating Historical Flexural Members Reinforced with Ransome Bars," ACI Structural Journal, V. 115, No. 5, Sept. 2018, pp. 1443-1451.
9. Feldman, L.R.; MacFarlane, D.C.; Kroman, J.A.; and Bartlett, F.M., "Construction Staging of the Centre Street Bridge Rehabilitation to Accommodate Emergency Vehicle Traffic," 31st Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, 2003, 10 pp. (CD-ROM).
10. Rust, S.J., "Rehabilitation of Historic Hillhurst (Louise) Bridge," PCI Journal, V. 42, No. 3, May-June 1997, pp. 22-31.
11. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-13) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 59 pp.
12. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-16) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 88 pp.
13. Feldman, L.R., and Cairns, J., "Assessing Historical Provisions for the Bond of Plain Bars," ACI Structural Journal, V. 114, No. 2, Mar.-Apr. 2017, pp. 463-473.
14. Mylrea, T.D., "Bond and Anchorage," ACI Journal Proceedings, V. 44, No. 3, Mar. 1948, pp. 521-552.
15. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; and Breen, J.E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal Proceedings, V. 74, No. 3, Mar. 1977, pp. 114-122.
16. NACU, "Standard Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete (Standard No. 4)," National Association of Cement Users, Philadelphia, PA, 1910, 14 pp.
17. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Commentary (ACI 562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 83 pp.
18. ACI Committee 318, "Building Code for Structural Concrete—Code Requirements and Commentary (ACI 318-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 pp.
19. Joint ACI-ASCE Committee 408, "Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03) (Reapproved 2012)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 62 pp.

Lisa R. Feldman, FACI, es Profesora y Jefa del Departamento de Ingeniería Civil, Geológica y Ambiental en la Universidad de Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canadá, y Directora del Centro de Diseño en Albañilería de Saskatchewan. Feldman es Presidenta del Subcomité ACI 562-G, Refuerzo y Detallado, y miembro del Comité de Actividades Técnicas del ACI, de los Comités ACI 318, Código de Construcción de Concreto Estructural, y 562, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto.



Título original en inglés:
Evolution of ACI CODE-562-25.
Chapter 8: Reinforcement and detailing for
structural evaluation, repair, and rehabilitation

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



Traductora:
**Est. Katia Verónica
Pérez Tasso**



Revisor Técnico:
**Ing. Julio Higashi
Luy**

Cómo el ACI transformó los códigos de concreto y prácticas en Indonesia, Parte 2 – De las normas a la implementación

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

La Parte 1 describió el desarrollo de las normas indonesias de diseño de concreto que condujeron a la adopción de disposiciones basadas en el Código ACI-318: Building Code Requirements for Structural Concrete (Requerimientos del Código de Construcción para Concreto Estructural). Esta parte destaca cómo la adopción de disposiciones del ACI en Indonesia ha avanzado hacia la acción organizada mediante la creación del Capítulo ACI del Oeste de Indonesia (ACI-WIC), establecido el 8 de septiembre de 2023. Fundado por 31 profesionales vinculados al diseño, la construcción y la tecnología del concreto, la misión del Capítulo es localizar el conocimiento del ACI, profesionalizar la práctica del concreto y cultivar talento futuro. Las iniciativas tempranas incluyen la Iniciativa de Seguimiento del Código ACI, que mapea las provisiones del Código ACI-318 dentro de las normas nacionales (Standar Nasional Indonesia [SNI]) para guiar a reguladores, docentes y profesionales. Los programas de certificación ahora cierran las brechas identificadas en las SNI, y los capítulos estudiantiles, competencias y sesiones de ensayo (try-outs) preparan a los jóvenes ingenieros para el mundo laboral. La colaboración con la Badan Standardisasi Nasional (BSN), la Agencia Nacional de Normalización; el Komite Akreditasi Nasional (KAN), el Comité Nacional de Acreditación; y la Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI), la Sociedad de Ingenieros Civiles y Estructurales de Indonesia, aporta legitimidad local y alcance global. Los éxitos tempranos, desde talleres profesionales hasta proyectos como el complejo Two Sudirman en Yakarta, demuestran el impacto del Capítulo e invitan a la cooperación internacional.

¿Era necesaria la creación de un Capítulo ACI local?

Una vez que las normas de concreto de Indonesia incorporaron disposiciones del ACI, surgió un nuevo desafío: garantizar una práctica de obra consistente,

la preparación de la fuerza laboral y la educación continua. Tres necesidades estaban claras: fortalecer las habilidades, asegurar un control de calidad uniforme y crear un intercambio bidireccional de conocimiento con el ACI.

Documentos clave de las SNI subrayan estos requerimientos. SNI 2847:2019¹ (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, adaptada de Código ACI-318M-14²) cita explícitamente certificaciones del ACI, incluyendo Técnico ACI Grado 1 en Ensayos de Concreto en Obra (Concrete Field Testing Technician—Grade I) (Sección de Comentario R26.12.1.1(c)), Técnico de Ensayos de Laboratorio de Concreto—Nivel 1 y Técnico de Ensayo de Resistencia de Concreto (Sección de Comentario R26.12.1.1(d)), Inspector Especial de Construcción en Concreto (Sección de Comentario R26.13.1.2) y ACI Adhesive Anchor Installer (Instalador de Anclajes Adheridos) (Sección de Comentario R17.8.2.2). SNI 1974:2023³ (Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder, adaptada de ASTM C39/C39M y prácticas de ACI 214) también referencia el programa Técnico de Ensayos de Laboratorio de Concreto. Pese a estas referencias, no había un mecanismo de impartición local, por lo que las empresas no sabían cómo cumplir.

La respuesta fue la creación de un capítulo ACI que pudiera localizar el conocimiento global, construir infraestructura de formación y certificación, y sostener el desarrollo profesional.

Capítulo ACI del Oeste de Indonesia — Fundación y misión

El 8 de septiembre de 2023, el ACI aprobó el establecimiento de ACI-WIC. Fundado por 31 profesionales de la academia, consultoría, contratistas y gobierno, muchos ya activos dentro de HAKI, el Capítulo funciona como un puente entre códigos internacionales y la práctica local.

Su misión es clara: localizar el conocimiento del ACI, profesionalizar la práctica y desarrollar talento futuro. Operando con liderazgo voluntario, ACI-WIC colabora con HAKI, BSN, KAN, universidades e industria para combinar la profundidad técnica internacional con el alcance nacional.

Haciendo visible la adopción: la Iniciativa de Seguimiento del Código ACI

Una de las primeras innovaciones del Capítulo fue la ACI Code Tracking Initiative, un mapa vivo dónde aparecen las disposiciones del Código ACI-318 y documentos relacionados en las SNI, documentos de orientación y especificaciones de agencias. Esta iniciativa traduce la afirmación amplia “nos alineamos con ACI” en evidencia verificable y comunicable.

El rastreador se mantiene en una hoja de cálculo viva, actualizada conforme se publican o revisan nuevas SNI. Ayuda a los reguladores (BSN) a identificar qué normas requieren actualización cuando cambian los códigos ACI, guía a los docentes en prioridades de enseñanza y señala a los profesionales dónde deben enfocarse la formación y la certificación.

Como se muestra en la Tabla 1, la adopción abarca un amplio espectro: desde la dosificación de materiales (ACI 211.4R-08⁵, adoptado idénticamente —IDT—) hasta códigos completos de diseño estructural (Código ACI-318M-14, adoptado con modificaciones —MOD—), pasando por compuestos (ACI 440.1R-15⁷, MOD) y construcción prefabricada (ACI 523.2R-96⁹, IDT). Las notas IDT y MOD aclaran si una disposición ACI se incorporó en la SNI sin cambios (IDT) o se adaptó al contexto indonesio (MOD).

Al mantener este rastreador, ACI-WIC asegura que la alineación de Indonesia con las disposiciones del ACI esté documentada, sea rastreable y accionable. El modelo es ligero y replicable, por lo que otros capítulos del ACI podrían adaptarlo a su propio contexto. Además, el seguimiento puede ser utilizado por el Comité ACI 318 para futuras revisiones, ayudando a que las adaptaciones globales sean reconocidas y respaldadas.

Educación, certificación y canal de estudiantes

Desde su primer año, ACI-WIC ha trabajado en la intersección entre educación, certificación y desarrollo de la fuerza laboral, reconociendo que la adopción sostenida de códigos requiere personas capacitadas, certificadas y listas para aplicar las mejores prácticas.

Talleres para profesores y profesionales, y reuniones de miembros del Capítulo

El Capítulo lanzó una serie de seminarios que también sirven como reuniones de miembros, en colaboración con HAKI y universidades líderes. Estas reuniones permitieron compartir las prácticas basadas en ACI más recientes y crear diálogo entre profesionales, reguladores y académicos.

La primera reunión, el 15 de septiembre de 2023, inauguró ACI-WIC y el Capítulo Estudiantil ACI de Universitas Indonesia. Su tema fue “Refuerzo estructural y mejora sísmica usando FRP adherido externamente” con ponentes principales como el Past President Antonio Nanni (experto en FRP), representantes de SIKI Indonesia e Iswandi Imran (HAKI). (Ver Fig. 1).

La segunda reunión, en junio de 2024 en la Universitas Indonesia, en Depok, contó con la participación de Francisco De Caso, de la Universidad de Miami, quien presentó "Revolucionando el Concreto Verde con Refuerzo de FRP No Metálico y el Código ACI 440.11-22 para Concreto Estructural con GFRP", junto con Mulia Orientilize, de la Universitas Indonesia, quien discutió el "Desempeño de las Conexiones Pila Pivotante-Encepado Usando Barras de FRP".

Tabla 1:
Extracto de la Iniciativa de Seguimiento del Código ACI, que ilustra cómo las disposiciones de los documentos del ACI han sido adoptadas o modificadas dentro de las Normas Nacionales de Indonesia (SNI)

Número de Norma	Título indonesio (corto)	Fuente de adopción	ACI/Título en inglés
SNI 6468:2023 ⁴	Proporcionamiento de concreto de alta resistencia con cemento portland y MCS	ACI 211.4R-08 ⁵ (IDT)	Guía para la selección de proporciones para concreto de alta resistencia utilizando cemento portland y otros materiales cementantes
SNI 2847:2019 ¹	Requerimientos del concreto estructural para edificios	Código ACI-318M-14 y 318RM-14 (MOD)	Requisitos del reglamento para concreto estructural y su comentario
SNI 8970:2021 ⁶	Diseño de estructuras de concreto reforzado con elementos FRP	ACI 440.1R-15 ⁷ (MOD)	Guía para el diseño y la construcción de concreto estructural reforzado con barras de polímero reforzado con fibra (FRP)
SNI 8976:2021 ⁸	Unidades de piso, techo y muro de concreto celular prefabricado.	ACI 523.2R-96 ⁹ (IDT)	Guía para unidades de piso, techo y muro de concreto celular prefabricado



La tercera reunión, en diciembre de 2024, recibió a Widiyanto, FACI, quien disertó sobre "Visión General del Diseño y Construcción de Estructuras de Gravedad de Concreto Mar Adentro".

La cuarta reunión, en junio de 2025 en el Museo Bahari de Yakarta, contó nuevamente con Widiyanto, quien habló sobre "Visión General del Diseño de Anclajes Colados en el Lugar en Cimentaciones de Concreto", acompañado por Barry Kaknick, del Australian Engineered Fasteners and Anchors Council (AEFAC), y Wiryanto Dewobroto, profesor de la Universidad Pelita Harapan, Tangerang, Banten, Indonesia, quienes presentaron sobre "Resistencia a la Tracción de Grupos de Anclajes Usando el Modelo de Puntales y Tensores (STM)".

Estos eventos también funcionan como reuniones de miembros del capítulo y fortalecen las conexiones entre la práctica educativa y profesional. Estos eventos ayudan a garantizar que la comunidad indonesia de diseño y construcción, incluyendo estudiantes, docentes e ingenieros en ejercicio, se mantenga alineada con las normas ACI en constante evolución y sea capaz de traducir los códigos en prácticas de campo confiables. El Capítulo también expresa su agradecimiento a ACI International por organizar la Mesa Redonda Internacional de Capítulos del ACI en Bali el 24 de agosto de 2024, un evento que reforzó la colaboración entre ACI-WIC y los capítulos homólogos de todo el mundo (Fig. 2).

Programas de certificación

En 2023 se ofrecieron por primera vez en Indonesia certificaciones de técnicos e inspectores del ACI, cerrando una brecha largamente identificada en SNI 2847:2019¹ y SNI 1974:2023³. Esas normas incorporan Código ACI-318-14 y prácticas de ASTM/ACI y requieren de personal calificado, tales como Técnico ACI Grado 1 en Ensayos de Concreto en Obra, Técnico de Ensayo de Resistencia de Concreto, Inspector Especial de Construcción en Concreto, e Instalador de Anclajes Adheridos. Introduciendo estos programas reconocidos internacionalmente, ACI-WIC estableció una nueva línea base para la competencia en obra y el cumplimiento tanto de ACI como de SNI.



Fig. 2: Mesa redonda internacional de capítulos del ACI en Bali, el 24 de agosto de 2024, fortaleciendo los vínculos entre ACI-WIC y los capítulos internacionales. (Foto cortesía de ACI-WIC)



El primer paso del Capítulo fue asegurar examinadores locales. Los días 23 y 24 de agosto de 2023, en la Universitas Indonesia (Fig. 3), instructores del personal de ACI desde Estados Unidos (Michael Morrison, Director de Desarrollo de Programas de Certificación de ACI, y John Nehasil, Director Gerente Senior de Certificación y Capítulos de ACI) certificaron a profesores y expertos de la industria de la Universitas Indonesia; el Institut Teknologi Bandung, Bandung; y la Universitas Diponegoro, Semarang, Java Central, para impartir el programa de Técnico en Ensayos de Concreto en Obra — Grado I. Esto fue seguido por una formación avanzada de examinadores en el Centro de Recursos de Capacitación de ACI en San Bernardino, CA, EE. UU., del 29 al 31 de enero de 2024, que cubría los programas de Técnico en Ensayos de Resistencia del Concreto y Técnico en Ensayos de Agregados.

El entrenamiento final para examinadores de Instaladores de Anclajes Adheridos tuvo lugar en el Institut Teknologi Bandung los días 18 y 19 de agosto de 2024, completando así la fase de formación básica que permitió a los examinadores locales ejecutar de manera independiente los programas de certificación del ACI.

Con examinadores locales capacitados, los programas públicos de certificación se abrieron a nivel nacional y ganaron tracción rápidamente. A mediados de 2025, el Capítulo había impartido 11 sesiones del programa Técnico ACI Grado 1 en Ensayos de Concreto en Obra, seis sesiones del Técnico en Ensayos de Resistencia de Concreto, y dos sesiones de Instalador de Anclajes Adheridos, certificando a más de 220 técnicos e inspectores. El programa insignia registró una tasa de aprobación

promedio de alrededor del 72%, mientras que otros programas mostraron tasas de 70-80%, indicando preparación consistente de los candidatos sin sacrificar el rigor internacional.

Cada sesión de certificación sigue una evaluación multinivel: clases intensivas que cubren procedimientos ACI y requisitos SNI, examen escrito supervisado y evaluaciones prácticas que incluyen: muestreo de concreto fresco y ensayos de asentamiento (slump), contenido de aire, temperatura y densidad; cabeceo de especímenes y ensayo de compresión de cilindros; cuarteo y ensayo de fragmentación de muestras de agregados y evaluación de contenido orgánico; e instalación de anclajes adheridos. El Capítulo mantiene los estándares globales del ACI adaptando la instrucción al contexto indonesio, donde la formación previa de los técnicos puede diferir de la de Norteamérica, asegurando que los candidatos cumplan los puntos de referencia de desempeño del ACI con preparación adecuada al contexto local.

Estos programas públicos ahora atienden a ingenieros consultores, contratistas, laboratorios de ensayo y agencias regulatorias en toda Indonesia. Asegurando que cada persona certificada haya alcanzado los mismos criterios de desempeño que sus contrapartes en Norteamérica, el Capítulo eleva la calidad constructiva y ayuda a propietarios, proyectistas e inspectores gubernamentales a cumplir los mandatos de personal calificado de ACI y SNI.

Participación estudiantil

Invertir en estudiantes garantiza un flujo continuo de futuros profesionales. Trece capítulos estudiantiles activos en Indonesia exponen tempranamente a los jóvenes ingenieros a las normas ACI. El Capítulo Estudiantil de Universitas Indonesia, creado en 2023, participó inmediatamente en competencias internacionales: obtuvo el cuarto puesto entre 33 equipos en la Competencia de Composites FRP durante la Convención de Otoño del ACI en 2023 (Boston) y fue reconocido como Capítulo Estudiantil Sobresaliente en el 2023 (Figura 4).

Continuaron participando en eventos estudiantiles durante la Convención de Primavera de 2024 del ACI en Nueva Orleans, Luisiana, EE. UU., incluyendo la Sesión de Investigación de Pregrado (Licenciatura), donde presentaron "Escoria de Níquel como Sustituto Parcial del Agregado Fino en el Concreto", y la Competencia de Manejabilidad de Mortero, donde obtuvieron el decimoquinto puesto entre 28 equipos. Recientemente, estudiantes de la Universitas Indonesia participaron en la

Competencia de Bolos de Concreto Reforzado con Fibras (FRC) durante la Convención de Primavera de 2025 del ACI en Toronto, Ontario, Canadá. Participar en estas competencias representa un esfuerzo significativo, que implica más de 30 horas de viaje y gastos considerables. Sin embargo, la experiencia es sumamente valiosa, ya que permite a los estudiantes interactuar directamente con expertos mundiales y otros estudiantes de todo el mundo.

Para vincular la educación con la certificación, ACI-WIC organiza sesiones de capacitación y simulacros para el programa de Técnico en Ensayos de Concreto en Obra — Grado I. Se han completado tres sesiones (Fig. 5): junio de 2024 en la Universitas Indonesia (9 participantes), octubre de 2024 en la Universitas Sumatera Utara (13 participantes) y marzo de 2025 en la Universitas Atma Jaya Yogyakarta (12 participantes). Cada una replica el proceso de certificación oficial, cubriendo métodos de ASTM International y ACI, exámenes escritos y prácticas de laboratorio supervisadas.

Al combinar competencias, investigación de pregrado y formación temprana para la certificación, ACI-WIC construye un canal de transición estudiantil hacia el ámbito profesional. Los graduados se incorporan al mercado laboral ya familiarizados con la cultura del ACI, capacitados en procedimientos de laboratorio y campo, y con experiencia en trabajo en equipo internacional.

Enfoque en los resultados

El impacto de ACI-WIC es medible: un aumento constante de personal certificado, una creciente participación de estudiantes en las actividades del ACI y vínculos más sólidos entre la academia y la industria. Este proceso garantiza que los estudiantes de hoy y los ingenieros en etapa inicial se conviertan en los profesionales certificados, educadores y líderes del mañana. La Figura 5, que destaca los capítulos estudiantiles y las sesiones de capacitación, capta hitos en la construcción de competencias y comunidad.



Fig. 4: (a) Trece capítulos estudiantiles en Indonesia; (b) El primer equipo estudiantil de Universitas Indonesia compitió en la competencia estudiantil del ACI 2023 y logró el cuarto lugar; y (c) La segunda y tercera participación del capítulo estudiantil de Universitas Indonesia en la competencia estudiantil del ACI en Nueva Orleans, Luisiana, Estados Unidos en 2024, y Toronto, Ontario, Canadá, en 2025. (Fotos cortesía del ACI-WIC)



Fig 5: Actividades de capacitación y práctica para estudiantes de la certificación ACI Concrete Field Testing Technician – Grado I: (a) primera sesión en la Universidad de Indonesia, Depok, 14 de junio de 2024; (b) segunda sesión en la Universidad de Sumatra del Norte, Medan, 22 de octubre de 2024; y (c) tercera sesión en la Universidad Atmalaya Yogyakarta, 20 de marzo de 2025 (fotos cortesía de ACI-WIC)

Colaboración con organismos de normalización y acreditación

ACI-WIC colabora estrechamente con BSN y KAN para alinear las rutas de certificación con los marcos nacionales. Esto asegura que las mejores prácticas internacionales se traduzcan en el marco normativo del país y que las certificaciones de personal obtengan reconocimiento formal nacional.

El progreso es claro: una reunión inicial el 6 de mayo de 2024 presentó el alcance de la certificación de ACI-WIC y discutió la acreditación bajo SNI ISO/IEC 17024, referencia nacional para certificación de personal. Un grupo focal el 25 de junio de 2024 examinó la relación entre SNI 1974:2023³ y ASTM C39/C39M-2010¹⁰, y cómo el programa Técnico de Ensayos de Laboratorio de Concreto del ACI podría adoptarse a nivel nacional — se estimó que alrededor de 95 laboratorios de construcción se beneficiarían.

El 20 de agosto de 2024, una delegación del ACI liderada por Bernie Pekor, Director de Asuntos Internacionales del ACI y John Nehasil se reunió con Agustinus Praba Drijarkara, Director de KAN, para afinar planes de acreditación. Dado que KAN es miembro de APAC, IAF e ILAC, la acreditación daría a los certificados ACI un reconocimiento legal nacional e internacional.

ACI-WIC opera estratégicamente bajo el paraguas de HAKI, que proporciona una plataforma nacional mientras que ACI aporta profundidad técnica global. En la práctica, ACI-WIC funciona como el brazo operativo de HAKI para el ámbito del concreto, garantizando alineación y evitando duplicidades.

Primeros logros y hoja de ruta a corto plazo (2023-2025)

Entre los éxitos del primer año figuran: talleres para docentes y profesionales, la Iniciativa de Seguimiento del Código ACI (haciendo transparente la alineación SNI-ACI), ensayos de certificación estudiantil en varias universidades y el lanzamiento de múltiples capítulos estudiantiles.

Para 2024-2025, el Capítulo amplía su capacidad de certificación; prepara notas prácticas concisas sobre temas como confinamiento, amarres y listas de verificación de inspección; y planifica sedes regionales más allá de Yakarta. El progreso se monitoreará por número de técnicos e inspectores certificados, talleres impartidos, universidades involucradas y actualizaciones del rastreador de adopción, con tablas o gráficos que ilustren el crecimiento.



Fig.6: Los miembros de la delegación de ACI Bernie Pekor (tercero desde la izquierda) y John Nehasil (quinto desde la derecha) con Agustinus Praba Drijarkara, Director de KAN, durante una visita el 20 de agosto de 2024 en la oficina de KAN en Yakarta (foto cortesía de Jessica Sjah).



Fig 8: Ahmad Abidin, Supervisor Senior de Control de Calidad y Aseguramiento de Calidad en Obra (segundo desde la izquierda), y su equipo, todos certificados por ACI (foto cortesía de Mitsubishi Estate Indonesia)

Two Sudirman: campo de pruebas y aplicación

El complejo Two Sudirman (Green Energy Superblock Oasis Central Sudirman), diseñado por NBBJ Architect y estructurado por Arup USA con PT Wiratman como socio local, es uno de los proyectos verticales más ambiciosos de Yakarta: incluye una torre mixta de 331 m (75 pisos) y una torre residencial de 276 m (65 pisos), con finalización estimada para 2028. El proyecto integra residencias y oficinas de alto nivel con diseño energético eficiente.

El programa de certificación de ACI-WIC juega un papel central: este proyecto, construido por la joint operation CSCEC-Taisei, es el primer proyecto en Indonesia que implementó completamente certificación ACI. Técnicos e inspectores certificados por ACI realizan ensayos de asentamiento, controles de calidad y verificación de resistencia del concreto, asegurando que los concretos premezclados y la construcción cumplan tanto SNI como ACI. Se impartieron dos sesiones del curso Técnico ACI Grado 1 en Ensayos de Concreto en Obra con 31 participantes para el proyecto, y el equipo de QA/QC participó también en certificaciones de Técnico de Ensayo de Resistencia e Instalador de Anclajes Adheridos. Two Sudirman demuestra cómo la certificación internacionalmente reconocida respalda la credibilidad, seguridad y sostenibilidad de la construcción de concreto en gran escala en Indonesia. Two Sudirman es el primer proyecto en Indonesia en implementar el Código ACI-318, que fue adoptado como SNI, mientras también utiliza técnicos certificados por el ACI para llevar a cabo su construcción.



Fig 7: Boceto conceptual del complejo The Two Sudirman (izquierda), que muestra la torre de uso mixto planificada de 331 m (1 086 pies) y la torre residencial de 276 m (906 pies), junto con el progreso de construcción del 8% hasta septiembre de 2025 (derecha) (imagen y foto cortesía de Mitsubishi Estate Indonesia)

Agradecimientos e invitación

El Capítulo expresa su sincero agradecimiento por la orientación y el estímulo brindados por la Sede Mundial del ACI, en especial a Bernie Pekor, Kerry E. Sutton y Stephen S. Szokee, junto con el liderazgo de HAKI, la dedicación de los fundadores y voluntarios del ACI-WIC, y el sólido apoyo de las universidades asociadas y los colaboradores de la industria. Un agradecimiento especial se extiende a Ahmad Abidin, Supervisor Senior de Aseguramiento y Control de Calidad en Obra (Senior Site QA & QC Supervisor), por proporcionar información valiosa y detalles fácticos.

ACI-WIC invita a la cooperación con los capítulos del ACI en todo el mundo para compartir métodos de seguimiento de adopción, coorganizar seminarios web e intercambiar materiales educativos.

En 2024, los líderes de HAKI y ACI-WIC tuvieron el honor de participar como socios internacionales en las Convenciones del ACI, reforzando los vínculos globales.

De cara al futuro, una mayor participación estudiantil en competencias internacionales y talleres conjuntos ayudará a garantizar que Indonesia se beneficie del conocimiento global y contribuya activamente a él.

Referencias

1. SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (ACI 318M-14). BSN, Jakarta, 2019.
2. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14). ACI, 2014.
3. SNI 1974:2023, Metode uji untuk kekuatan tekan spesimen beton silinder (ASTM C39-20, IDT). BSN, Jakarta, 2023.
4. SNI 6468:2023, "Panduan untuk pemilihan proporsi beton berkekuatan tinggi menggunakan semen portland dan material sementisius lainnya (ACI 211.4R-08, IDT)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2023, 60 pp. (in Indonesian)
5. ACI Committee 211, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials (ACI 211.4R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 25 pp.
6. SNI 8970:2021, "Panduan perancangan dan pelaksanaan beton struktural bertulangan batang serat berpolimer," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2021, 103 pp. (in Indonesian)
7. ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars (ACI 440.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 84 pp.

8. SNI 8976:2021, "Panduan beton pracetak seluler untuk komponen lantai, atap dan dinding (ACI 523.2R-96, IDT)," National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta, Indonesia, 2021, 16 pp. (in Indonesian)
9. ACI Committee 523, "Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units (ACI 523.2R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 5 pp.
10. ASTM C39/C39M-20, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.

Nuraziz Handika, es miembro del ACI y es Profesor Asistente en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universitas Indonesia, en Yakarta, Indonesia. Obtuvo sus títulos en la Universitas Indonesia; en la École Centrale Nantes, en Nantes, Francia; y en la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwán, en Taipéi, Taiwán. Asimismo, recibió su doctorado del Institut National des Sciences Appliquées (INSA) Toulouse, en Toulouse, Francia. Su experiencia incluye mecánica de fracturas, evaluación estructural y correlación digital de imágenes.



Prasanti Widiasih Sarli, es miembro local del ACI en Indonesia, y es Profesora Asistente en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del Institut Teknologi Bandung, en Bandung, Indonesia. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Tokio, en Tokio, Japón. Sus intereses de investigación incluyen dinámica estructural, ingeniería de viento y explosiones, y diseño urbano resiliente. En 2024, recibió el premio L'Oréal-UNESCO For Women in Science por su trabajo en mitigación de desastres y resiliencia basada en inteligencia artificial (IA).



Josia Irwan Rastandi, miembro del ACI, es Profesor Asistente en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universitas Indonesia (UI). Obtuvo sus títulos en la Universitas Indonesia y en la Universidad Técnica de Múnich, en Múnich, Alemania. Como jefe del Laboratorio de Estructuras y Materiales de la UI, lidera investigaciones en dinámica estructural, interacción suelo-estructura y ensayos estructurales.



Mulia Orientalize, es miembro local del ACI en Indonesia y es Profesora Asistente en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universitas Indonesia. Obtuvo su S.T. en la Universitas Indonesia y su MEng en la Nanyang Technological University, en Singapur. Su investigación se centra en el análisis estructural y la interacción pila-suelo en el contexto de infraestructura sostenible.



Jessica Sjah, miembro del ACI, es Profesora Asociada en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universitas Indonesia. Obtuvo sus títulos en la Universitas Indonesia y en la École Centrale de Lyon, en Lyon, Francia. Se especializa en mecánica estructural, materiales y modelación numérica, integrando la sostenibilidad en la investigación en ingeniería.



Título original en inglés:
How ACI Shaped Concrete Codes and Practice in Indonesia, Part 2.
From standards to implementation

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo México Noroeste



Traductor:
Est. Emiliano Martínez Villalobos



Revisor Técnico:
Ing. Oscar Ramírez Arvizu

¡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**

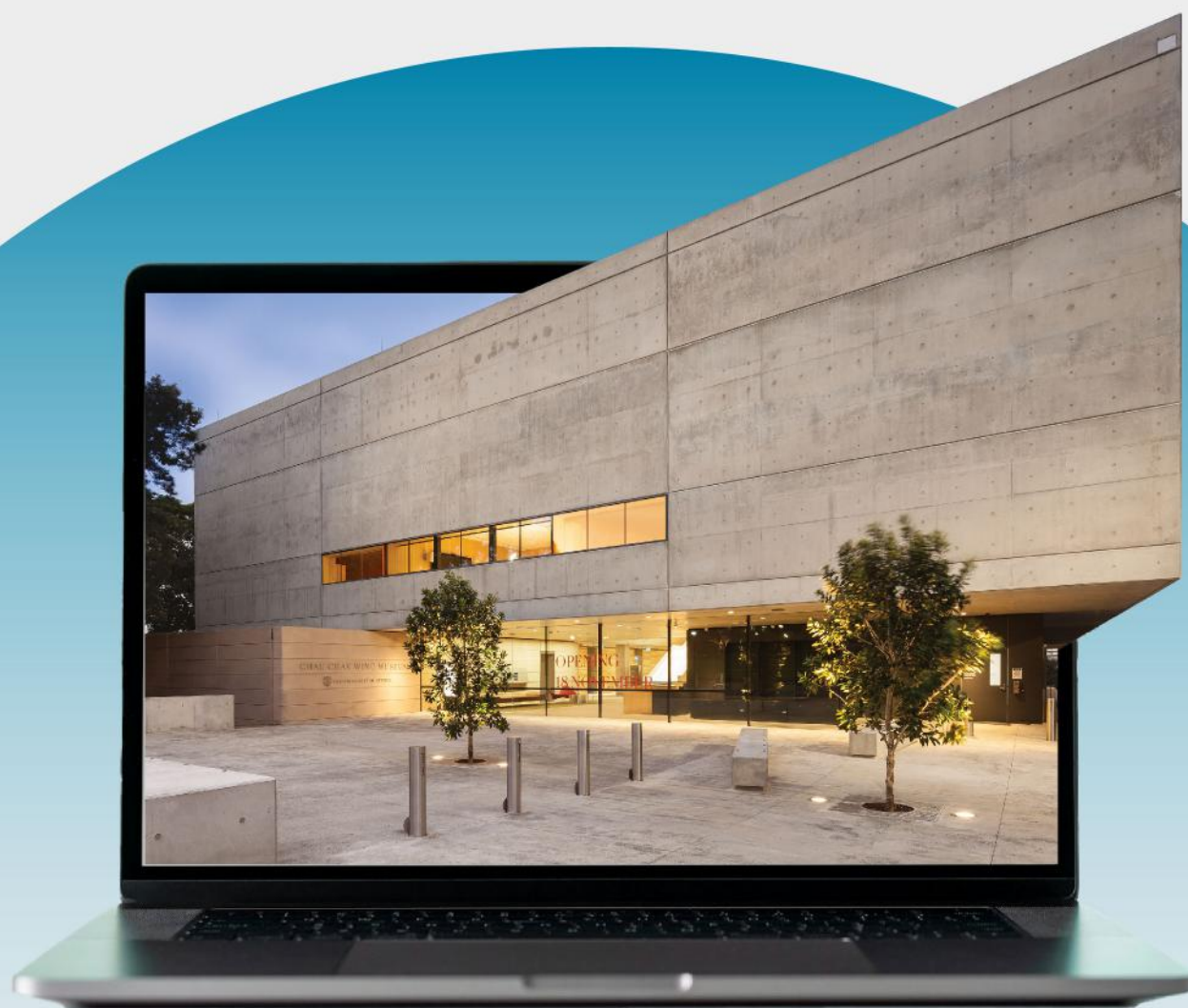
AQUÍ ENCUENTRAS...

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!

Concreto con aire incluido y su sistema de vacíos de aire

Por N. Subramanian

En climas fríos, los aditivos inclusores de aire (AIA) protegen al concreto de los ciclos de congelamiento y deshielo. Conforme se mezcla el concreto, estos aditivos producen burbujas de aire de un tamaño de entre 5 y 80 micras que se distribuyen uniformemente por toda la pasta de cemento (Fig. 1).

Los AIA también se pueden utilizar en climas más cálidos. En la India, por ejemplo, se utilizó concreto con aire incluido en la construcción de presas como la Hirakud (Fig. 2), la Koyna y la Rihand, aunque los daños causados por las heladas no son un problema grave¹.

Este artículo analiza los puntos clave sobre el concreto con aire incluido, las ventajas de la inclusión de aire, los efectos de los materiales cementantes suplementarios (SCM) en la dosis requerida de AIA y los efectos de las variables de producción y construcción en el contenido de aire. También se explican parámetros como el contenido total de aire, el tamaño y la distribución de los huecos de aire, el factor de espaciamiento y la superficie específica; se proporcionan métodos de ensayo y especificaciones pertinentes; y se resumen las alternativas a los AIA.

Descubrimiento accidental de la inclusión de aire

La incursión de aire se descubrió accidentalmente a mediados de la década de 1930, cuando se observó que el sebo utilizado como auxiliar para la molienda en la producción de cemento creaba jabón, lo que producía pequeñas burbujas de aire al mezclarse con agua²⁻⁴.

En 1945, T.C. Powers propuso una hipótesis sobre el mecanismo de daño por heladas en el concreto⁵. Esta hipótesis fue revisada posteriormente en 1950 para incluir los requisitos del sistema de vacíos de aire⁶, y sigue siendo la base de muchas prácticas actuales de inclusión de aire⁷.

Puntos clave sobre el concreto con aire incluido

La inclusión de aire se consigue normalmente añadiendo AIA a la mezcla de concreto para formar burbujas de aire microscópicas en la pasta de cemento. Estas burbujas permanecen después de que el concreto se haya endurecido. Durante las condiciones de congelamiento, el agua presente en los poros del concreto se expande al convertirse en hielo, ejerciendo presión sobre la matriz del concreto circundante. Los vacíos de aire incluido actúan como depósitos o cámaras vacías dentro de la pasta de concreto. Cuando se produce el congelamiento, el agua migra hacia estos vacíos de aire, aliviando la presión sobre la matriz de concreto y evitando el agrietamiento y el deterioro del mismo. El aire atrapado dentro de los vacíos también se comprime. Al descongelarse, el hielo de los vacíos de aire se derrite y el aire comprimido se expande, liberando el agua de nuevo a los capilares del concreto a través de la acción capilar⁸.

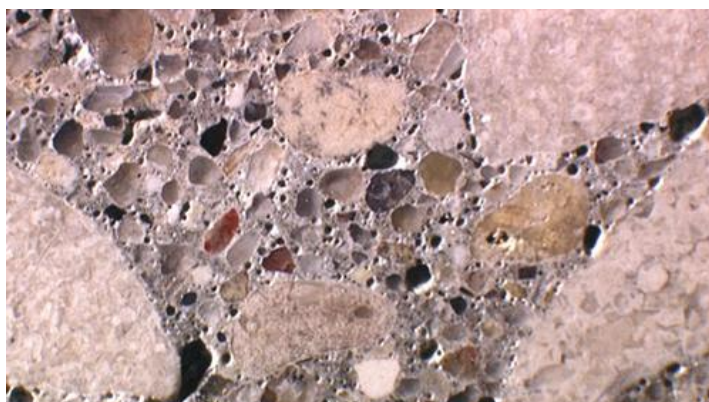


Fig. 1: Concreto con aire incluido (cortesía de Paul Stutzman, National Institute of Standards and Technology [NIST])



Fig. 2: Presa Hirakud, Sambalpur, Odisha, India (foto cortesía de P.K. Mallick)

Ventajas de la inclusión de aire

Algunas de las ventajas del aire incluido en el concreto son:

- **Resistencia al congelamiento-deshielo.** El concreto con aire incluido resiste mejor la expansión y contracción que se produce durante los ciclos de congelamiento y deshielo, lo que reduce la probabilidad de descascaramiento y desprendimiento de la superficie.
- **Trabajabilidad mejorada.** La presencia de vacíos de aire mejora la trabajabilidad del concreto fresco, facilitando su colocación y acabado.
- **Permeabilidad reducida.** El concreto con aire incluido suele presentar una menor permeabilidad, lo que puede ayudar a minimizar la penetración del agua y mejorar la resistencia al ataque químico y a la corrosión del refuerzo.
- **Cohesión mejorada.** Los vacíos de aire actúan como lubricantes, reduciendo la fricción dentro de la mezcla de concreto y mejorando la cohesión entre las partículas, y
- **Otros beneficios.** El concreto con aire incluido suele presentar una reducción del sangrado y la segregación.

Consideraciones sobre el diseño de la mezcla

El adecuado diseño de la mezcla es esencial para lograr la cantidad deseada de vacíos de aire y las características de comportamiento del

concreto con aire incluido. Las clases de exposición y los requisitos pertinentes deben incluirse en los documentos contractuales. Por ejemplo, según la sección 4.2.2.6(c) de la norma ACI SPEC-301-20 en la lista de verificación de requisitos obligatorios para mezclas de concreto:

“Determine en los documentos contractuales la clase de exposición o especifique los requisitos para las mezclas de concreto para las partes de la estructura que requieran resistencia al congelamiento y deshielo. Para la clase de exposición F3 [concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo con exposición frecuente al agua y a productos químicos de deshielo], indique si se trata de concreto simple. Consulte el ACI 318”⁹.

Debido a factores como el contenido de cemento o materiales cementantes, la relación agua-materiales cementantes (a/mc) y el tipo de agregado, la dosificación de AIA debe controlarse cuidadosamente.

Adición de AIA

Según el ACI E4-22,¹⁰, la dosis de AIA suele oscilar entre 15 y 130 ml por cada 100 kg (0.23 a 0.2 fl oz por cada 100 lb) de material cementante. Es posible que se requieran dosis más altas o bajas cuando se utilizan cenizas volantes u otras puzolanas para lograr el mismo contenido de aire en comparación con un concreto similar que utiliza únicamente cemento Portland. En cualquier caso, se deben realizar mezclas de prueba para garantizar la compatibilidad entre los AIA y otros elementos del concreto, incluyendo otros aditivos químicos. La cantidad utilizada dependerá de los materiales, las proporciones de la mezcla y las condiciones del mezclado.

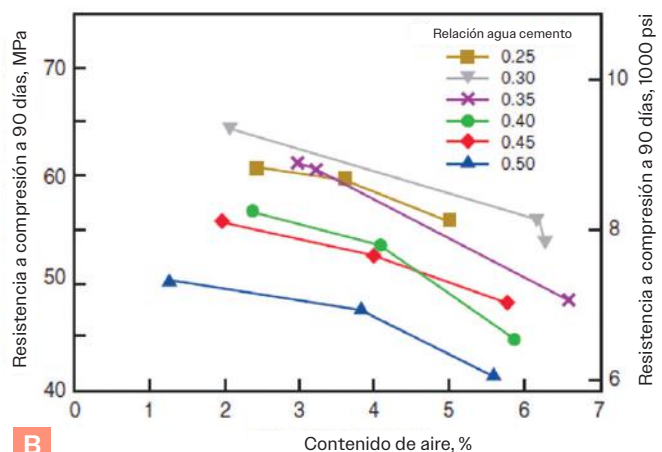
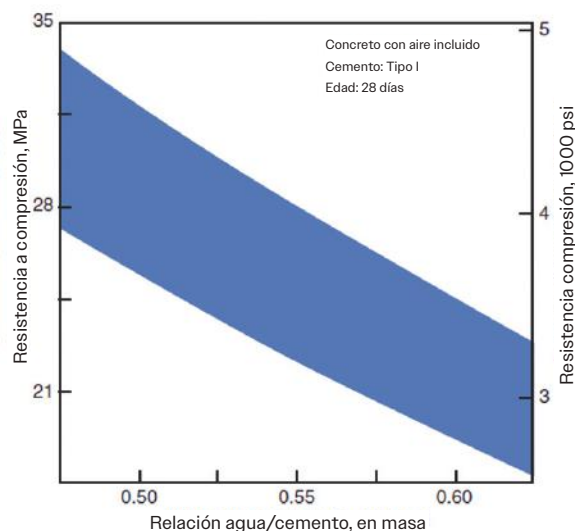


Fig. 3: Resistencia a la compresión: (a) a los 28 días y a/c para una amplia variedad de concretos con aire incluido utilizando cemento Tipo I (uso general) (de la Referencia 11); y (b) a los 90 días y contenido de aire (de la Referencia 12) (Figura cortesía de la Asociación Americana del Cemento)

Se ha descubierto que las mezclas con relaciones agua-cemento (*a/c*) de 0.4 a 0.6 producen burbujas de aire adecuadas¹. La dureza del agua también puede afectar a los AIA, al igual que afecta al jabón de baño.

Las fluctuaciones en la granulometría de la arena también provocarán modificaciones en el contenido de aire. Es fundamental que las proporciones de los agregados que pasan por las mallas No. 30 y 100 sean uniformes para lograr una constante inclusión de aire¹⁰. Los cambios significativos en estos tamaños de partículas dificultan el control del contenido de aire. Las variaciones en el contenido de sulfato y la finura del cemento provocarán cambios en el contenido de aire. La relación típica entre la resistencia a la compresión a 28 días y la relación *a/c* para una amplia variedad de concretos con aire incluido con el porcentaje recomendado de aire incluido se muestra en la Fig. 3(a), y la resistencia a la compresión a 90 días y el contenido de aire con diferentes relaciones *a/c* se muestra en la Fig. 3(b)^{11,12}.

Efecto de los materiales cementantes suplementarios

Las cenizas volantes de Clase F suelen requerir niveles más altos de AIA para mantener los niveles deseados de aire incluido en comparación con las cenizas volantes de Clase C¹³. El humo de sílice es otro material que influye en la inclusión de aire en el concreto. Su tamaño de partícula fina y su textura suave requieren dosis más altas de AIA que los concretos tradicionales sin humo de sílice, normalmente entre el 125 % y el 150 % de la dosis utilizada en los concretos tradicionales¹⁴. Del mismo modo, el uso de cemento de escoria y ceniza de cáscara de arroz en los diseños de mezclas de concreto también requerirá una dosis más alta de AIA¹⁴. La Tabla 1 muestra los efectos de algunos

ingredientes del concreto sobre el contenido de aire¹³.

La forma en que se produce y manipula el concreto también puede tener un efecto significativo en su contenido de aire y en el sistema de vacíos de aire incluido. Las variables de la producción de concreto que pueden afectar el contenido de aire y el comportamiento incluyen los métodos de dosificación, los procedimientos de mezclado y el tiempo y la velocidad de éste. A menudo, los AIA se aplican colocando el aditivo sobre la arena durante el mezclado. Este método de aplicación genera un contenido de aire estable.

Las variables relacionadas con la construcción y las condiciones de campo incluyen el transporte y la entrega, el reacondicionamiento, la colocación, la compactación, el acabado y la temperatura. La Tabla 2 muestra el efecto de algunas de estas variables sobre el contenido de aire¹³. Se ha descubierto que hay dos mecanismos responsables de la reducción del contenido de aire en el concreto durante el proceso de bombeo: el mecanismo de disolución y la ruptura mecánica al golpear una superficie¹⁵.

Parámetros de los vacíos de aire

Los parámetros de los vacíos de aire desempeñan un papel crucial para garantizar la durabilidad y el comportamiento del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Una vez que fragua el concreto, las burbujas de aire originales dejan vacíos en el concreto endurecido. Los principales parámetros del sistema de vacíos de aire son el contenido total de aire, el factor de espaciamiento, la superficie específica y el tamaño y la distribución de los vacíos de aire.

Tabla 1: Efecto de los ingredientes del concreto sobre el contenido de aire (basado en la Referencia 13)

Material		Efectos	Guía práctica
Cemento	Contenido de álcalis	Aumento del contenido de aire con el incremento del nivel de álcalis	Los cambios en el contenido de álcali requieren ajustes en las dosis de AIA
	Finura	Disminución del contenido de aire con el aumento de la finura	Los cambios en la fuente o la finura del cemento requieren ajustes en la cantidad de AIA
	Contenido de cemento	Disminución del contenido de aire con el aumento del contenido de cemento	Aumentar la dosis de AIA
Ceniza volante	—	Disminución del contenido de aire con aumento de la pérdida por ignición (LOI) (contenido de carbono)	Los cambios en la LOI o en la fuente de la ceniza volante requieren ajustes en la cantidad de AIA
Aditivos reductores de agua	—	Aumento del contenido de aire con el incremento de la dosis de aditivos reductores de agua a base de lignina	Reducir la dosis de AIA
Agregados	—	Aumento del contenido de aire con el incremento del contenido de arena	Reducir la dosis de AIA

Tabla 2:
Efectos de las variables de producción y construcción sobre el contenido de aire (basado en la Referencia 13)

Variable	Efecto	Guía práctica
Capacidad de la mezcladora	El contenido de aire aumenta a medida que se aproxima la capacidad máxima	Haga funcionar las mezcladoras casi a plena capacidad. No sobrecargue las mezcladoras
Temperatura	El contenido de aire disminuye con el aumento de la temperatura	Aumente la dosis de AIA a medida que la temperatura sube
Agitación durante el transporte	Los trayectos largos, incluso sin agitación, reducen el contenido de aire, especialmente cuando hace calor.	Optimizar los plazos de entrega. Mantener la temperatura del concreto dentro de los rangos recomendados
Bombeo	Reducción del contenido de aire entre un 2 y un 3%.	Utilice un bucle en la línea de bombeo descendente. Mantener la presión de bombeo lo más baja posible
Vibración interna	El contenido de aire disminuye bajo vibraciones prolongadas o a altas frecuencias; el 50 % del aire incluido puede perderse tras 2.5 minutos de vibración y el 80 % tras 9 minutos	No vibre en exceso. Evite los vibradores de alta frecuencia (>10 000 vpm)

Tabla 3:
Contenido total de aire recomendado para concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo (basado en la Tabla 4.2.2.6(c)1 de ACI SPEC-301-209)

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg.)	Contenido de aire, % [†]	
	Clase de exposición F2 [‡] y F3 [§]	Clase de exposición F1 [#]
10 (3/8)	7.5	6.0
12.5 (1/2)	7.0	5.5
20 (3/4)	6.0	5.0
25 (1.0)	6.0	4.5
37.5 (1-1/2)	5.5	4.5
50 (2)	5.0	4.0
75 (3)	4.5	3.5

*Las tolerancias sobre el contenido de aire en el momento de la entrega deberán estar dentro del ± 1.5 % de estos valores objetivo.

†Para ≥ 5000 psi (34.5 MPa), es aceptable reducir el contenido de aire en un 1.0 %.

‡F2 designa el concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo con exposición frecuente al agua.

§F3 designa el concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo con exposición frecuente al agua y exposición a productos químicos de deshielos.

#F1 designa el concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo con exposición limitada al agua.

Contenido total de aire

El contenido total de aire se refiere al volumen de aire presente en la mezcla de concreto. Comprende tanto el aire incluido (incorporado deliberadamente durante el mezclado) como el aire retenido (aire atrapado involuntariamente). Para lograr el contenido de aire deseado, es necesario prestar atención durante las etapas de diseño, especificación y construcción. La Tabla 3 muestra recomendaciones generales sobre el contenido total de aire para el concreto. La norma IS 9103:1999¹⁶ estipula que en el concreto con aire incluido se debe utilizar un contenido de aire del 6%. Un contenido de aire de aproximadamente el 4% puede lograr la trabajabilidad requerida y reducir el sangrado¹. Shetty¹ recomienda que, para el concreto con acero de refuerzo con un contenido de cemento relativamente alto, un límite de contenido de aire del 3 al 4% es adecuado, ya que la resistencia se verá comprometida más allá de este límite. Además, como se muestra en la Tabla 3, a medida que aumenta el tamaño del agregado, el requisito de contenido de aire se reduce para lograr los resultados deseados.

Factor de espaciamiento

El factor de espaciamiento representa la distancia relativa entre los vacíos de aire individuales dentro del concreto. Son preferibles los factores de espaciamiento más pequeños, ya que reducen la distancia que el agua tendría que recorrer antes de entrar en un vacío de aire, minimizando así la presión. Se cree que es necesario un factor de espaciamiento inferior a 0.200 mm (0.008 pulgadas) para mantener la durabilidad frente al congelamiento y deshielo^{11,16}.



Fig. 4: Equipo para determinar el contenido de aire mediante el método secuencial. (SAM) (foto cortesía de Tyler Ley, Oklahoma State University)

Superficie específica

La superficie específica indica el número relativo y el tamaño de las burbujas de aire dentro de un volumen determinado de aire. Un mayor valor en la superficie específica es mejor, ya que corresponde a un mayor número de burbujas pequeñas. Se considera que una superficie específica superior a $24 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ ($600 \text{ pulg.}^2/\text{pulg.}^3$) es esencial para la durabilidad frente al congelamiento y deshielo^{10,16}.

Ensayos y especificaciones

Existen diversas normas y especificaciones que regulan los ensayos y requisitos del concreto con aire incluido. Según ASTM C172/C172M, el tamaño mínimo de la muestra para el ensayo del contenido de aire del concreto fresco debe ser de 28 L (1 pie³), y la muestra no debe tomarse de las primeras o últimas porciones del lote¹⁷. Según ASTM C94/C94M, se debe obtener una muestra por cada 115 m³ (150 yd³) de concreto, al menos una vez al día¹⁸.

El método gravimétrico, que correlaciona la densidad de la mezcla y el contenido de aire, es el método más antiguo para determinar el contenido de aire del concreto fresco (ASTM C138/C138M¹⁹). Actualmente, el contenido de aire en el concreto fresco se mide comúnmente utilizando el método de presión (ASTM C231/C231M²⁰) o el medidor volumétrico de aire (ASTM C173/C173M²¹).

Un método de presión adicional, conocido como método de aire secuencial (SAM por sus siglas en inglés), amplía el método de presión estándar ASTM C231/C231M utilizando un medidor modificado (véase la Fig. 4). Tras determinar el contenido total de aire según ASTM C231/C231M, se aplican dos etapas de presión adicionales. Los diferenciales de presión se correlacionan con el espaciado y la distribución del tamaño de los vacíos de aire²². Las características de los vacíos de aire también pueden evaluarse utilizando AASHTO T 348²³.

Cuando se compara el contenido de aire en el concreto fresco con el contenido de aire en el concreto endurecido, pueden existir diferencias¹³. Estas diferencias pueden deberse a la estabilidad de las burbujas de aire, a factores ambientales como la temperatura y la presión, y a los procedimientos de manipulación, incluidos el mezclado, la entrega, la colocación y la compactación¹⁵.

Los parámetros del sistema de vacíos de aire en el concreto endurecido pueden evaluarse utilizando ASTM C457/C457M²⁴, RapidAir, un escáner plano y escaneo por tomografía computarizada. En las referencias 25 a 27 pueden encontrarse más detalles sobre los distintos tipos de procedimientos de ensayo. El efecto de la inclusión de aire en las propiedades en estado fresco y endurecido de los materiales a base de cemento, como la trabajabilidad, la reología, la resistencia a la compresión (se ha comprobado que disminuye entre un 4 y un 6% con cada aumento del 1% en el contenido de aire), la resistencia al congelamiento y deshielo y la resistencia al fuego, puede consultarse en la Referencia 15.

Bombeo de concreto con aire atrapado

Cuando el concreto se transporta a través de una bomba, es normal experimentar una pérdida de alrededor del 0.5 al 1.0% del aire incluido. La transición de alta presión en la bomba a condiciones casi de vacío en las secciones descendentes casi verticales de la tubería puede dar lugar a pérdidas de aire en la descarga. La experiencia de campo sugiere que la pérdida de aire es más significativa con alto contenido de cemento y mezclas de concreto fluidas. Sin embargo, si el sistema de vacíos de aire no está comprometido, esta pérdida no reduce la durabilidad al congelamiento y deshielo²⁸. Para minimizar la influencia negativa del bombeo en el concreto con aire incluido, deben tomarse varias medidas:

- Mantener la presión de bombeo lo más baja posible;
- Minimizar la caída libre dentro de la tubería;
- Reducir los efectos del impacto descargando directamente en el concreto previamente colocado; y
- Limitar la altura de descarga a un máximo de 1 m (3 pies)²⁹.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que un estudio de los efectos del bombeo en mezclas de laboratorio ha indicado que los parámetros de vacíos de aire y el comportamiento ante el congelamiento y deshielo no muestran cambios sustanciales como resultado del bombeo³⁰.

Alternativas a los AIA

También se ha demostrado que las microesferas poliméricas protegen al concreto de los daños cíclicos por congelamiento y deshielo, incluso en fracciones de volumen relativamente bajas. Estos sistemas no se ven afectados por los factores que hacen problemático la inclusión de aire con tensioactivos (véase la Tabla 1). Además, estas partículas crean espacios vacíos que permanecerán en gran medida insaturados, incluso bajo una exposición prolongada al fluido³¹⁻³³.

Resumen y conclusiones

El concreto con aire incluido ofrece ventajas significativas de durabilidad y desempeño, y se especifica comúnmente para pavimentos exteriores, aceras, calzadas y otras estructuras expuestas a ciclos de congelamiento y deshielo. También se utiliza en ambientes marinos, cubiertas de puentes y áreas sometidas a sales de deshielo o exposición química. Los aditivos inclusores de aire (AIA) también pueden aportar ventajas durante la construcción. Por ejemplo, los aditivos inclusores de aire mejoran el comportamiento de los morteros utilizados en los proyectos de repellado¹.

La selección de los AIA adecuados es crucial para garantizar la compatibilidad con las materias primas de las mezclas de concreto y el entorno de servicio. Factores como el contenido de aire deseado, las propiedades de los materiales cementantes/ cementos y agregados, las condiciones ambientales y los requisitos específicos de aplicación influyen en la elección y dosificación de los AIA. Deben realizarse ensayos para asegurar la compatibilidad con otros aditivos químicos y materiales en la mezcla de concreto.

También es conveniente determinar la secuencia óptima de dosificación de materiales y emplear métodos de mezclado adecuados. En general, la consideración cuidadosa de los AIA, las pruebas de compatibilidad y los métodos de mezclado garantizan la eficacia y longevidad de las estructuras de concreto con aire incluido. Los especificadores también deberían considerar alternativas a los AIA, como las microesferas de polímero, para superar muchos de los retos asociados.

Referencias

1. Shetty, M.S., Concrete Technology-Theory and Practice, S. Chand & Company Ltd., New Delhi, India, 2005, pp. 158-174.
2. "Effect of Air Entrainment on Concrete Strength," The Constructor, <https://theconstructor.org/concrete/effect-air-entrainment-concretestrength/8427/>.
3. Klieger, P., "Air Entraining Admixtures," STP 169-A, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1966, pp. 530-542.
4. Du, L., and Folliard, K.J., "Mechanisms of Air Entrainment in Concrete," Cement and Concrete Research, V. 35, No. 8, Aug. 2005, pp. 1463-1471.
5. Powers, T.C., "A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete," ACI Journal Proceedings, V. 41, No. 1, Feb. 1945, pp. 245-272.
6. Powers, T.C., "The Air Requirement of Frost-Resistant Concrete," Highway Research Board Proceedings, V. 29, 1950, pp. 184-211.
7. Tunstall, L.E.; Ley, M.T.; and Scherer, G.W., "Air Entraining Admixtures: Mechanisms, Evaluations, and Interactions," Cement and Concrete Research, V. 150, Dec. 2021.
8. Lerch, W., Basic Principles of Air-Entrained Concrete, American Cement Association, Washington, DC, 1960, 21 pp.
9. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI SPEC-301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.
10. ACI Committee E701, "Chemical Admixtures for Concrete (ACI E4-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 14 pp.
11. Wilson, M.L., and Tennis, P.D., Design and Control of Concrete Mixtures, Engineering Bulletin, EB001.17, 17th edition, American Cement Association, Washington, DC, 2016, 600 pp.
12. Pinto, R.C.A., and Hover, K.C., Frost and Scaling Resistance of High-Strength Concrete, RD 122, American Cement Association, Washington, DC, 2001, 70 pp.
13. American Cement Association, "Control of Air Content in Concrete," Concrete Technology Today, V. 19, No. 1, Apr. 1998, 4 pp.
14. Lallas, Z.N.; Gombada, M.J.; and Mendonca, F., "Review of Supplementary Cementitious Materials with Implications for Age-Dependent Concrete Properties Affecting Precast Concrete Production," PCI Journal, V. 68, No. 6, Nov.-Dec. 2023, pp. 46-64.
15. Shah, H.A.; Yuan, Q.; and Zuo, S., "Air Entrainment in Fresh Concrete and Its Effects on Hardened Concrete—A Review," Construction and Building Materials, V. 274, Mar. 2021, 17 pp.
16. IS 9103:1999 (Reaffirmed 2018), "Concrete Admixtures-Specification," Bureau of Indian Standards, Old Delhi, India, 1999, 11 pp.
17. ASTM C172/172M-17, "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 3 pp.

18. ASTM C94/C94M-24d, "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 16 pp.
19. ASTM C138/C138M-24a, "Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 6 pp.
20. ASTM C231/C231M-24, "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 10 pp.
21. ASTM C173/C173M-24a, "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 10 pp.
22. Ley, M.T.; Welchel, D.; Peery, J.; Khatibmasjedi, S.; and LeFlore, J., "Determining the Air-Void Distribution in Fresh Concrete with the Sequential Air Method," *Construction and Building Materials*, V. 150, 2017, pp. 723-737.
23. AASHTO T 348-22, "Standard Test Method for Air-Void Characteristics of Freshly Mixed Concrete by Buoyancy Change," AASHTO, Washington, DC, 2022, 13 pp.
24. ASTM C457/C457M-24, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 17 pp.
25. EN 480-11:2005, "Admixtures for Concrete, Mortar and Grout, Test Methods, Part 11: Determination of Air Void Characteristics in Hardened Concrete," European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2005, 22 pp.
26. Price, B., "Measuring Air Voids in Fresh Concrete," *Concrete*, V. 30, No. 4, 1996, pp. 29-31.
27. Li, H.-J.; Xie, Y.-J.; and Yang, L., "Air-Void Parameters Measurement of Fresh Concrete and Hardened Concrete," *Journal of Central South University*, V. 20, Apr. 2013, pp. 1103-1108.
28. NRMCA, "CIP 21: Loss of Air Content in Pumped Concrete," National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2005, 2 pp.
29. ACI Committee 304, "Guide to Placing Concrete by Pumping Methods (ACI PRC-304.2-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 20 pp.
30. Becker, J.; Ley, M.T.; and Cook, D., "Air-Void Parameters in Fresh and Hardened Concrete from Pumping," *ACI Materials Journal*, V. 121, No. 4, July 2024, pp. 27-36.
31. He, R., and Lu, N., "Air Void System and Freezing-Thawing Resistance of Concrete Composite with the Incorporation of Thermo-Expansive Polymeric Microspheres," *Construction and Building Materials*, V. 419, Mar. 2024, 15 pp.
32. Attiogbe, E.K., "Compliance Concept in Protection of Concrete from Freezing-and-Thawing Damage," *ACI Materials Journal*, V. 117, No. 6, Nov. 2020, pp. 187-200.
33. Attiogbe, E.K., "Microspheres in Hardened Concrete," *Concrete International*, V. 44, No. 3, Mar. 2022, pp. 43-50.

N. Subramanian, miembro del ACI, es un Ingeniero Consultor en Maryland, USA. Tiene 46 años de experiencia profesional, incluyendo docencia, investigación y consultoría en India y el extranjero. Subramanian ha sido autor de 25 libros y más de 320 artículos técnicos publicados en revistas indias e internacionales y memorias de conferencias. Ha recibido el Tamilnadu Scientist Award en 2001, el Lifetime Achievement Award del Instituto Indio del Concreto (ICI) en 2013, y el Edmund Friedman Professional Recognition Award de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) en 2024. También ha servido como Vicepresidente del ICI y la Asociación de Ingenieros Civiles Consultores (India). Recibió su Doctorado del Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India, en 1978.



Título original en inglés:
**Air-Entrained Concrete and
Its Air-Void System**

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



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



Revisor Técnico:
**Dr. Francisco D.
Anguiano Pérez**

Los números “F” y la precisión de los dispositivos de medición

P. *En nuestros proyectos de construcción se especifican Números F para que las losas que recibirán un acabado nivelado sean medidas de conformidad con la norma ASTM E1155-20, “Método de Prueba Estándar para Determinar los Números F_F de Planicidad del Piso y F_L de Nivelación del Piso.”¹ El laboratorio de pruebas que contrata el propietario mide los números F con cualquier dispositivo que posean – y proporcionan un informe con los resultados correspondientes. En ocasiones, el propietario contrata a un consultor o laboratorio independiente para medir los números F mediante escaneo láser. Hemos visto muchos dispositivos diferentes que se utilizan para medir números F. Como contratistas, ¿tenemos alguna forma de elegir el dispositivo de pruebas?*

R. Es una buena pregunta; la respuesta depende de las especificaciones de su proyecto y de la norma ASTM E1155. Algunas especificaciones de proyecto estipulan el dispositivo requerido para medir números F. No obstante, eso es raro, ya que la mayoría de las especificaciones de proyectos no mencionan este tema, únicamente hacen referencia a la norma ASTM E1155.

La norma ASTM E1155 especifica dispositivos de medición de elevación de punto ya sea mediante un aparato Tipo I o Tipo II, capaz de medir las elevaciones de una serie de puntos espaciados a intervalos regulares de 12 pulgadas (300 mm) a lo largo de una línea recta. En la Sección 6, la norma estipula que un aparato Tipo I incluye: 1) reglas niveladas con herramientas para medir la distancia vertical desde la regla hasta la superficie del piso; 2) nivel óptico con vernier u objetivo escalado; 3) nivel láser con vernier u objetivo escalado; 4) cable de nivel tenso con calibre para medir la distancia vertical desde el cable hasta el piso; 5) perfilómetro para pisos; y 6) dispositivo de imagen láser. Los ejemplos de un aparato Tipo II incluyen: 1) Inclínómetro con espaciamiento de punto

de contacto de 12 pulgadas; o 2) perfilómetro de piso diferencial longitudinal con un espaciamiento de rueda del sensor de 12 pulgadas.

De esta forma, todos los aparatos utilizados para medir los números F deben cumplir con estos requerimientos. Por lo general, los números F se miden con diferentes tipos de perfilómetros de piso o con dispositivos de imagen láser de diversos fabricantes.

En la Nota 3, la norma ASTM E1155 recomienda que todos los participantes del proyecto acuerden cuál será el aparato de prueba exacta que utilizarán para cumplir con las especificaciones del contrato “Debido a que los sesgos de los resultados obtenidos con este método de prueba variarán directamente con la exactitud del dispositivo de medición en particular que se emplee.”¹ No obstante, ASTM E1155, Sección 1.2 determina que las “Notas” no se consideran requerimientos del método de prueba.

Una inquietud, tal como se indica en la Sección 12 (Precisión y Sesgo) de la norma ASTM E1155 son los datos limitados disponibles para generar una afirmación de precisión y sesgo en algunos de los dispositivos permitidos. La norma también reconoce que los datos utilizados para generar la afirmación actual de precisión y sesgo surgieron de tres modelos diferentes de un instrumento Tipo II. El documento también menciona que: “Las versiones futuras de este método de prueba se publicarán con la precisión y sesgo que se genera al utilizar otros aparatos de medición, cuando se cuenta con datos suficientes disponibles.”¹

A la fecha, no hay actualizaciones disponibles sobre esta afirmación de precisión y sesgo. No obstante, dos artículos publicados en *Concrete International* proporcionan algunos datos sobre dispositivos de imagen láser: “ASCC 3-D Laser Scanning Study: Eight participants used scanners to determine F-numbers” [Estudio de escaneo láser: ocho participantes utilizaron escáneres para determinar números F] de Paul et al.,² de febrero de 2020, e “Interlaboratory Study on Precision Statement of Using a Terrestrial Laser Scanner to Verify Concrete Tolerance” [Estudio interlaboratorio sobre la declaración de precisión del uso de un escáner láser terrestre para verificar la tolerancia del concreto] por Zhang et al.,³ de enero de 2025.

Si bien la Nota 3 de la norma ASTM E1155 es únicamente una recomendación, se considera una buena práctica incluir en la especificación del proyecto un requerimiento de una reunión previa a la construcción de concreto y una reunión sobre la tolerancia obligatoria de ACE SPEC-117-10(15)⁴ en las que se lleve a cabo un debate sobre el dispositivo que se utilizará para medir números F con el propósito de cumplir con el contrato. La discusión y elección final del dispositivo deberán capturarse en las minutas de la reunión y distribuirse a todas las partes.

Referencias

1. ASTM E1155-20, "Standard Test Method for Determining FF Floor Flatness and FL Floor Levelness Numbers," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.
2. Paul, W.; Klinger, J.; y Suprenant, B.A., "ASCC 3-D Laser Scanning Study," Concrete International, V.42, No. 2, Feb. 2020, pp. 30-36.
3. Zhang, L.; Hernandez, M.; Dare, J.; Kowalski, M.; y Che, E., "Interlaboratory Study on Precision Statement of Using a Terrestrial Laser Scanner to Verify Concrete Tolerance," Concrete International, C.47, No. 1, Jan. 2001, pp. 37-47.
4. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hill, MI, 2010, 76 pp.

Gracias a Bruce A. Suprenant, Consultor de Concreto, Tucson, AZ, USA, y a James E. Klinger, Consultor de Concreto, Antioch, CA, USA, por proporcionar la respuesta a esta pregunta.

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.

Título original en inglés:
Concrete Q&A.
F-numbers and Accuracy of
Measurement Devices

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



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



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



CONCRETO
LATINOAMÉRICA