



est. 2020

VOLUMEN VI | NÚMERO 9 | SEPTIEMBRE 2025

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

5 Aniversario

Una Geoda Arquitectónica

El Centro Walton de la Universidad Estatal de Arizona toma su inspiración del desierto

Por Deborah R. Huso

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

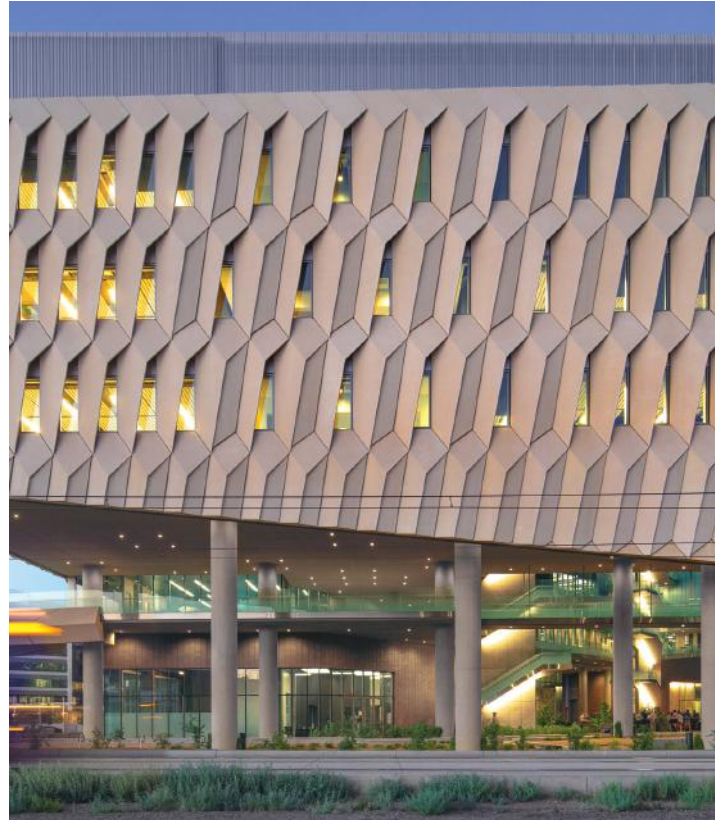
Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



El Centro Rob y Melani Walton para la Salud del Planeta, ubicado en la Universidad Estatal de Arizona en la ciudad de Tempe, Arizona, EE. UU., es quizá el proyecto de construcción sustentable más ambicioso que ha desarrollado esta institución hasta la fecha.

Se trata de una estructura de 26 100 m² que integra características inspiradas en la flora autóctona y en el aprovechamiento de la sombra natural. Está recubierta con una capa de concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC) y cuenta con una fachada formada por paneles diseñados a partir de la biomimética de un cactus típico del desierto.

El manejo estratégico de la orientación, las sombras y los flujos de aire permite refrescar el ambiente sin necesidad de recurrir a sistemas de climatización en varias áreas del edificio. Para más detalles, consulte el artículo 1 de este número de *Concreto Latinoamérica*.

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 Septiembre 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:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll

¡Únete hoy!

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

CONTENIDO

E | Editorial – Septiembre de 2025

Concreto Latinoamérica: Cinco años construyendo puentes y creciendo juntos

4 | Evolución del Código ACI-562

Dónde estamos, cómo hemos llegado hasta aquí y hacia dónde vamos

Por F. Michael Bartlett, Jeffrey S. West, y Carl J. Larosche

1 | Una Geoda Arquitectónica

El Centro Walton de la Universidad Estatal de Arizona toma su inspiración del desierto

Por Deborah R. Huso

5 | American Society of Concrete Contractors Declaración de posición # 48 **Concretos con bajo contenido de carbono incorporado**

2 | Desarrollo de una especificación de diseño para el pronóstico de la vida útil

Por Kyle D. Stanish y Jose Pacheco

6 | Preguntas y Respuestas **Refuerzo de losas sobre el suelo para controlar el agrietamiento por retracción restringida**

3 | Novedades en Tecnología. **Inteligencia en acción**

Cómo la tecnología de vanguardia está transformando la construcción de concreto, desde rascacielos hasta autopistas

Por Kevin García

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.

Editorial – Septiembre de 2025

Concreto Latinoamérica: Cinco años construyendo puentes y creciendo juntos

Hace cinco años, **Concreto Latinoamérica** nació con una visión clara: conectar a los profesionales del concreto en nuestra región, compartir conocimiento técnico de vanguardia y promover una comunidad dinámica, comprometida con la innovación y la excelencia. Hoy celebramos con orgullo nuestro **quinto aniversario**, con la misma energía y pasión con la que iniciamos este camino.

Durante este tiempo, hemos publicado, traducido y adaptado contenido técnico de alto nivel de la revista Concrete International, y compartido investigaciones, experiencias y desarrollos propios que reflejan la diversidad, la creatividad y el potencial del sector del concreto en América Latina. Cada edición ha sido posible gracias al entusiasmo de nuestros colaboradores, el apoyo de nuestros lectores y el trabajo comprometido del equipo editorial.

Llegamos a este momento tan especial de nuestro quinto aniversario con una nueva oferta para nuestros lectores y capítulos colaboradores: **la nueva página web de la revista Concreto Latinoamérica – www.acilatinoamerica.com** – en la que ya se pueden consultar todos los números de la revista desde su nacimiento, y en la que se irán incorporando las futuras ediciones. Esto significa concentrar lo más reciente del mundo del concreto en un solo sitio, accesible con un solo clic y de manera totalmente gratuita.

En este portal, además, se podrá acceder al directorio de los capítulos latinoamericanos del ACI, así como a la publicación de eventos técnicos e información relevante que cada capítulo quiera compartir con las audiencias y lectores de la revista. Será un enlace de comunicación entre los capítulos latinoamericanos del ACI y una plataforma de promoción para nuestras actividades, eventos, reconocimientos y logros.

Agradecemos el esfuerzo que, a lo largo de estos cinco años, han realizado los capítulos del ACI de Latinoamérica al llevar a cabo las traducciones y revisiones técnicas de los artículos con puntualidad; a todos los miembros del Comité Editorial por su compromiso constante para producir cada número de la revista; al Departamento de Comunicación e Imagen Institucional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su invaluable apoyo en el diseño editorial y la elaboración mensual de la revista; y, desde luego, a la propia Facultad de Ingeniería Civil por brindarnos las facilidades necesarias para mantener vivo este proyecto. Gracias también al ACI por permitirnos realizar las traducciones y proporcionarnos oportunamente los artículos originales. Finalmente, nuestro reconocimiento a todos los que, de una u otra manera, han colaborado con este proyecto durante estos primeros cinco años.

Miramos hacia el futuro con optimismo y renovado compromiso. **Concreto Latinoamérica**, ahora también desde su página de internet, seguirá siendo un puente entre profesionales, una plataforma para ideas transformadoras y un espacio de encuentro para quienes creen en el poder del concreto como motor de desarrollo sostenible para todos nuestros países.

Gracias por acompañarnos estos cinco años. Lo mejor está por venir.

Una Geoda Arquitectónica

El Centro Walton de la Universidad Estatal de Arizona toma su inspiración del desierto

Por Deborah R. Huso

Cuando la Universidad Estatal de Arizona (ASU [por sus iniciales en inglés]) se dispuso a diseñar y construir una nueva instalación de investigación de alto desempeño y la vía de acceso noreste al campus en Tempe, Arizona, Estados Unidos de Norteamérica, la sustentabilidad fue una prioridad. La universidad aspira a convertirse en completamente carbono neutral para 2035.

No obstante, construir de forma sustentable y crear una estructura que utilice la mínima cantidad de energía en su operación diaria no es una tarea pequeña en el sur de Arizona. Las temperaturas en verano pueden alcanzar los 49°C (120°F) y el sol abrasador brilla más de 300 días al año.

El Rob and Melani Walton Center para la Salud del Planeta (Fig. 1) es quizá el proyecto de construcción sustentable más ambicioso de la universidad hasta este momento. La estructura se eleva desde un lote triangular, en la intersección más concurrida del estado, como una geoda gigante abierta. (Una geoda es una cavidad rocosa, normalmente de forma esférica u ovalada, cuyo interior está tapizado con cristales minerales). En su estructura y materiales, el edificio de ciencias interdisciplinarias de 26 100 m² (281 000 ft²) combina las características de supervivencia de la flora autóctona y la sombra natural proporcionada por la topografía del desierto.

Recubierta por una capa de concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC [por sus iniciales en inglés]), la fachada en paneles del edificio se basa en la biomimética de la orientación de un cactus tipo saguaro al sol. Los cactus se protegen a sí mismos del calor del desierto con los pliegues profundos de su piel, de la misma forma en que lo hacen las ventanas de concreto angulares del Walton Center que dan al sur, al este y al oeste, en tanto que las ventanas que dan al norte apenas están cubiertas.

“El desierto fue el alma de este proyecto desde el inicio” afirma Tom Reilly, Socio de Architekton, la firma de arquitectura con sede en Tempe, Arizona. Indicó que el equipo del proyecto deseaba emular la forma en que las personas que viven en el desierto



Fig. 1: El Rob and Melani Walton Center para la Salud del Planeta en la Universidad Estatal de Arizona, Tempe, Arizona, Estados Unidos de Norteamérica (cortesía de Grimshaw)

se establecen alrededor de fuentes de agua. “Queríamos un edificio de acceso y un concentrador. El corredor de investigación, el campus universitario, el corredor comunitario y de innovación rodeando el [Walton Center]. Es como la sala de estar del campus.”

Diseñar para el Desierto

El Walton Center, que se abre hacia la calle como un cañón de ranura desértico, que dirige la infiltración del viento, luz, aire y flujo peatonal hacia su patio central. En el invierno, el sol brinda un calentamiento solar pasivo al patio, en tanto que en el verano, se bloquea la luz del sol para mantener fresco tanto el patio, como sus especies de plantas autóctonas. Los arquitectos encontraron la inspiración para el diseño del patio estudiando la orientación y forma de las viviendas ancestrales de los pueblos indígenas en los acantilados del suroeste de los Estados Unidos.

Según Reilly, los diseñadores normalmente habrían considerado una orientación orienteponiente para el edificio que rodea a este patio protegido, pero en lugar de ello terminaron con una estructura que envuelve el lote triangular con el tren ligero al sur, calles al norte y al este y un puente peatonal que va sobre University Drive hacia el tren ligero.

De acuerdo con Carlos Diaz, Director del Proyecto de McCarthy Building Companies, Inc. con sede en Phoenix, Arizona, el sitio triangular del edificio (Fig. 2) contribuyó con el diseño de la estructura, en particular sus cimientos. “La intersección fue difícil”, dijo. “Es la intersección más transitada del estado, además de ser la entrada noreste al campus”.

El sitio también está dividido por una vía fluvial activa (sobre la que ahora se extiende el Walton Center) y que las cuadrillas tuvieron que reubicar temporalmente y después reconstruirla como parte del proyecto final. El edificio se encuentra a unos



Fig. 2: El plano del sitio de Walton Center (cortesía de Grimshaw)

cuantos metros de la línea ferroviaria de la ciudad y lejos de University Drive. “Prácticamente es un sitio triangular, siendo la hipotenusa una vía de ferrocarril activa”, explicó Díaz. “La logística del sitio fue extraordinaria”.

“La idea de la geoda no fue tanto una inspiración, sino una analogía”, afirmó Bill Horgan, Socio a Cargo de la firma de arquitectura Grimshaw de Nueva York, NY, Estados Unidos de Norteamérica. “Lo que eso significa es que se cuenta con esta envolvente exterior protectora, sólida, que abriga y le da sombra al edificio protegiéndolo del intenso sol y del calor de Arizona. Y luego, en el interior, se descubre esta serie de fachadas más cristalinas y transparentes que rodean el patio”.

Las fachadas del edificio que dan al patio interior tienen suficiente sombra para permitirles ser más transparentes. Algunas son de vidrio y otras de metal de color. Además, el equipo de diseño eligió hacer un corte al canal existente a través del terreno del edificio hacia un espacio público que le agregaría “frescura” al patio.

“Buscamos maximizar el confort y desempeño térmico en el patio”, afirmó Horgan, “y alejarnos del concepto de un atrio con aire acondicionado”. En lugar de ello, el “atrio” del Walton Center es el patio con sombra, que, al igual que un cañón de ranura, está abierto a las brisas prevalecientes que se mueven de este a oeste. “El edificio en sí mismo crea espacios de encuentro con sombra”.

El patio incluye plantas autóctonas, tolerantes a la sequía que están expuestas a la luz del sol durante 6 horas al día. Con las aberturas del edificio al este y al oeste, el patio recibe una brisa casi constante de los vientos dominantes, en tanto que el canal abierto debajo del edificio brinda una sensación de frescura.

Según Raily, 50% de la placa del piso del Walton Center no toca el suelo. “Todo el extremo sudoeste está elevado dos pisos [Fig. 1], explicó. “Parte de eso es para permitir el acceso del canal, pero también proporciona luz del día a las plantas en los meses de invierno”.

Otra característica única del Walton Center es la falta de escaleras cerradas y climatizadas. “Este edificio divide los laboratorios del espacio de oficinas y de clases y no cuenta con un núcleo de escaleras cerrado”, explicó Horgan. “Los tres núcleos primarios de escaleras para las personas que transitan entre pisos están al aire libre en el patio. Esto ayuda a maximizar aún más el uso de la energía en el edificio por la reducción del espacio climatizado”.

Losas Huecas y Ceniza Volante para la Sustentabilidad

La construcción del Walton Center inició en enero de 2019. Una característica importante del compromiso de los equipos de diseño y construcción para construir de manera sustentable fue su esfuerzo por reducir la cantidad de concreto en la estructura. “La máxima prioridad fue descarbonizar el edificio,” expresó Horgan.

“Entendimos que una de las premisas fundamentales del proyecto era la sustentabilidad,” afirmó Stephen Curtis, Director de la oficina de Nueva York de la firma de ingeniería estructural Buro Happold. De manera tal que surgió un sistema de losas huecas para reducir la huella de concreto del edificio. “No es una tecnología especialmente habitual en los Estados Unidos,” dijo Curtis, “y esta fue la primera vez que se puso en marcha en Arizona.”

El equipo seleccionó la tecnología de losas huecas para la base de concreto. La cuadrilla de construcción trabajó con losas planas sencillas que contenían esferas delgadas de plástico reciclado y colocaron el concreto en torno a ellas (Fig. 3). El sistema de losas huecas puede ahorrar 30% del volumen y peso del concreto con respecto a las losas planas tradicionales, precisó Horgan. También hay menos carga, lo que significa uso reducido de concreto en cimientos y columnas.

“Se utilizan huecos, esferas de plástico para desplazar el volumen de concreto donde éste realmente no ayuda,” aclaró Curtis. “Se cuele una losa plana, con un plafón liso, pero que no es totalmente sólido.” Las esferas de plástico de la cimbra hueca vienen pre-ensambladas dentro de cestas de malla reforzada con acero, de tamaño transportable y se colocan en la cimbra de concreto para colarlas dentro de la losa. El sistema de losa aligerada resultó en una reducción del 35% de la carga muerta y redujo el uso de concreto en la estructura en 255 m³ (334 yd³).

“Se aligera el peso de la losa pero manteniendo la integridad del refuerzo e incrementando la capacidad de las losas para librar claros entre columnas”, comentó Díaz.

Las losas de concreto elevadas en el lado del edificio en el que no se encuentran los laboratorios, cuenta con la tecnología de la base hueca. No obstante, no pudo utilizarse del lado del edificio en el que se encuentran los laboratorios debido a preocupaciones por la vibración. “Cuando se aligera la losa para lograr un mayor claro entre columnas, se proporciona menos rigidez, por lo que no cumple con los requerimientos del lado del laboratorio”, observó Díaz.



Fig. 3: La instalación con cimbra hueca y colocación de concreto para la base elevada (cortesía de McCarthy Building Companies)

Si bien la tecnología de la base hueca se localiza en Canadá, la compañía pudo obtener plástico reciclado y utilizar un taller de fabricación en el sur de California para estar más próximos al sitio del proyecto.

El equipo del proyecto también redujo la huella de carbono del concreto reemplazando el 40% del cemento Portland por ceniza volante. Esta opción sustentable ampliamente relevante se utilizó en toda la construcción, incluyendo las losas huecas. “Por lo general, las mezclas con alto contenido de ceniza volante se utilizan para controlar el calor de la hidratación y con menor frecuencia cuando preocupa la calidad del acabado,” indicó Díaz. “Si bien reducir la huella de carbono mediante la reducción del cemento tiene un impacto ambiental positivo, el alto contenido de ceniza volante puede ‘darle un aspecto marmóreo’ al acabado del concreto. También viene con una menor ganancia en la resistencia y es más difícil de trabajar cuando se está haciendo el acabado de la superficie de losa”.

McCarthy condujo pruebas por lotes con el productor de concreto y de aditivos para desarrollar una mezcla de concreto con ceniza volante, con un aditivo reductor de agua y con un aditivo reductor de agua de alto rango. “Mediante unas cuantas colocaciones de prueba, encontramos que podíamos lograr la calidad de acabado que necesitábamos desde el punto de vista de concreto aparente y de las propiedades de consolidación requeridas en la mezcla de concreto”, aseveró Díaz. “Lo que no pudimos evitar fue el marmoleo de la ceniza volante en el concreto. Es perceptible, pero se convirtió en simbólico en la historia de sustentabilidad [del edificio]”.

Fachada Protectora de Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio

“Justo desde el inicio, supimos que necesitábamos un edificio que pudiera ser análogo a esta idea de geoda con una envolvente exterior sólida”, explicó Horgan. “Deseábamos optimizar el desempeño térmico de la envolvente”. Esto significó conservar el área esmaltada de la estructura de 25 a 30% en las fachadas del este, del sur y del oeste.

“La estrategia del diseño fue crear una envolvente de aspecto rocoso, terroso para el exterior”, dijo Díaz. “Es difícil hacer eso con cualquier otra cosa que no sea un material rocoso”. Señaló que el equipo pudo haber utilizado concreto precolado para la fachada del Walton Center, pero con la forma y profundidad de los paneles, la envolvente del edificio hubiera sido excesivamente pesada. “A medida que incrementa la carga en el extremo de la losa, aumenta el espesor del concreto y, como resultado, también el de los cimientos, columnas, [y] elementos de soporte”, agregó Díaz. “Esto hubiera sido contradictorio a los objetivos del proyecto”.

Barzin Mobasher, Catedrático de la Facultad de Ingeniería Sustentable y del Entorno Construido de la Universidad Estatal de Arizona, indicó que la razón principal por la que se utilizaron paneles de GFRC para la fachada del edificio fue la de reducir el peso de la envolvente. “El concreto precolado estándar es de 4 a 5 pulgadas [102 a 127 mm] de espesor y tiene que reforzarse”, expresó. “Ese es peso muerto, porque está permanentemente conectado al edificio”. El GFRC permitió reducir el espesor de los paneles a 20 mm (0.8 pulgadas).

Debido a que el peso de los paneles de GFRC es significativamente menor al de los precolados, incrementaron las opciones de izaje y elevación, permitiéndole a la cuadrilla adaptarse con celeridad a las restricciones circundantes al sitio del proyecto.

“Cada elevación del edificio presentó un desafío distinto – de manera que el equipo tuvo que desarrollar una estrategia para la secuenciación e integración de los materiales al colocar los elementos exteriores”, dijo Díaz, indicando que el sitio de la obra no hubiera permitido espacio para andamiaje tradicional ni para ninguna aplicación sola de acceso desde el exterior.

Así es que en lugar de paneles precolados de 64 a 75 mm (2.5 a 3 pulgadas) el equipo podría utilizar paneles de GFRC de 20 a 25 mm (0.8 a 1 pulgada). “Los diseños iniciales de los paneles requirieron múltiples formas”, afirmó Díaz, “pero el fabricante, el equipo de diseño y McCarthy hicieron que los paneles de la fachada disminuyeran a seis formas principales que pudieran manipularse para hacer diferentes diseños”.

De acuerdo con la Socia de Arhitekton Rachel Green Rasmussen, el diseño del panel se inspiró en el cactus saguaro. “Esta idea de la auto sombra que el cactus tiene de forma natural es algo que hemos estado explorando durante décadas. Las costillas del cactus son una respuesta directa al sol. Por lo que cada fachada de este edificio tiene una relación única con los ángulos del sol. Por tanto, la piel [del edificio] responde a las necesidades de cada fachada”.

Los “párpados” de los paneles de GFRC protegen el esmaltado del edificio a la vez que dejan entrar la luz del sol y ofrecen vistas a las personas que se encuentran en el interior (Fig. 4). “No deseábamos eliminar las ventanas en su totalidad, afirmó Rasmussen. “Queríamos que la gente tuviera una vista espectacular. La luz del día rebota en el interior para reducir la necesidad de iluminación eléctrica.

“Es una fachada muy dinámica mientras uno se mueve alrededor del edificio”, agrego Rasmussen. En el norte, el esmaltado está abierto y expuesto para ofrecer vistas sin obstrucción, en tanto que al este y al oeste está más protegido. El sur es un balance de ambos. El interior de los paneles de GFRC está alineado con pintura terracota que se hace visible a medida que uno se mueve alrededor del edificio. Entre tanto, el color blanquecino de los paneles de GFRC con sus ángulos y facetas hace que el edificio cobre vida cuando el sol y la sombra inciden sobre él”, observó.

El GFRC también brindó la oportunidad de crear un espacio físico entre la estructura del edificio y su fachada. “Ese espacio puede controlarse como una capa aislante y reduce la transferencia de calor al edificio”, observó Mobasher. “Estos paneles sólo están conectados al edificio en tres a cuatro puntos y se unen en una forma en la que no hay conducción de calor”.

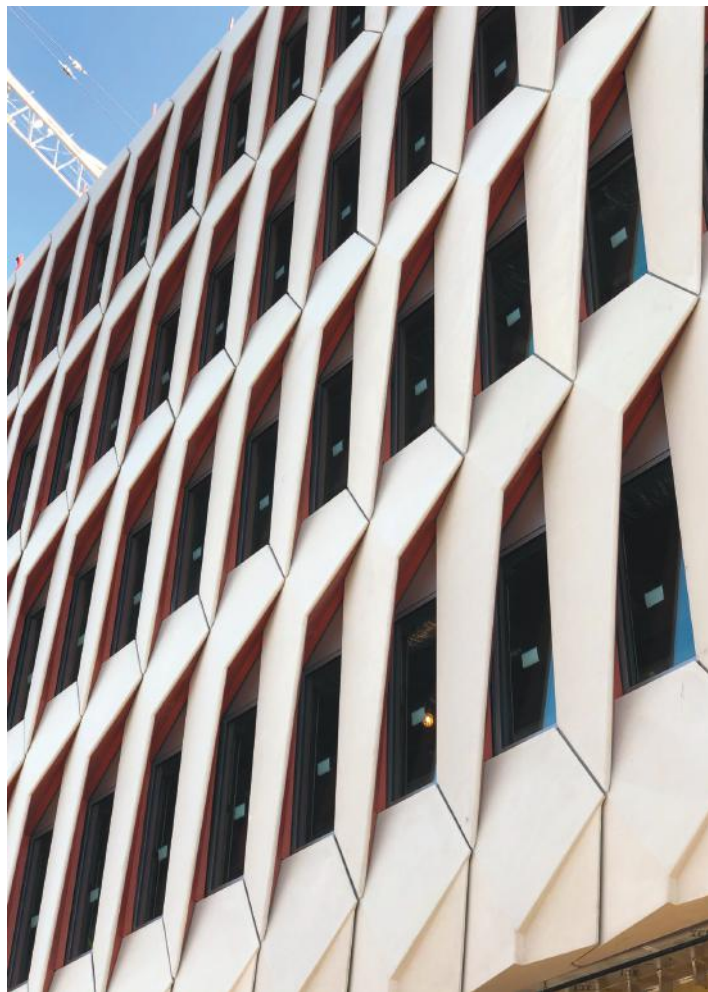


Fig. 4: Los paneles de GFRC con sus “párpados” protegen el esmaltado del edificio a la vez que siguen permitiendo que entre la luz del sol y ofrecen vistas a la gente que se encuentra en el interior (cortesía de Buro Happold)

Según Reilly, la cubierta prefabricada del edificio debajo de los paneles de GFRC se diseñó como mega paneles y había grúas que los elevaban y colocaban en su sitio. “Estábamos verdaderamente muy cerca de la propiedad del tren ligero al sur”, indicó. “Ni siquiera había espacio suficiente para el andamiaje”.

MKB Construction, Inc. con sede en Tempe, Arizona instaló los paneles de GFRC. De acuerdo con Dustin Williams, Director de Gestión de Proyectos en Salt Lake City, Utah, fabricante de GFRC, Unlimited Designs, Inc., con sede en los Estados Unidos de Norteamérica, MKB instaló paneles aislados prefabricados con GFRC sobre ellos. “Es un sistema de paneles ventilados con aislamiento continuo”, explicó Williams. “Se instalaron cuatro paneles GFRC sobre cada sección”.

Unlimited Designs estudió la mejor forma de fabricar los paneles utilizando primero un modelo de resina de Grimshaw. “Diseñaron para que hubiera mucha repetición, colocando [los paneles] en forma tal que no fueran perceptibles”, afirmó Williams. Unlimited Designs hizo moldes de madera utilizando una máquina de control numérico por computadora (CNC [por sus iniciales en inglés]). Después, todos se colaron en moldes de fibra de vidrio. “El acabado se ve como de un color marrón /desértico del sudoeste”, dijo Williams, “y de cerca, se ve como piedra”, (Fig. 5).

Williams dijo que su instalación fabricó 8 825 m² (95 000 ft²) de GFRC, lo que asciende a 1 200 paneles, incluyendo las partes en las que los paneles envuelven las esquinas. Utilizaron 12 moldes principales para el proyecto y de esos 12 moldes salieron casi 900. El equilibrio salió de los 16 moldes de esquina. También manufacturaron 150 piezas de remate y 150 paneles de zócalo. “Bloqueamos la parte inferior de esos 12 moldes originales para hacer las piezas de remate”, agregó Williams.

El panel GFRC promedio pesa aproximadamente 635 kg (1 400 lb), el más grande y más pesado llegó a los 907 kg (2 000 lb), con dimensiones de 4 x 2.5 m (14 x 8 ft).

Terminación del Proyecto

El proyecto del Walton Center concluyó en diciembre de 2021, a pesar de las complicaciones de la construcción debidas a la pandemia del COVID-19. El costo total del proyecto fue de 156,164,000 dólares estadounidenses. El edificio obtuvo la certificación LEED-NC Platinum.

Nosotros no diseñamos el edificio, el sitio lo diseñó”, afirmó Reilly. “Lo realmente divertido acerca de este proyecto es que mucho de lo que pudimos lograr se debió a que diseñamos y construimos de forma holística”, agregó, no sólo por los requerimientos LEED, sino también por el Living Building Challenge [desafío del edificio vivo]. “Al emplear soluciones pasivas de diseño, comprometiéndonos con la analítica de la construcción en la fase inicial y teniendo al constructor y los trabajadores a bordo desde temprana etapa del proceso, pudimos estructurar lo que era posible antes de diseñar y crear diseños basados en soluciones”.

Al terminar y evaluar las operaciones de la construcción, el Walton Center ha mostrado que la intensidad del uso de energía (IUE) representa una reducción de aproximadamente el 50% respecto a la línea base.



Fig. 5: Conjunto de paneles GFRC para el Walton Center fabricados por Unlimited Designs (cortesía de Unlimited Designs)

Deborah R. Huso es Directora Creativa y Socia Fundadora de WWM, Farmington, NM, Estados Unidos de Norteamérica. Ha escrito para diversas publicaciones comerciales y del consumidor, tales como Ascent, U.S. News & World Report, Concrete Construction, y Construction Business Owner. Ha desarrollado páginas web y estrategia de contenido para varias compañías de productos de construcción, incluyendo Cultured Stone y Trex Company, Inc.



Título original en inglés:
An Architectural Geode.
Arizona State University's Walton Center
takes its inspiration from the desert

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



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



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

Desarrollo de una especificación de diseño para el pronóstico de la vida útil

Por Kyle D. Stanish y Jose Pacheco

La tecnología y el conocimiento sobre el desempeño de los materiales y los mecanismos de degradación han avanzado significativamente. Se está prestando mayor atención al desempeño en durabilidad para reducir la tasa de deterioro y aumentar la vida útil de las estructuras sin reparaciones mayores, lo que conlleva un mejor uso de los recursos.

Las expectativas de vida útil se están convirtiendo en parte común de los requisitos de diseño. Para evidenciar el cumplimiento, se debe completar un proceso de diseño por durabilidad, similar al proceso de diseño estructural para cumplir con los requisitos de carga. Este proceso debe realizarse en paralelo al diseño estructural, ya que hay detalles que afectan a ambos, como las características del material y el

espesor del recubrimiento de concreto. Por ejemplo, un mayor recubrimiento es más favorable para la durabilidad, mientras que un recubrimiento mínimo es preferible estructuralmente para mitigar fisuras y reducir el peso propio.

El diseño estructural tiene una larga historia, desde las prácticas empíricas hasta las teorías modernas. En cambio, el diseño por durabilidad es relativamente nuevo y sus estándares aún están en desarrollo. Aunque se pueden seguir los principios del diseño estructural, el diseño de durabilidad tiene requisitos propios. El Comité ACI 365 desarrolló el Código ACI 365-24: Especificación de Diseño para Evaluación de la Vida Útil¹ que establece algunos requisitos mínimos y un estándar aplicable en la práctica. Este estándar está destinado a ser usado con cualquier modelo o enfoque de vida útil.

Especificación de diseño

Aunque la mayoría de las personas están familiarizadas con los códigos (como ACI-318 o ACI-562) o con las especificaciones (como ACI SPEC-301 o ACI SPEC-563), el “Manual de Comités Técnicos del ACI”² describe otros tipos de documentos con lenguaje obligatorio, como se muestra en la Figura 1.

Las diferencias se basan en el público objetivo y en la forma en que los documentos deben ser utilizados por la industria. Los estándares (indicados con el prefijo CODE) incluyen códigos, especificaciones de diseño, casos de código y criterios de aceptación.

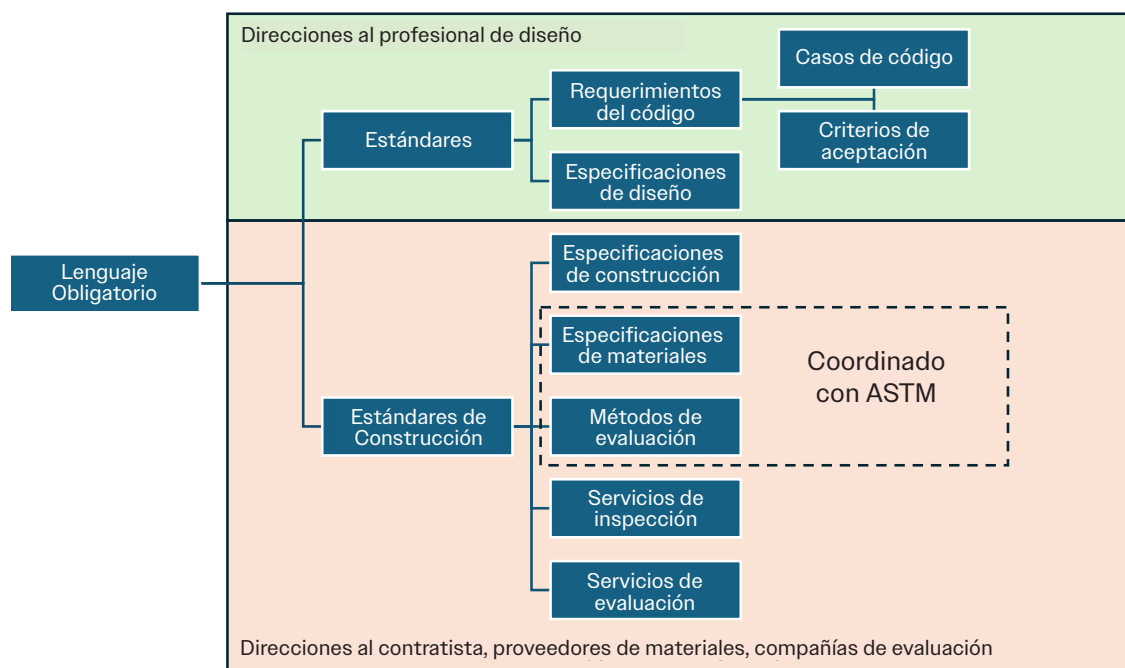


Fig. 1: Documentos de lenguaje obligatorio de acuerdo con el “Manual de Comités Técnicos del ACI”²

y están dirigidos al profesional de diseño. Los estándares de construcción (indicados con el prefijo SPEC) incluyen especificaciones de construcción, especificaciones de materiales, procedimientos de ensayo y criterios de inspección.

El documento de lenguaje obligatorio más apropiado para la predicción de vida útil resultó ser una especificación de diseño. Algunos ejemplos de especificaciones de diseño desarrolladas previamente son: el ACI CODE-313-16: Especificación de diseño para silos y tubos de apilamiento de concreto para almacenar materiales granulares y comentario³ y el ACI CODE-550.3-13: Especificación de diseño para pórticos especiales resistentes a momento de concreto prefabricado postensado no adherido que cumplen 374.1.⁴ El objetivo de una especificación de diseño es proporcionar directrices al profesional de diseño. Sin embargo, las especificaciones de diseño no están destinadas a ser adoptadas de forma imperativa por las autoridades competentes o funcionarios de códigos.

El propósito es producir un procedimiento estándar que el propietario pueda adoptar como requisito contractual, sin imponer requerimientos adicionales que deban cumplirse en todos los proyectos. Alternativamente, si el propietario no lo exige, la especificación puede ser adoptada voluntariamente por el ingeniero encargado del diseño por vida útil para demostrar la coherencia con las prácticas estándar de la industria.

Una especificación de diseño esta estructurada de manera similar a los códigos tradicionales, como el ACI CODE-318. La especificación consta de dos partes - una sección con lenguaje obligatorio, que detalla los requisitos específicos y un comentario, que proporciona contexto y orientación sobre los requisitos.

El comentario no es tan detallado como los documentos guía, pero normalmente hace referencia a dichos documentos para brindar contexto al usuario.

Ingeniero de vida útil

Uno de los aspectos más relevantes del ACI CODE-365-24 es la definición del ingeniero de vida útil como la persona responsable de evaluar la durabilidad del proyecto. Aunque puede haber otros objetivos y escenarios para realizar una evaluación de vida útil, este documento está dirigido a aquellos casos en los que la evaluación de vida útil se implementa como parte del proceso de diseño. En ese contexto, la evaluación debe ser realizada por un ingeniero facultado, conforme a la jurisdicción del proyecto.

Este requisito puede interpretarse a partir de la revisión de las leyes estatales de EE. UU. que regulan el ejercicio de la ingeniería. Por ejemplo, el estado de Illinois define la práctica de la ingeniería profesional como:

“la consulta sobre, concepción, investigación, evaluación, planeación y diseño de, y selección de materiales para ser usados en, la administración de contratos de construcción o la observación de campo de un sistema o instalación de ingeniería, donde dicha consulta, concepción, investigación, evaluación, planeación, diseño, selección, administración u observación requiera un conocimiento extenso de leyes de ingeniería, fórmulas, materiales, prácticas y métodos constructivos.”⁵

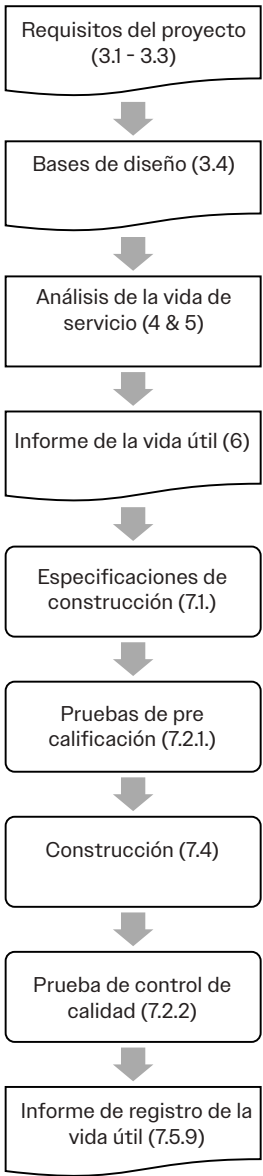


Fig. 2: Proceso de diseño de vida útil (Fig. R1.2.1 en ACI CODE-365-24)¹

Dado que el objetivo de incorporar la evaluación de vida útil dentro del proceso de diseño sería seleccionar materiales apropiados y desarrollar detalles de diseño para ser incorporados en la estructura, esto cabe en la definición de práctica profesional de la ingeniería.

No obstante, ser un ingeniero profesional no es la única calificación necesaria. Al igual que en otras disciplinas de la ingeniería, el diseñador debe tener la experticia basada en su formación y experiencia. Para un ingeniero de vida útil, esto incluye estar familiarizado con materiales de concreto, durabilidad y mecanismos de degradación, y electroquímica y corrosión.

Además, es conveniente contar con conocimientos en procesos constructivos y ensayo de materiales.

Proceso de diseño de vida útil

La especificación de diseño desglosa los requisitos necesarios a seguir en el proceso de diseño de vida útil, como se muestra en la Figura 2. Este proceso sigue en general otros enfoques de diseño, pero adaptados específicamente a la vida de servicio.

El primer paso es seleccionar el enfoque a utilizar. El ACI CODE-365 es independiente del método elegido para predecir la vida útil y permite aplicar distintos modelos, así como métodos de ensayo acelerados. El modelo apropiado dependerá de los objetivos del proyecto, las condiciones de exposición previstas, los mecanismos de degradación esperados y la experticia del ingeniero de vida útil.

Las partes involucradas pueden documentar y acordar una base del diseño sustentado en el modelo y en los requisitos del proyecto. Esto asegura que la vida útil avance en la dirección prevista.

Los requisitos de modelación se detallan, incluyendo diferentes opciones. Por ejemplo, se proporcionan directrices tanto para análisis deterministas como probabilísticos. Un aspecto importante por considerar en la especificación es el efecto de la fisuración. Dependiendo del enfoque seleccionado, las grietas deberán tratarse de forma distinta durante la construcción.

En un contexto académico o como parte de un estudio preliminar, el diseño de vida útil puede detenerse en este punto. Sin embargo, si la intención es aplicar la especificación de diseño a un proyecto que cumpla con una vida útil definida, es necesario desarrollar requisitos para el contratista.

Este proceso contempla tres etapas principales: 1) Ensayos de precalificación; 2) Ensayos de control de calidad; 3) Subsanación de deficiencias.

Aunque este no es el único requisito, el enfoque general exige implementar un programa de ensayos que confirme que el concreto usado es consistente con los requisitos identificados en la modelación. Los requisitos de ensayo deben ser adecuados para los mecanismos de deterioro previstos, pero además deben ser consistentes con el modelo empleado. Muchos modelos han sido desarrollados y validados con base en pruebas específicas. Por lo tanto, el ingeniero de vida útil debe exigir el uso de la prueba correspondiente al modelo, junto con los límites apropiados.

Documentación

La documentación y la comunicación a todas las partes involucradas constituyen una parte esencial del proyecto. En el caso del diseño de vida útil, esto debe mantenerse no solo durante las etapas de diseño y construcción, sino también tras la finalización de la obra.

Para lograrlo, la especificación de diseño incluye un proceso en tres pasos, similar al seguido en otros procesos de diseño:

El primer paso consiste en asegurarse de que los objetivos del proyecto queden registrados y sean aceptados por todas las partes. Esto se realiza mediante un documento de bases de diseño, elaborado por el ingeniero de vida útil y revisado y aprobado por el propietario.

Este documento debe incluir:

- Tipo de estructura;
- Vida útil de diseño;
- Métodos de predicción;
- Requisitos de ensayos;
- Estados límite de durabilidad;
- Métodos de verificación de desempeño;
- Mantenimiento preventivo; y
- Requisitos de reporte.

Este informe confirma un entendimiento común sobre el objetivo de diseño de vida útil y los pasos necesarios para alcanzarlo. Una vez completado, puede desarrollarse el diseño de vida útil.

El diseño completado debe documentarse y comunicarse a todas las partes involucradas - el propietario, el contratista y los demás diseñadores del proyecto. Esto se lleva a cabo mediante el informe de vida útil, el cual contiene la información necesaria para implementar en obra los resultados del diseño. El informe de vida útil debe incluir:

- Requisitos del proyecto;
- Códigos de referencia;
- Enfoque de predicción (incluyendo supuestos y limitaciones).
- Parámetros de entrada.

- Mantenimiento previsto.
- Vida útil estimada.

Una vez finalizado el proyecto, debe elaborarse un informe de registro de vida útil, también conocido como el “certificado de nacimiento” de la estructura. Este debe contener tanto lo que se planeaba construir como lo que efectivamente se construyó.

El informe de registro de vida útil incluye documentación de propiedades de los materiales, resultados de ensayos, registros de calidad, así como análisis adicionales, en caso de ser necesarios, para confirmar la conformidad con el objetivo de vida útil. Además, se deben documentar las reparaciones que fueron necesarias durante la construcción.

Rol del Propietario y del Contratista

Aunque la especificación de diseño está escrita principalmente para el ingeniero de vida útil, tanto el propietario como el contratista tienen roles y responsabilidades inherentes para cumplir con los requisitos de vida útil.

El propietario es responsable de establecer los objetivos del proyecto. Esto incluye el objetivo de vida útil y la condición esperada de la estructura al final de dicho periodo. Además, el propietario es responsable de indicar el nivel de mantenimiento preventivo durante la vida útil. Por ejemplo, puede aceptarse la utilización de recubrimientos impermeabilizantes que probablemente deban reemplazarse varias veces a lo largo de la vida de la estructura. Dependiendo de la naturaleza del proyecto y del nivel de experiencia del propietario, algunos de estos requisitos pueden ser definidos o ajustados en conjunto con el ingeniero de vida útil. Asimismo, el propietario será responsable —ya sea de forma directa o indirecta— de asumir los costos adicionales que estos requerimientos puedan generar. Para cumplir con la vida útil objetivo, el diseño debe ser implementado en obra por el contratista. Este debe ser consciente de que el diseño de vida útil generalmente implica ensayos adicionales de precalificación y de control de calidad.

El contratista debe conocer estos requisitos para poder integrarlos en su cronograma y presupuesto. Además, pueden surgir exigencias como concreto de mayor calidad, uso de inhibidores de corrosión u otros aditivos, o posibilidad de refuerzos alternativos.

Conclusiones

Con el fin de promover el uso de la modelación de vida útil como parte del proceso de diseño, el Comité 365 del ACI ha desarrollado una especificación para el diseño por vida útil. Este documento incluye los

requisitos que debe cumplir el ingeniero de vida que realiza el análisis. Aunque la especificación no está basada en un modelo específico, establece requisitos mínimos para el proceso que debe seguirse, considerando tanto la etapa de diseño como su implementación en la construcción. El documento también describe cómo debe ser comunicada la información a todo el equipo del proyecto, exigiendo la elaboración de reportes en las distintas fases del proceso. Se espera que la adopción e implementación generalizada de esta especificación de diseño contribuya a incrementar la vida útil de los proyectos y a reducir el impacto ambiental asociado a las obras de infraestructura.

Referencias

1. ACI Committee 365, “Service Life Evaluation—Design Specification (ACI CODE-365-24),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 22 pp.
2. ACI Technical Activities Committee, “Technical Committee Manual (ACI TCM 2024),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 74 pp.
3. ACI Committee 313, “Design Specification for Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials and Commentary (ACI CODE-313-16),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 64 pp.
4. ACI Committee 550, “Design Specification for Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Special Moment Frames Satisfying 374.1 (ACI CODE-550.3-13) (Reapproved 2022),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 28 pp.
5. “Illinois Professional Engineer Act,” (225 ILCS 325/4) (from Ch. 111, par. 5204), Section 4(o), Illinois General Assembly, www.ilga.gov/Documents/legislation/ilcs/documents/022503250K4.htm.

Kyle D. Stanish, FACI, Vicepresidente de Tourney Consulting Group, LLC, Kalamazoo, MI, EE. UU., cuenta con más de 20 años de experiencia trabajando como ingeniero consultor. Su trabajo incluye diseño de durabilidad, ingeniería de materiales, evaluación de estructuras existentes y diseño de rehabilitación. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Toronto, Toronto, ON, Canadá, y es ingeniero profesional graduado en 17 jurisdicciones. Fue presidente del Comité 365 del ACI, Predicción de Vida Útil; presidente del Comité 563 del ACI, Especificaciones para Reparación de Concreto Estructural en Edificaciones; y miembro de varios otros comités del ACI. Recibió el Premio Delmar L. Bloem Service 2025.



Jose Pacheco, miembro del ACI y socio asociado en MJ2 Consulting, PLLC, tiene 15 años de experiencia como ingeniero consultor, especializado en durabilidad del concreto, vida útil, reparación y resolución de problemas. Es presidente del Comité 365C del ACI, Código de Predicción de Vida Útil, y del Subcomité 563-C del ACI, Materiales, además de ser miembro de varios otros comités del ACI. Obtuvo su doctorado en la Universidad Tecnológica de Delft, Países Bajos, y es ingeniero profesional graduado en múltiples jurisdicciones de Estados Unidos, Canadá y México.



Título original en inglés: Development of a Design Specification for Service Life Prediction

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Colombia



Traductor:
**Ing. Karen Julieth
Rivera Rolón**



Revisor Técnico:
**PhD. Fabián
Augusto Lamus
Báez**

Inteligencia en acción

Cómo la tecnología de vanguardia está transformando la construcción de concreto, desde rascacielos hasta autopistas

Por Kevin García

La industria de la construcción con concreto está transitando hacia metodologías integradas y racionalizadas. Desde estacionamientos pavimentados con tolerancias de hasta 2 mm (1/16 de pulgada), hasta la coordinación de ubicaciones de bombeo de concreto en torres de 74 pisos mediante modelado de información de construcción (BIM, por sus siglas en inglés), el sector ha superado las mejoras incrementales tradicionales. Los flujos de trabajo avanzados permiten a los contratistas identificar y corregir deficiencias antes de la colocación del concreto, lo que se traduce en reducciones de costos cercanas al 40 % y aumentos en la productividad superiores al 20 %. Paralelamente, los sistemas automatizados de control de maquinaria logran tolerancias superficiales que exceden las capacidades humanas convencionales. Estos flujos de trabajo digitales son capaces de optimizar los procesos de colocación, monitoreo y verificación del concreto, además de mejorar los plazos asociados al control de calidad.

Transformación Universal

Las empresas familiares de construcción están alcanzando niveles de precisión que previenen futuras reclamaciones de garantía mediante el modelado tridimensional (3D) en tiempo real. Las grandes ampliaciones de aeropuertos están colocando decenas de miles de metros cúbicos de concreto sin presentar no conformidades, al tiempo que logran incrementos de producción de dos dígitos. Los proyectos de construcción de rascacielos están implementando flujos de trabajo de escaneo previo a la colocación del concreto, que se modifica al momento en que se realiza el control de calidad dentro de la secuencia constructiva— permitiendo la identificación y corrección de problemas antes de que sea colocado el concreto.

Estas tecnologías también están siendo aplicadas en la construcción de carreteras, donde los departamentos estatales de transporte están reformulando sus especificaciones para exigir porcentajes más bajos en el Índice Internacional de Rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés). Las mismas plataformas de control de pavimentación en 3D que alcanzan precisión milimétrica en obras aeroportuarias están permitiendo a los contratistas de autopistas cumplir con exigentes requisitos acerca del deslizamiento, al tiempo que reducen el desperdicio de materiales y aceleran la entrega de los proyectos

Estos casos de éxito evidencian una convergencia tecnológica más amplia, en la que la precisión milimétrica, la retroalimentación de datos en tiempo real y la garantía de calidad predictiva están estableciéndose como el nuevo estándar de referencia.

Inversión del Control de Calidad

Para Saunders Construction, Inc., el proyecto One River North —de 31 866 m² (343 000 pies²) y 16 pisos, ubicado en el vecindario River North de Denver, Colorado, EE. UU.— se convirtió en un campo de pruebas para flujos de trabajo de escaneo previo a la colocación de concreto, diseñados para identificar y corregir problemas antes de que el concreto sea vertido, en lugar de descubrirlos una vez endurecido.

El proyecto presentó desafíos significativos. Los pisos de concreto postensado son poco tolerantes a errores, que pueden incluir desde la omisión de elementos embebidos y bolardos hasta la ubicación incorrecta de conductos de conexión. Incluso las técnicas avanzadas de escaneo láser tienen limitaciones.



Un escáner láser tridimensional (3D) de alta velocidad Trimble X7 está siendo utilizado para identificar problemas antes de la colocación del concreto, lo que permite acelerar los flujos de trabajo y garantizar una precisión milimétrica. (Fotografía cortesía de Trimble)



Plataforma de control de nivelación Trimble Earthworks en una hoja niveladora Cat GB124 (Fotografía cortesía de Buck Brothers)

“Hemos utilizado escaneo anteriormente para verificar la calidad de nuestro trabajo, pero el tiempo más rápido en que podíamos procesar esos datos era de dos días, y para entonces el concreto ya estaba colocado, lo que hace que el reproceso sea más difícil, costoso y potencialmente peligroso”, explicó Matthew Hamann, Gerente de Fase de Diseño en Saunders Construction. “Idealmente, queríamos escanear los pisos, compararlos con los modelos y corregir los elementos antes de la colocación.”

Saunders Construction desarrolló un flujo de trabajo que emplea un escáner láser 3D de alta velocidad y software de campo para escanear cada piso de 1 300 m² (14 000 pies²), superponer automáticamente los datos del escaneo sobre modelos 3D coordinados e identificar tolerancias fuera de especificación en menos de una hora. El sistema opera con precisión de grado topográfico, detectando desviaciones tan pequeñas como 3 mm (0.1 pulg.), y considera factores ambientales como variaciones de temperatura y vibraciones que pueden afectar la precisión del escaneo. Este flujo de trabajo permitió una reducción del 39% en los costos de reprocesamiento y una disminución del 31 % en el carbono incorporado asociado a la corrección de problemas posteriores a la colocación del concreto. “El reproceso no planificado es costoso, desmoralizante, consume mucho tiempo y puede ser peligroso”, señaló Hamann. “El flujo de trabajo que hemos validado nos ayuda a garantizar que construimos correctamente desde el inicio.”

Este enfoque de inteligencia en preconstrucción va más allá de la colocación del concreto. F.A. Wilhelm Construction Co., Inc., utiliza modelado 3D en software BIM para desarrollar diseños de cimbras que se integran de forma fluida con la planificación de la colocación del concreto.

“Con el modelo, sabemos que estamos en lo correcto”, explicó Adam Joraanstad, especialista en cimbras de F.A. Wilhelm Construction. Los datos de la cimbra guían posteriormente la instalación en campo mediante visualizaciones 3D en tabletas, asegurando una precisión milimétrica en la base para una colocación de concreto exacta.

Pavimentación con Precisión

En el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, ubicado en Lima, Perú, las áreas de estacionamiento de aeronaves en el lado aire representaron una exigente prueba de precisión en pavimentación de concreto a gran escala. Como parte de un proceso de modernización aeroportuaria que incluye un nuevo terminal de 270 000 m² (2.9 millones de pies²), diseñado para atender a 40 millones de pasajeros anuales, el proyecto requirió 70 000 m³ (91 560 yd³) de concreto y asfaltos distribuidos en extensas zonas operativas. El Consorcio Inti Punku fue seleccionado para diseñar y ejecutar el proyecto. Liderado por el contratista español de infraestructura SACYR S.A., la empresa reconoció que cualquier retraso o problema de calidad afectaría directamente el cronograma de apertura del terminal previsto para diciembre de 2024.

SACYR implementó un enfoque digital integrado basado en sistemas de control de nivelación guiados por estaciones totales universales (UTS, por sus siglas en inglés) en motoniveladoras para las capas de subbase y base, seguido por sistemas de control de pavimentación en pavimentadoras de concreto para permitir una coordinación en tiempo real. La clave no residía únicamente en la tecnología de colocación precisa, sino en la forma en que los datos fluían dentro de un ecosistema conectado. Los datos de diseño se transferían automáticamente desde los modelos BIM a los archivos de guía de maquinaria en niveladoras y pavimentadoras mediante software de transferencia remota.

Los datos de campo en tiempo real se transmitían al software de seguimiento de productividad en obra, generando capacidades predictivas que optimizaban la asignación de recursos y evitaban cuellos de botella antes de que se presentaran.

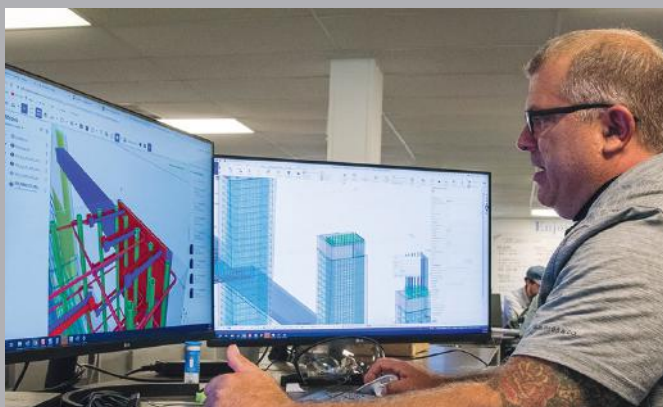
“Los sistemas combinados de pavimentación y nivelación nos permiten trabajar en áreas extensas con eficiencia y precisión dentro de un entorno conectado”, explicó Carlos Ruiz, jefe de Topografía de SACYR.

Coordinación a Alturas Extremas El Proyecto Waterline en Austin demuestra bombeo de concreto habilitado por BIM

DPR Construction enfrentó el desafío de bombear concreto a través de más de 64 metros (70+ yardas) de tubería de alta presión hasta alturas superiores a los 305 metros (1 000 pies) en el proyecto Waterline de 74 pisos en Austin, Texas, EE. UU. Para abordar esta complejidad, DPR adoptó un enfoque “left of the line”, que consiste en anticipar la modelación detallada mediante BIM y la coordinación entre especialidades durante las fases de preconstrucción.

Utilizando Tekla Structures para la modelación estructural y Trimble Connect para la colaboración digital, el equipo coordinó virtualmente cada aspecto de la ubicación del sistema de bombeo de concreto antes de iniciar la instalación. Esta coordinación digital evitó conflictos que, de otro modo, habrían sido descubiertos —y costosamente resueltos— durante la instalación del sistema de bombeo requerido para el vaciado de concreto en altura.

A pesar de perder 10 días por condiciones climáticas adversas y enfrentar ráfagas de viento superiores a 80 km/h (50 mph) durante el vaciado de la losa final, el equipo de concreto autogestionado de DPR celebró el hito de culminación estructural antes de lo previsto, a inicios de 2024.



Utilizando Tekla Structures para la modelación estructural y Trimble Connect para la colaboración digital, DPR coordina virtualmente cada aspecto de la ubicación del sistema de bombeo de concreto antes de iniciar la instalación (foto cortesía de DPR Construction).

Innovación en Procesos

Buck Brothers Asphalt Paving & Concrete, con sede en Toledo, Ohio (EE. UU.), dependía de métodos manuales que resultaban eficaces en proyectos de menor escala, pero no eran adecuados para obras comerciales de gran envergadura que requerían precisión constante. Con el apoyo de expertos del sector, Buck Brothers emprendió la digitalización de sus procesos, integrando una estación total universal (UTS) que funciona tanto como instrumento de topografía como de control de maquinaria, en combinación con modelado 3D.

Buck Brothers no contaba con experiencia previa en modelado 3D cuando contactó a su distribuidor local en 2023. En el plazo de un año, logró establecer un flujo de trabajo integrado basado en tecnología UTS y software de modelado tridimensional.

Cada proyecto terminado amplía la biblioteca digital de soluciones exitosas de la compañía. Los modelos topográficos se convierten en plantillas reutilizables para proyectos similares, mientras que los datos “as-built” permiten generar estimaciones futuras más precisas.

Por ejemplo, la iglesia Cornerstone Church en Maumee, Ohio, tenía un estacionamiento de 20 años que se deterioró rápidamente y tenía problemas de drenaje, lo que provocó baches y condiciones inseguras. Cuando terminaron, el equipo de Buck Brothers había reacondicionado el área de 9 290 m² (100 000 pies²) con una precisión de 1/16 pulg. Se optimizaron los drenajes de los bordillos y las islas, y se crearon carriles de circulación de 7.3 m (24 pies) para mejorar el acceso y la seguridad.

El Futuro Conectado del Concreto

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático prometen mejorar la productividad en obra mediante análisis predictivos y aseguramiento de calidad automatizado. La IA puede procesar grandes volúmenes de datos relacionados con variables del proyecto para proporcionar orientación precisa y en tiempo real a los equipos de trabajo. Asimismo, las herramientas basadas en IA ofrecen información sobre planicidad, nivelación y defectos superficiales, identificando de forma inmediata desviaciones respecto a las especificaciones de diseño.

Consideraciones para la Implementación por Parte de Contratistas

Cronograma de adopción tecnológica:

Para muchos contratistas, el proceso desde la inversión inicial hasta la integración completa en los flujos de trabajo puede tomar seis meses o más. Los incrementos en productividad suelen evidenciarse poco tiempo después de dicha integración.

Requisitos de capacitación: La adopción exitosa requiere capacitación cruzada entre el personal de campo y los especialistas en tecnología. El enfoque más eficaz consiste en vincular profesionales experimentados en concreto con miembros del equipo que posean competencias avanzadas en tecnologías digitales.

Cálculo del retorno de inversión (ROI, por sus siglas en inglés): Los contratistas líderes monitorean múltiples indicadores, incluyendo la reducción de reprocesos, disminución de desperdicio de materiales y compresión de cronogramas. En proyectos de tamaño medio, la inversión tecnológica suele amortizarse en un período de 18 a 24 meses.

Integración del control de calidad: Los flujos de trabajo digitales complementan, pero no sustituyen, los protocolos tradicionales de ensayo de concreto. Las implementaciones más exitosas integran tecnologías de escaneo y modelado con los procedimientos de ensayo establecidos por el ACI, así como con los requisitos documentales correspondientes.

La robótica avanzada y los equipos autónomos para colocación y acabado de concreto están en camino de lograr avances significativos. Estas innovaciones buscan abordar problemas críticos como la escasez de mano de obra, automatizando tareas repetitivas y físicamente exigentes, al tiempo que mejoran sustancialmente la precisión en obra y aumentan la productividad general en campo.

La tendencia general de la industria apunta hacia una adopción más amplia de tecnologías existentes que permiten cerrar la brecha entre el diseño digital y la ejecución en obra. Lo más necesario es una integración fluida de estaciones totales robóticas, escáneres 3D y herramientas de trazado integradas con BIM, que se conecten directamente con los dispositivos de campo sin requerir operadores especializados ni procesos extensos de reentrenamiento.

La tecnología está elevando los estándares de precisión y productividad en cada proyecto, al mismo tiempo que establece nuevos referentes en calidad y desempeño.



El objetivo de la Máquina Trimble MT900 rastreado por una Estación Total Universal Trimble SPS930 (Fotografía cortesía de Buck Brothers)

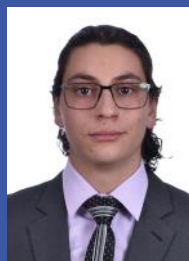
Kevin Garcia es Gerente General de Construcción Civil Especializada en Trimble Inc. Está a cargo de múltiples líneas de productos orientadas al mercado de construcción civil especializada, incluyendo pavimentación, construcción de rellenos sanitarios, perforación y cimentación profunda. Antes de asumir esta posición, se desempeñó como gerente de producto para el área de pavimentación. García cuenta con más de 20 años de experiencia en la industria de pavimentación de asfalto y concreto, incluyendo seis años en Lafarge. Obtuvo el título de Ingeniero Civil (BS) en la Universidad de Wyoming, ubicada en Laramie, Wyoming, Estados Unidos.



Título original en inglés:
**TechSpotlight.
Intelligence in Action**

How advanced technology is transforming concrete construction from high rises to highways

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



Traductor:
**Ing. Andrés Qhizphi
Arichavala**



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

¡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**

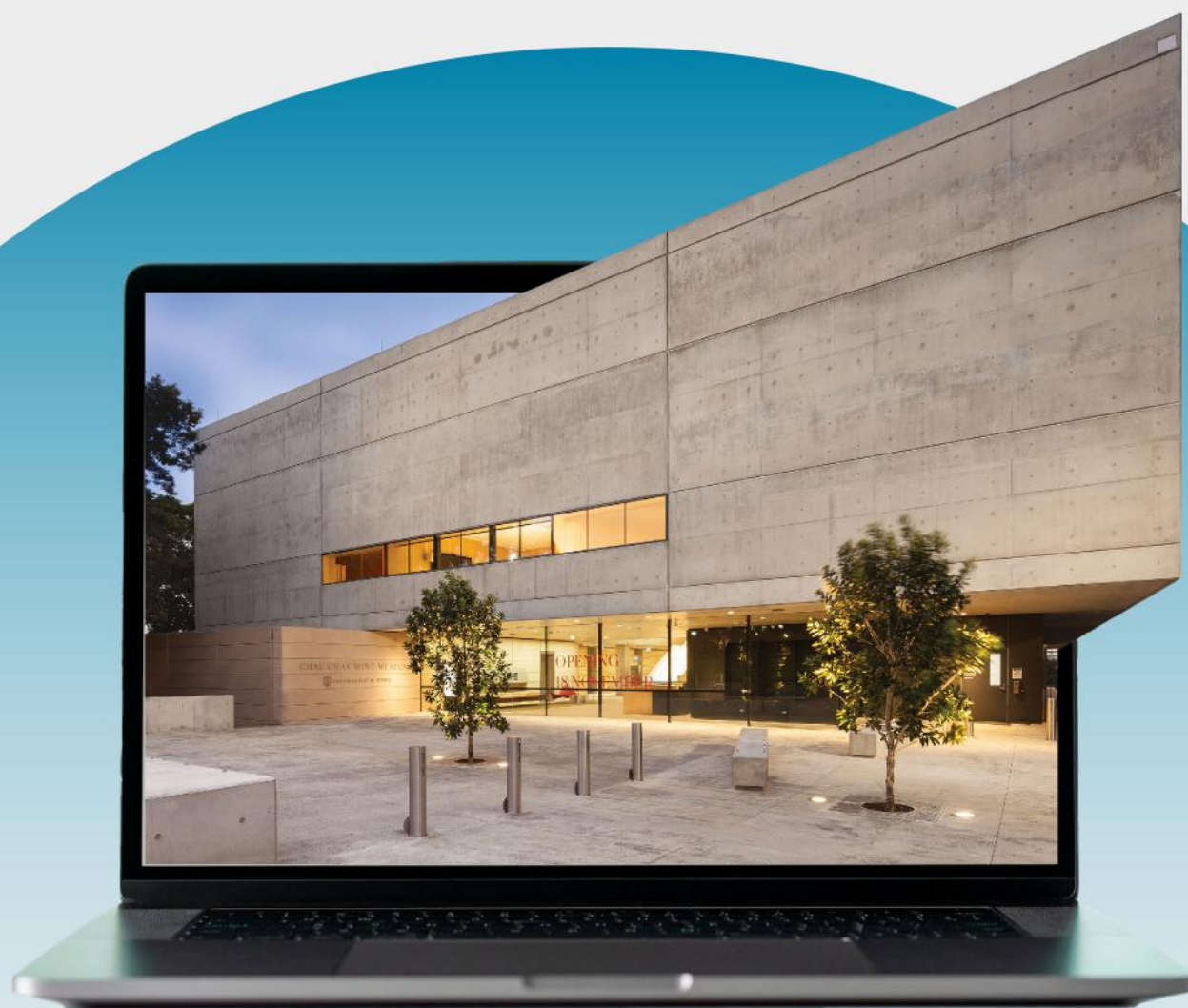
AQUÍ ENCUENTRAS...

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!

Evolución del Código ACI-562

Dónde estamos, cómo hemos llegado hasta aquí y hacia dónde vamos

Por F. Michael Bartlett, Jeffrey S. West, y Carl J. Larosche

En enero de 2025, el Código ACI-562-25: Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto Existentes - Requisitos y Comentarios¹ del código se hicieron disponibles en la plataforma ACI 562 PLUS y ahora está disponible en formato impreso o PDF. Este artículo presenta una breve historia de la evolución de este documento, describe algunos avances de la edición actual y sugiere posibles nuevos enfoques para la próxima edición del Código, cuya publicación está prevista para 2031.

Impulso

El impulso para crear un código ACI para la reparación del concreto comenzó hace aproximadamente dos décadas. Kesner y Poston² señalan:

“El desarrollo del Código-ACI 562 se vio motivado por la necesidad a largo plazo de un código de construcción que abordara específicamente los problemas únicos que se plantean en la reparación de estructuras de concreto existentes. La decisión del Comité de Actividades Técnicas [TAC] del ACI de crear un código de reparación de concreto fue en gran medida el resultado de un plan desarrollado por el Consejo de Desarrollo Estratégico (SDC) del ACI y el Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI). El plan Visión 2020³ estableció objetivos clave para mejorar el sector de la reparación el concreto, entre ellos el desarrollo de un código para la reparación de estructuras de concreto existentes. Uno de los objetivos clave del código de reparación es mejorar el desempeño de las reparaciones del concreto mediante el establecimiento de requisitos mínimos para la evaluación de las estructuras existentes y el diseño y la durabilidad de las reparaciones.

La necesidad de un código de reparación también se identificó a través de estudios de investigación que reconocieron el pobre desempeño de las estructuras reparadas. Se ha estimado que alrededor del 50% de las reparaciones no funcionan satisfactoriamente debido a errores en el diseño, la construcción y/o la selección de los materiales.^{4,5} El plan Visión 2020 concluyó que los requisitos mínimos del código garantizarían que los profesionales del diseño dedicados a la evaluación, reparación y refuerzo trabajaran a partir de un nivel de expectativas coherente y definido.”²

Tabla 1:
Evolución del Código ACI-562

Edición	Presidente del Comité 562 del ACI	Contenido	Número de páginas [†]	Número de palabras [†]	Referencias de los Comentarios
562-12 [*]	Lawrence F. Kahn	11 capítulos	55	23,000	90
562-13	Lawrence F. Kahn	11 capítulos	55	23,000	103
562-16	Keith E. Kesner	11 capítulos, 1 apéndice	85	36,000	144
562-19	Keith E. Kesner	11 capítulos, 1 apéndice	93	42,000	160
562-21	Carl J. Larosche	11 capítulos, sin apéndice	83	36,000	167
562-25	Carl J. Larosche, F. Michael Bartlett	14 capítulos, 1 apéndice	130	55,000	262

^{*}Publicado como norma provisional

[†]Totales mostrados para el Código y el Comentario combinados

Estructuras de Concreto Existentes - Aprendiendo Lecciones y Promoviendo Soluciones

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

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

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

El Comité 562 de ACI, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, se reunió por primera vez en la Convención de Concreto de ACI - primavera de 2006 en Charlotte, Carolina del Norte, EE. UU.

Evolución

Como se muestra en la Tabla 1, la primera edición del Código se publicó como norma provisional seis años después, en 2012, seguida de nuevas ediciones en 2013, 2016, 2019, 2021 y 2025. Durante este intervalo, el número de páginas del Código aumentó de 55 a 130, y el número de Referencias a los Comentarios aumentó de 90 a 262. El tamaño de la edición de 2021 se redujo con respecto a las ediciones anteriores porque un extenso apéndice que describía el uso del Código como documento independiente se trasladó al cuerpo principal del documento.

ACI CÓDIGO-562-25

La tabla 2 resume el contenido del Código ACI-562-25. Hay tres capítulos nuevos, un apéndice nuevo y ocho capítulos ampliamente revisados. Los presidentes de los subcomités responsables de estos capítulos están preparando artículos para

Concrete International (CI), que describirán los fundamentos y la justificación de estas revisiones y así como su aplicación a casos prácticos de evaluación, reparación y rehabilitación realistas.

Las principales revisiones del Código ACI-562-21 incluyen:

- **Capítulo 1:** las disposiciones que definen la evaluación preliminar y otros requisitos generales de evaluación se trasladan al capítulo 6;
- **Capítulo 4:** el término “condiciones estructurales potencialmente peligrosas” se sustituye por “deficiencias graves de resistencia y condiciones peligrosas.” Los requisitos para el código de base de diseño, y de base de evaluación, han sido ampliamente revisados;
- **Capítulo 6:** se revisan las disposiciones que definen las evaluaciones preliminares y detalladas, y se añaden nuevas disposiciones para la evaluación basada en confiabilidad. Se incluyen nuevas disposiciones sobre la evaluación de la durabilidad y la evaluación de diferentes sistemas y elementos;
- **Capítulo 9** (anteriormente capítulo 7): se ha reorganizado ampliamente e incluye disposiciones revisadas relativas a la adherencia de la interfaz de los materiales

Tabla 2:
Contenido del Código Código ACI-562-25

Capítulo	Título	Estatus
1	Requisitos Generales	Ampliamente Revisado
2	Notación y Definiciones	
3	Normas de Referencia	—
4	Criterios como Código Independiente para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras Existentes	Ampliamente Revisado
5	Cargas, Combinaciones de Cargas Factorizadas y Factores de Reducción de la Resistencia	—
6	Evaluación, Valoración y Análisis	Ampliamente Revisado
7	Resistencia al Fuego, Evaluación y Reparación de Daños	Nuevo
8	Detalles de Refuerzo y Condiciones para la Evaluación Estructural y el Diseño de Reparaciones	
9	Diseño de Reparaciones	Ampliamente Revisado
10	Durabilidad	—
11	Obras Temporales	Nuevo
12	Documentos de Construcción	Ampliamente Revisado
13	Garantía de Calidad	
14	Comentarios de Referencia	
Apéndice A	Método de Carga Media	Nuevo

- cementantes empleados en las reparaciones;
- Capítulo 12** (anteriormente capítulo 9): se ha revisado ampliamente y ahora incluye requisitos de información de diseño; y
 - Capítulo 13** (anteriormente capítulo 10) se ha revisado ampliamente y ahora incluye requisitos de calificación para inspectores y centros de ensayo, requisitos de inspección ampliados, frecuencia de ensayo y observación de la construcción. También incluye ahora disposiciones sobre la adherencia de la interfaz y los documentos de registro del proyecto.
- La elaboración, revisión y mejora de estas disposiciones requirieron un esfuerzo concentrado. Entre 2022 y 2024, el Comité 562 del ACI completó 26 votaciones técnicas, y siete de sus subcomités completaron otras 17 votaciones técnicas

adicionales. La tabla 3 resume los comentarios que el Comité abordó durante este periodo. Muchas de sus “heridas” fueron “autoinfligidas” - las respuestas del Comité incluyeron casi 4 400 comentarios negativos y afirmativos (con comentarios). Muchas de estas respuestas recomendaban mejoras en el “lenguaje heredado” que, en algunos casos, apareció por primera vez en la edición de 2012 del Código ACI-562. Estos considerables esfuerzos dieron sus frutos durante la revisión del TAC, en la que solo se recibieron 50 comentarios principales y 74 comentarios adicionales sobre todo el documento.

Una iniciativa paralela ha sido la creación de ACI PRC-ITG-11-24: Informe de Técnicas estadísticas para la Evaluación de Estructuras de Concreto Existentes - Informe.⁶ Este documento, apodado “la guía para aquellos que odiaban las clases de estadística,”⁷ apoya a los profesionales que desean

utilizar los nuevos procedimientos de evaluación basados en la fiabilidad del Código ACI-562.

Visión para Código ACI-562-31

Tabla 3:
Comentarios abordados por el Comité 562 del ACI

Fuente	Tipo de comentario	Número
Comité ACI 562	Negativo	986
	Afirmativo con comentario	3 407
TAC	Primario	50
	Otros	74
Público	—	165
Total	—	4 682

El Comité ACI 562 reconstituido tuvo su primera reunión en la Convención de primavera de 2025 del ACI en Toronto, Ontario, Canadá. El objetivo principal de esta reunión era iniciar el proceso de identificación de objetivos para la próxima edición del Código, cuya publicación está prevista para 2031. Uno de los objetivos de la próxima edición es perfeccionar las disposiciones existentes del Código, continuando con la mejora de la organización y estructura del Código, incluyendo la claridad y precisión de las disposiciones existentes, basándose una parte en los comentarios de los miembros del Comité y otros usuarios del Código ACI-562-25. Un segundo objetivo es añadir ilustraciones a los Comentarios.

El esfuerzo principal se centrará en ampliar el alcance y la profundidad técnica del Código. El Comité 562 del ACI estudiará la posibilidad de incluir estructuras ambientales, industriales y, posiblemente, marinas. Los parámetros estadísticos que caracterizan las cargas vivas aplicadas a estas estructuras pueden ser diferentes a los de los edificios, lo que puede requerir un refinamiento de los diversos “desencadenantes” de la relación entre demanda y capacidad del capítulo 4, que se utilizan para distinguir entre deficiencias graves de resistencia y condiciones peligrosas, daños sustanciales y estructurales, y daños estructurales menos que sustanciales con o sin reforzamiento. Las exposiciones ambientales y los mecanismos de deterioro asociados también pueden ser únicos para las estructuras ambientales, industriales y marinas.

Es poco probable que el alcance del Código ACI-562 se amplíe para incluir puentes de carreteras o



ferrocarriles, ya que ya se encuentran disponibles guías adecuadas para esto.^{8,9}

Las posibles iniciativas para ampliar la profundidad técnica del Código incluyen:

- **Ampliación de las disposiciones relativas a la evaluación basada en la confiabilidad**, incluyendo el Código ACI-562-25 y otra literatura que aborda la evaluación de la resistencia basada en la confiabilidad. Si bien el Código ACI-562-25 también permite la evaluación basada en la confiabilidad de la capacidad de servicio y la durabilidad, no se incluyen requisitos específicos. Las nuevas disposiciones y comentarios podrían incluir la evaluación de la capacidad de servicio y la durabilidad, esta última basada en el objetivo deseado de vida útil residual;
- **Ampliación de los requisitos para la evaluación de materiales, componentes y sistemas que actualmente no se abordan**, incluidos los anclajes existentes, ya sean pernos y tornillos empotrados o anclajes instalados posteriormente (mecánicos y adhesivos), y el uso de ensayos de carga de prueba para determinar o demostrar la capacidad de anclaje (Fig. 1). También podría incluir sistemas de postensado (PT) adheridos (mediante inyección de lechada de cemento), estructuras con refuerzo interno de polímero reforzado con fibra (FRP) y estructuras con reparaciones existentes (Fig. 2);
- **Disposiciones ampliadas para la evaluación de los detalles de refuerzo en estructuras existentes**, incluidos los requisitos mínimos de refuerzo, los límites de espaciamiento y otros requisitos mínimos para el refuerzo a cortante, otros detalles

de refuerzo, como los refuerzos inclinados en vigas y losas, los sistemas de refuerzo patentados y los detalles de los ganchos. Las nuevas disposiciones y comentarios podrían incluir orientaciones para abordar las condiciones que no satisfacen el código de construcción actual;

- **Ampliación de las disposiciones para el diseño de reparaciones**, incluyendo reparaciones para sistemas PT sin adherencia y con adherencia, diseño de postensado externo para refuerzo, ampliación de secciones, requisitos de materiales de reparación y criterios de aceptación (control de calidad [QC]), transferencia de esfuerzo cortante en la interfaz en reparaciones y ampliación de secciones, y casos en los que el refuerzo de la interfaz no está completamente desarrollado;
- **Ampliación de las disposiciones para la evaluación y reparación de daños causados por incendios**;
- **Mejora de los requisitos de durabilidad**, incluyendo requisitos más específicos para el diseño de la durabilidad y el uso de modelos de vida útil residual para la evaluación o el diseño de reparaciones;
- **Ampliación de los requisitos para la selección de materiales en el diseño**, incluyendo la compatibilidad del módulo de elasticidad, la compatibilidad del coeficiente de expansión térmica, la minimización de la contracción diferencial y la selección de materiales para lograr reparaciones duraderas; y
- **Ampliación de las disposiciones para estructuras situadas en zonas sísmicas**, incluyendo la reparación de sistemas de resistencia a fuerzas laterales y la reparación de estructuras dañadas por terremotos.

Coordinación con otros comités del ACI

La próxima edición del Código ACI-562 se desarrollará, en parte, mediante la colaboración proactiva con otros comités técnicos y de códigos de ACI, con el fin de evitar duplicaciones o conflictos y aprovechar la amplitud y profundidad de la experiencia de ACI. El Código ACI-562-25



Fig. 2: Muro de concreto previamente reparado (foto cortesía de WJE)

hace referencia directa a nueve códigos y normas del ACI y enumera 82 documentos del ACI como referencias de comentarios. Se mantendrán las colaboraciones anteriores con los comités del ACI-563, Especificaciones para la Reparación de Concreto Estructural en Edificios; 546, Reparación; y 353, Evaluación Estadística de Estructuras de Concreto Existentes. Dada la ampliación del alcance y la profundidad técnica, es probable que se establezcan nuevas colaboraciones.

El recientemente redactado Código Internacional del Consejo (ICC) 1500: Norma para las Inspecciones de Seguridad de Edificios Existentes (IS-EBSI) se abrió a comentarios públicos en mayo de 2025; se desconoce la fecha de publicación. El Comité 11 de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles/Instituto de Ingeniería Estructural (ASCE/SEI), Evaluación del Estado Estructural de Edificios Existentes, está desarrollando una nueva norma para la evaluación del estado estructural de edificios existentes que sustituirá a la directriz SEI/ASCE 11-99¹⁰. Actualmente no está claro cómo se alineará el Código ACI-562-31 con estas futuras normas obligatorias. En última instancia, la dirección del Código ACI-562-31 será determinada por el Comité 562 del ACI y los miembros del subcomité. Las opiniones de los usuarios de la norma del Código ACI-562 son muy importantes, por lo que le pedimos que envíe sus comentarios al segundo autor de este artículo o solicite su incorporación al Comité 562 del ACI o a sus subcomités.

Para terminar, nos gustaría dar las gracias a todos los voluntarios que han trabajado incansablemente para que el Código ACI-562-25 se hiciera realidad.

Referencias

1. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code Requirements and Commentary (ACI CODE-562-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 130 pp.
2. Kesner, K., and Poston, R.W., "Evolution of ACI 562 Code—Part 5," *Concrete International*, V. 38, No. 6, June 2016, pp. 25-27.
3. ACI Foundation, "Vision 2020: A Vision for the Concrete Repair, Protection and Strengthening Industry," ACI Strategic Development Council, Farmington Hills, MI, 2006, 29 pp.
4. McDonald, J.E., and Campbell, R.L. Sr., "The Condition of Corps of Engineers Civil Works Concrete Structures," Technical Report REMR-CS-2, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1985, 133 pp.
5. Tilly, G.P., and Jacobs, J., *Concrete Repairs: Performance in Service and Current Practice*, IHS BRE Press, Bracknell, UK, 2007, 44 pp.
6. ACI Innovation Task Group (ITG) 11, "Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures—Report (ACI PRC-ITG-11-24)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 47 pp.
7. Barlow, P.; Triandafilou, N.R.; and Bartlett, F.M., "New ACI Document on Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures," *Concrete International*, V. 47, No. 4, Apr. 2025, pp. 41-46.
8. AASHTO, "The Manual for Bridge Evaluation, 2022 Interim Revisions," third edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2018, 749 pp.
9. AREMA, "Bridge Inspection Handbook," second edition, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, Lanham, MD, 2017, 355 pp.
10. SEI/ASCE 11-99, "Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2000, 147 pp.

F. Michael Bartlett, FACI, es Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Medioambiental en la Universidad de Western Ontario, Londres, Ontario, Canadá. Sus intereses de investigación incluyen la aplicación de la mecánica estructural y los principios de fiabilidad a la evaluación y rehabilitación de estructuras existentes, en particular puentes. Es presidente del Comité 120 de la ACI, Historia del Concreto; expresidente del Comité 562 de la ACI, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto; y miembro del Comité 353 de la ACI, Evaluación Estadística de Estructuras de Concreto Existentes. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Alberta, Edmonton, Alberta, Canadá, en 1994, bajo la supervisión de James G. MacGregor.



Jeffrey S. West, FACI, es director asociado de la oficina de Austin, Texas, EE. UU., de Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. (WJE). Sus más de 25 años de experiencia incluyen la evaluación y reparación de estructuras existentes, ensayos estructurales y materiales de concreto. Anteriormente, fue profesor de Ingeniería Civil en la Universidad de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá, durante 15 años. West es presidente del Comité 562 de la ACI, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, y del Subcomité 562-SC de la ACI, Comité Directivo, y miembro de los Comités 348 de la ACI, Fiabilidad Estructural y Seguridad; 353, Evaluación Estadística de Estructuras de Concreto Existentes; 437, Evaluación de la Resistencia de las Estructuras de Concreto Existentes; y 437S, Código de Ensayos de Carga de Estructuras



Carl J. "Chuck" Larosche, FACI, es director sénior de WJE con más de 30 años de experiencia en la conservación y restauración de estructuras históricas y existentes, el diseño estructural y la evaluación de estructuras y materiales existentes. Es presidente del Comité Técnico de Actividades (TAC) de la ACI; expresidente de los comités 437 de la ACI, Evaluación de la Resistencia de Estructuras de Concreto Existentes, y 562, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto; y miembro de los comités E702 de la ACI, Diseño de Estructuras de Concreto, y 349, Estructuras Nucleares de Concreto; y del Subcomité 562-SC, Comité Directivo. Larosche es ingeniero profesional titulado en 17 estados. Obtuvo su máster en ingeniería estructural por la Universidad de Texas en Austin.



Título original en inglés:
Evolution of ACI CODE-562.

Where we are, how we got here, and where we are going

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo México Noreste



*Traductora y
Revisora Técnico:*
**Ing. Elissa Narro
Aguirre**

Concretos con bajo contenido de carbono incorporado

A medida que la industria de la construcción trabaja para reducir su impacto ambiental, el concreto continúa atrayendo atención. El impacto ambiental de un producto se mide típicamente como el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) resultante de su fabricación y se reporta como el equivalente de dióxido de carbono (CO₂-eq), también conocido como huella de carbono. En el caso del concreto, el GWP se determina por la energía y emisiones asociadas con la extracción/fabricación de los materiales, las cantidades utilizadas y el proceso de producción. Una declaración ambiental de producto (EPD, por sus siglas en inglés) cuantifica el GWP del concreto en la planta de producción, excluyendo el transporte, las operaciones de construcción y el desempeño esperado del concreto en servicio. Por ejemplo, una mezcla de concreto de 4 000 psi (27.6 MPa), con aire incluido y de bajo asentamiento, utilizado principalmente para pavimentación, tendrá diferentes exigencias de trabajabilidad y constructibilidad que un concreto diseñado para una losa postensada con acabado de llana, y probablemente tendrá una huella de carbono distinta.

Se requiere un enfoque colaborativo y multidisciplinario para optimizar las mezclas de concreto. Alcanzar los objetivos de sostenibilidad y las expectativas de desempeño a largo plazo exige la participación temprana y continua del propietario, el equipo de diseño, el contratista general, el contratista de concreto, el productor de concreto premezclado, los proveedores de materiales y el laboratorio de ensayos.

Los contratistas de concreto de la ASCC reconocen que una construcción exitosa con concreto de baja huella de carbono puede requerir un enfoque diferente en la especificación del concreto, la dosificación de la mezcla, la programación de la construcción y las expectativas relacionadas con el fraguado, la colocación de juntas y el desarrollo de resistencia. Algunos cementos mezclados y

materiales cementantes suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés) pueden presentar una mayor demanda de agua, lo que requiere una cuidadosa selección de aditivos, una adecuada relación agua-materiales cementantes (a/mc) y una optimización de los agregados. Estos aspectos deben revisarse para validar que se cumplan las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. La participación de contratistas y proveedores en las fases tempranas de diseño y pre construcción puede ayudar a evaluar la constructibilidad, la selección de materiales, los planes de colocación, acabado y curado de concretos con bajo contenido de carbono incorporado. El involucramiento temprano también permite una mejor comunicación de los objetivos del proyecto con el proveedor de concreto premezclado y los principales suministradores de materiales, asegurando que todas las partes interesadas comprendan los objetivos de desempeño del concreto.

Las normas de la industria respaldan el “presupuesto de carbono”, concepto que consiste en aplicar el promedio ponderado del GWP inicial de las mezclas de concreto propuestas con los volúmenes planificados para usarse en un proyecto, con el fin de maximizar las opciones disponibles para el equipo de construcción, mientras se cumple con los criterios de diseño y los requisitos de especificación. Cuando los objetivos de desempeño del concreto se consideran desde etapas tempranas, es posible seleccionar o desarrollar mezclas optimizadas que cumplan con los requisitos de resistencia, equilibrando la constructibilidad, el cronograma, el desempeño a largo plazo y el GWP. El Código ACI-323-24: Concreto con bajo contenido de carbono: requisitos del código y comentarios proporciona ejemplos de cálculos para determinar el promedio ponderado del GWP de un proyecto, utilizando los parámetros de referencia regionales de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA, por sus siglas en inglés) u otras alternativas.

La transición hacia requisitos de especificación más orientados al desempeño, manteniendo al mismo tiempo elementos prescriptivos críticos, ofrece mayor flexibilidad. Incorporar alternativas con menor contenido de carbono, como el cemento mezclado ASTM C595/C595M y mayores volúmenes de SCMs locales, junto con la eliminación del requisito de contenido mínimo de cemento, puede aplicarse para obtener mezclas con un GWP inferior al promedio regional. Extender la edad de aceptación de resistencia, por ejemplo, a 56 o 90 días en lugar de 28 días, en zonas donde se espera que las cargas se apliquen más tarde, puede adaptarse al desarrollo más lento de resistencia en

algunas mezclas. El uso de sensores de madurez es una opción para monitorear el desarrollo de la resistencia, mitigando en parte el riesgo de una aceptación con mayor duración.

Sociedad Americana de Contratistas de Concreto

La ASCC recomienda las siguientes mejores prácticas:

- **Comenzar temprano.** Establecer objetivos de carbono a nivel de todo el proyecto durante el diseño conceptual e incorporarlos en los documentos de licitación. Pruebas de durabilidad de nuevas mezclas para evaluar la resistencia a los sulfatos, el uso de edades extendidas para la aceptación de resistencia, y la evaluación de ciclos de congelamiento y deshielo deben iniciarse con meses de anticipación a la construcción;
- **Especificaciones menos prescriptivas.** Evitar requisitos prescriptivos restrictivos que limiten el contenido de SCM, que exijan un contenido mínimo de cemento, que especifiquen una relación a/mc inferior a la requerida por las normas de la industria o que excluyan materiales con bajo contenido de carbono incorporado. Definir los requisitos de ensayos de desempeño con límites y criterios de aceptación claramente especificados;
- **Fomentar la colaboración.** Involucrar a los contratistas de concreto, productores de concreto premezclado y proveedores de materiales en revisiones técnicas tempranas de diseño, evaluaciones de diseño de mezclas y reuniones previas a la construcción. Los laboratorios de ensayo deben estar atentos a los cambios en las necesidades habituales de pruebas y contar con procedimientos e instalaciones para el curado inicial de los especímenes en la obra, de acuerdo con la norma ASTM C31/C31M, “Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de prueba de concreto en el campo”;
- **Planificar la constructibilidad.** Planificar maquetas y lotes de prueba considerando la posibilidad de que la trabajabilidad de la mezcla requiera ajustes en las proporciones. Mezclas de agregados bien graduados con arena natural requerirán menos pasta de cemento para mantener la trabajabilidad. Elementos verticales colados en moldes podrían incorporar concretos de muy bajo GWP y requerir la consideración de ciclos de cimbrado y métodos alternativos de

compactación. Las losas acabadas con llana suelen necesitar mezclas de mayor GWP y pueden requerir evaluar el tiempo de fraguado y la facilidad de acabado. Evaluar posibles ajustes en los materiales, esquemas de colocación, tiempo de colocación, constructibilidad y el cronograma general;

- **Monitorear y reportar.** Usar EPDs específicas por mezcla para dar seguimiento al progreso hacia el presupuesto de carbono del proyecto. Ver ACI PCR-130.1-25: Declaraciones ambientales de producto (EPD) de productos a base de cemento: estado actual y camino a seguir — Nota técnica para obtener orientación adicional; y
- **Compartir el riesgo.** Es recomendable que los propietarios exploren opciones de seguros con su corredor, que reconozcan la responsabilidad compartida ante un posible desempeño inesperado e inaceptable del concreto con mezclas con bajo contenido de carbono recientemente desarrolladas.

Los contratistas de concreto de la ASCC están comprometidos a entregar soluciones de concreto sostenible que cumplan con los objetivos de desempeño y carbono del proyecto. Están preparados para apoyar a los equipos de proyecto en el desarrollo y ejecución de estrategias de sostenibilidad que no comprometan la calidad, la durabilidad o la seguridad.

Si tiene preguntas sobre las opciones de concreto con bajo contenido de carbono incorporado o desea conversar sobre cómo implementar una estrategia de presupuesto de carbono en su próximo proyecto, comuníquese con su contratista de concreto de ASCC o con la línea directa técnica de ASCC al +1.800.331.0668.

Esta declaración de posición de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto es presentada para el interés de los lectores por los editores. Las opiniones expresadas no necesariamente son las del Instituto Americano del Concreto. Los comentarios del lector son bienvenidos.

Título original en inglés:
Lower-Embodied Carbon Concrete

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



*Traductora y
Revisora Técnico:*
**Ing. Xiomara
Sapon Roldán**

Refuerzo de losas sobre el suelo para controlar el agrietamiento por retracción restringida

P. En la edición de mayo de 2025 de la revista *Concrete International* (CI), el artículo titulado *Impacto del tipo de refuerzo en el control de las fisuras por contracción por secado del concreto sometido a restricción*, (“*Impact of Reinforcement Type on Control of Drying Shrinkage Cracking of Concrete Under Restraint*”) identificó y propuso una razón de rigidez del refuerzo ρn_e para usar al comparar el desempeño de varios tipos de refuerzo en las losas sobre el suelo¹. ACI/NEx MNL-6(23): *Práctica recomendada para proyectos con barras de refuerzo FRP en proyectos prediseñados*² (Recommended Practice Guidelines for FRP Bars in Pre-Engineered Projects) proporciona la cantidad de refuerzo de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) que produciría un desempeño similar al del refuerzo convencional de acero en las losas sobre el terreno. Esta cantidad se basa en el porcentaje de reducción de la deformación por retracción no restringida, que proviene del enfoque de diseño optimizado de entrelazamiento de los agregados del ACI PRC-360-10.³ ¿Existe una relación entre el parámetro propuesto ρn_e y el porcentaje de reducción de la deformación por retracción no restringida? ¿Cómo afectan estos parámetros el esfuerzo por alabeo que puede causar agrietamiento en las losas en suelo?

R. Sí, hay una relación directa entre ambos parámetros. Cualquiera de los dos proporciona una base racional para comparar el desempeño de distintos tipos de refuerzo en las losas sobre el suelo. Sin embargo, ρn_e puede describir de forma más clara la restricción que el refuerzo impone y que podría contribuir al agrietamiento del concreto. Para mostrar la relación entre ρn_e y el porcentaje de reducción de la deformación por retracción no restringida, se presenta aquí una breve derivación de las ecuaciones constitutivas, con las explicaciones relevantes. Además, se mostrará que cualquiera de

los dos parámetros cuantifica el esfuerzo a tensión en el concreto inducido por el refuerzo σ_{rr} , el cual contribuye a la magnitud del esfuerzo por alabeo. El esfuerzo σ_{rr} se dio en la Ec. (1) en el artículo de mayo de 2025 de CI. Este esfuerzo fue presentado en su forma general por Miltenberger y Attiogbe⁴ como

$$\sigma_{rr} = \rho E_r \varepsilon_n \quad (1)$$

donde ρ es la proporción del refuerzo; E_r es el módulo de elasticidad del material de refuerzo; y ε_n es la deformación residual o neta por retracción en el concreto, que es igual a la deformación en el refuerzo. Nótese que $E_r \varepsilon_n$ es el esfuerzo en el refuerzo. La Ec. (1) considera tanto efectos elásticos como de fluencia a largo plazo, por lo que puede escribirse como

$$\sigma_{rr} = \rho \frac{E_r}{E_e} \varepsilon_n E_e = \varepsilon_n E_e (\rho n_e) \quad (2)$$

donde E_e es el módulo de elasticidad efectivo o ajustado por fluencia a largo plazo del concreto; y n_e es la razón modular efectiva E_r/E_e . Para refuerzo con área de sección transversal A_r y concreto con área de sección transversal A_c ,

$$\rho n_e = \frac{A_r E_r}{A_c E_e} \quad (3)$$

donde ρn_e es la rigidez relativa del refuerzo respecto al concreto, o la razón de rigidez del refuerzo. Además, $E_e = E_c / (1 + C_r)$, donde E_c y C_r son, respectivamente, el módulo de elasticidad y el coeficiente de fluencia tensil a largo plazo del concreto. C_r corresponde a la fluencia tensil a largo plazo bajo retracción restringida y se ha encontrado que tiene un valor menor que el coeficiente obtenido bajo esfuerzo constante^{5,6}. Esto se atribuye a un incremento de E_c en edades tempranas debido al envejecimiento, lo que provoca una menor restricción del concreto frente a las tensiones de retracción cada vez mayores. El menor valor de C_r bajo retracción restringida sugiere que el uso de propiedades de fluencia tensil obtenidas bajo esfuerzo constante para el análisis o modelación de elementos de concreto restringidos sometidos a secado, conduciría a predicciones no conservadoras del desempeño.⁵

Reducción de la deformación por retracción no restringida

El valor de σ_{rr} se relaciona con ε_{rr} , la deformación tensil en el concreto inducida por el refuerzo, a través de E_e como

$$\sigma_{rr} = \varepsilon_{rr} E_e \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (2) se obtiene

$$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_n (\rho n_e) \quad (5)$$

Contando ε_{rr} y la deformación restringida por gradiente de humedad ε_{sr} (resultado del secado diferencial), pero asumiendo una restricción por fricción entre el concreto y el terreno despreciable⁴, ε_n puede expresarse como

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{sh} - \varepsilon_{rr} - \varepsilon_{sr} = \varepsilon_{sh} - (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{sr}) \quad (6)$$

donde ε_{sh} es la deformación por retracción libre o no restringida del concreto; y $\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{sr}$ es la reducción total de la deformación por retracción no restringida, que considera tanto la restricción por refuerzo como la debida al gradiente de humedad. Incorporando (6) en (5) y simplificando se obtiene

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\rho n_e}{\rho n_e + 1} (\varepsilon_{sh} - \varepsilon_{sr}) \quad (7)$$

De (7) resulta

$$\frac{\varepsilon_{rr}}{\varepsilon_{sh}} = \frac{\rho n_e}{\rho n_e + 1} \left(1 - \frac{\varepsilon_{sr}}{\varepsilon_{sh}} \right) \quad (8)$$

La Ec. (8) da el porcentaje de reducción en la deformación por retracción no restringida debido al refuerzo $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ cuando se considera el gradiente de humedad causado por el secado diferencial. Esta ecuación indica que el valor de $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ dependerá de la condición de secado de la losa, como la humedad relativa ambiental, ya que esto afecta la magnitud de ε_{sr} . Bajo secado uniforme, $\varepsilon_{sr} = 0$; por tanto, la Ec. (8) se convierte en

$$\frac{\varepsilon_{rr}}{\varepsilon_{sh}} = \frac{\rho n_e}{\rho n_e + 1} \quad (9)$$

Una comparación de (9) con (8) indica que (9) sobreestimaría $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ si el secado diferencial es significativo. El cálculo de valores para $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ usando (9) requiere las propiedades ρ , E_r , E_c , y C_r de los materiales, donde la magnitud de C_r es la que corresponde al momento en que puede ocurrir agrietamiento micro o macro. Por ejemplo, para un concreto con $E_c = 2\,900$ ksi (20 000 MPa) y $C_r = 2.0$ reforzado con acero con $\rho = 0.1\%$ y $E_r = 29\,000$ ksi (200 000 MPa), la Ec. (9) da $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh} = 2.91\%$, valor reportado en la Tabla 6.2 de ACI PRC-360-10 y por Gold⁷. Otros valores de ρ y E_r pueden emplearse en (9) para obtener los valores de $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ reportados por Gold⁷.

Por lo tanto, la Ec. (9) muestra que el $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ usado en ACI/NEx MNL-6(23), para determinar la cantidad de refuerzo GFRP en las losas sobre el suelo que produciría un desempeño similar al del refuerzo de acero convencional, depende únicamente de ρn_e . Mientras que $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ y ρn_e están directamente

relacionados, parece que ρn_e , como la rigidez relativa del refuerzo y del concreto o razón de rigidez del refuerzo, describe con más claridad la restricción del refuerzo que puede contribuir al agrietamiento del concreto. Es importante enfatizar que los valores de $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ en la Tabla 6.2 de ACI PRC-360-10, según la Ec. (9), que forman la base de las recomendaciones de diseño en ACI/NEx MNL-6(23), no consideran el secado diferencial típico de las losas en suelo.

Valores de C_r estimados a partir de ensayos con varias calidades de concreto bajo retracción restringida han sido reportados por Attiogbe⁸. Para concreto de resistencia normal se reporta $C_r = 1.5$ en lugar de 2.0, que fue el valor usado para obtener los $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ listados en ACI PRC-360-10 y por Gold⁷. Un ejemplo de comparación de los valores de $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ obtenidos con los dos valores de C_r empleando la Ec. (9) se presenta en la Tabla 1 para un rango de valores de ρ . Los $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ obtenidos con $C_r = 1.5$ son de 10 a 16 % menores que los obtenidos con $C_r = 2.0$, ya que un C_r menor implica una menor restricción y, por ende, un valor menor para $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$.

Esfuerzos tensiles inducidos y esfuerzos por alabeo.

El enfoque de diseño en ACI PRC-360-10 y ACI/NEx MNL-6(23) se basa en el valor de $\varepsilon_{rr}/\varepsilon_{sh}$ y, por tanto, en ρn_e . El valor σ_{rr} en función de ρn_e se obtiene sustituyendo la Ec. (7) en la Ec. (4):

$$\sigma_{rr} = \frac{\rho n_e}{\rho n_e + 1} (\varepsilon_{sh} - \varepsilon_{sr}) E_e \quad (10)$$

Para secado uniforme, $\varepsilon_{sr} = 0$ y la Ec. (10) se reduce a

$$\sigma_{rr} = \frac{\rho n_e}{\rho n_e + 1} \varepsilon_{sh} E_e \quad (11)$$

Sustituyendo $n_e = E_r/E_e$ and $E_e = E_c/(1 + C_r)$, Eq. (11), la Ec. (11) se convierte en

$$\sigma_{rr} = \frac{\varepsilon_{sh}}{\frac{1+C_r}{E_c} + \frac{1}{\rho E_r}} \quad (12)$$

La ecuación (12) es conocida como la ecuación Park y Paula⁹ para σ_{rr} usado en el ACI PRC-360-10 y ACI/NEx MNL-6(23). Al no considerar el secado diferencial, esta ecuación es válida estrictamente para casos de secado uniforme. Pero el secado diferencial de las losas sobre el terreno causa una deformación por retracción diferencial $\Delta\varepsilon$, el principal impulsor del esfuerzo por alabeo, que puede causar macroagrietamiento en las losas sobre el terreno. Miltenberger y Attiogbe derivaron la Ec. (13) para el esfuerzo por alabeo σ_{curl} en una losa

reforzada¹⁴. Los términos en la Ec. (13) incluyen la longitud del panel de losa L ; el espesor de la losa h ; el peso unitario del concreto γ_c ; y una constante β que relaciona la longitud sin apoyo de la losa curvada con $\Delta\epsilon$. La Ec. (13) considera el propio peso de la losa y la restricción interna debida al refuerzo a través de los dos términos en paréntesis y asume que no existe restricción externa. Por lo tanto, σ_{rr} , cuyo valor se determina en función de ρn_e , contribuye a la magnitud de σ_{curl} :

$$\sigma_{curl} = \frac{3}{2} \frac{L^2 \Delta\epsilon}{h^2} (100 \gamma_c h \beta + \sigma_{rr}) \tag{13}$$

El valor de σ_{rr} calculado a partir de (11) o (12) para el caso de secado uniforme sería mayor que el valor calculado a partir de (10) para el caso de secado diferencial. Por tanto, usar el valor de σ_{rr} de la ecuación (12)(de Park y Paula⁹) en (13) sobreestimaría σ_{curl} cuando $\Delta\epsilon$ es significativamente grande.

Tabla 1:
Reducción en la deformación por retracción debido al reforzamiento del concreto, basado en los valores de ρn_e

Razón de refuerzo en porcentaje ρ , %	$E_r = 29,000 \text{ ksi}$ y $E_c = 2900 \text{ ksi}$	
	$C_r = 2.0$ and $n_e = 30$	$C_r = 1.5$ and $n_e = 25$
	Reducción de la deformación por contracción no restringida $\epsilon_{rr}/\epsilon_{sh}$, %	
0.1	2.91	2.44
0.2	5.66	4.76
0.3	8.26	6.98
0.4	10.71	9.09
0.5	13.04	11.11
0.6	15.25	13.04
0.7	17.36	14.89
0.8	19.35	16.67
0.9	21.26	18.37
1.0	23.08	20.00
3.0	47.37	42.86

Nota: 1 ksi = 6.9 MPa

Necesidad de ensayos

Los datos experimentales limitados^{1,10-12} disponibles indican que el refuerzo GFRP con valores de ρn_e menores que los del acero, a cuantías ρ iguales o menores, podría ser adecuado para proporcionar un desempeño similar al del refuerzo de acero. Esto parece deberse, al menos en parte, a la formación de un mayor número de microgrietas en losas reforzadas con GFRP con anchuras de grieta por debajo del nivel máximo aceptable de 0.3 mm (0.01 in.¹¹⁰). Dichas microgrietas contribuirían a la relajación de tensiones, lo cual retrasaría o mitigaría el desarrollo de macrogrietas o grietas fuera de junta y podría permitir que la altura por alabeo y la apertura de juntas se mantuvieran en niveles aceptables. Por lo tanto, para lograr un desempeño similar, puede no ser necesario que el valor de ρn_e (o $r\epsilon_{rr}/\epsilon_{sh}$) para el refuerzo GFRP coincida exactamente con el del refuerzo de acero como lo exige ACI/NEx MNL-6(23). Una cantidad adecuada de refuerzo consistiría en un nivel de ρn_e lo bastante bajo para minimizar la probabilidad de macroagrietamiento, pero lo bastante alto para que la altura por alabeo y la apertura de juntas (o grietas) estén dentro de límites aceptables¹.

La determinación de una cantidad adecuada de refuerzo de un tipo dado para mitigar macroagrietamiento y reducir la apertura de juntas o grietas a niveles aceptables se logra mejor mediante ensayos con losas en suelo a varios valores de ρn_e . Ensayar losas reforzadas con acero o con refuerzos de módulo menor, como barras GFRP y macrofibras sintéticas, a distintas cuantías de refuerzo, dosificaciones de fibra y niveles de retracción por secado del concreto sería útil para establecer valores apropiados de ρn_e o $r\epsilon_{rr}/\epsilon_{sh}$ para espaciamientos de junta que cumplan las recomendaciones de ACI PRC-360-10, para espaciamientos de junta extendidos y para losas sin juntas. Tales ensayos podrían implementar los enfoques experimentales reportados por Mudadu et al¹¹, Bissonnette et al¹³, y Fortin¹⁴.

Referencias

1. Attiogbe, E.K., “Impact of Reinforcement Type on Control of Drying Shrinkage Cracking of Concrete Under Restraint,” Concrete International, V. 47, No. 5, May 2025, pp. 41–49.
2. ACI/NEx, MNL-6(23): Recommended Practice Guidelines for FRP Bars in Pre-Engineered Projects, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023.
3. ACI Committee 360, Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI PRC-360-10), ACI, 2010.

4. Miltenberger, M.A., and Attiogbe, E.K., "Shrinkage-Based Analysis for Control-Joint Spacing in Slabs-on-Ground," ACI Structural Journal, V. 99, No. 3, May-June 2002, pp. 352-359.
5. See, H.T.; Attiogbe, E.K.; and Miltenberger, M.A., "Shrinkage Cracking Characteristics of Concrete Using Ring Specimens," ACI Materials Journal, V. 100, No. 3, May-June 2003, pp. 239-245.
6. Kolver, K.; Igarashi, S.; and Bentur, A., "Tensile Creep Behavior of High-Strength Concretes at Early Ages," Materials and Structures, V. 32, No. 5, June 1999, pp. 383-387.
7. Gold, W.J., "A Rational Design Approach for Using GFRP Reinforcement for Slabs-on-Ground," NEx Workshop: Design of GFRP-Reinforced Slabs-on-Ground and Paving, ACI Concrete Convention – Spring, Toronto, ON, Canada, Mar. 31, 2025.
8. Attiogbe, E.K., "A Procedure to Evaluate the Potential for Drying Shrinkage Cracking of Concrete Under Restraint," Concrete International, V. 44, No. 8, Aug. 2022, pp. 29-33.
9. Park, R., and Paulay, T., Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975, pp. 457-461.
10. Barragan, B.E.; Mudadu, A.; Tiberti, G.; and Plizzari, G.A., "GFRP Reinforced Concrete Slabs Under Restrained Shrinkage," Concrete International, V. 45, No. 7, July 2023, pp. 39-45.
11. Mudadu, A.; Tiberti, G.; Barragan, B.; Löber, P.; Friedemann, S.; Holschemacher, K.; and Plizzari, G.A., "Glass Fiber Reinforced Concrete Jointless Slabs-on-Grade: A Real-Scale Experimental Study," Engineering Structures, V. 304, Apr. 1, 2024, Article No. 117601.
12. Fasil, M.; Rahman, M.K.; Al-Zahrani, M.M.; Nanni, A.; Al-Osta, M.A.; Al-Ghamdi, S.A.; and Al Mehthel, M., "Long-Term Field Monitoring of Slabs-on-Ground Reinforced with GFRP Bars," Construction and Building Materials, V. 404, Nov. 2023, Article No. 133259.
13. Bissonnette, B.; Attiogbe, E.K.; Miltenberger, M.A.; and Fortin, C., "Drying Shrinkage, Curling, and Joint Opening of Slabs-on-Ground," ACI Materials Journal, V. 104, No. 3, May-June 2007, pp. 259-267.
14. Fortin, C., "Curling and Strain Monitoring of Slabs Strips in a Laboratory Environment," MSc thesis, Laval University, Quebec City, QC, Canada, 2005, 322 pp.

Gracias a Emmanuel K. Attiogbe, CEM Innovations, LLC, Discovery Bay, CA, USA, por proveer la respuesta a esta pregunta.

Título original en inglés:
Concrete Q&A.
Reinforcing Slabs-on-Ground
to Control Restrained
Shrinkage Cracking

La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo México
Noroeste



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



Revisor Técnico:
Ing. Oscar Ramírez
Arvizu



CONCRETO
LATINOAMÉRICA