

# CONCRETO

## LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VI | NÚMERO 2 | FEBRERO 2025



### El Arte del Álamo

El árbol distintivo de Colorado fue la inspiración para demostrar la versatilidad del diseño del concreto reforzado con fibra de vidrio (GRFC)

*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. Luis Alvarez Valencia  
Ing. Xiomara Sapón Roldán

### México Noreste

Dr. Alejandro Durán Herrera

### México Noroeste

Ing. Óscar Ramírez Arvizu

### México Centro y Sur

Ing. José Alfredo Rodríguez Campos

### México Sureste

Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala

### República Dominicana

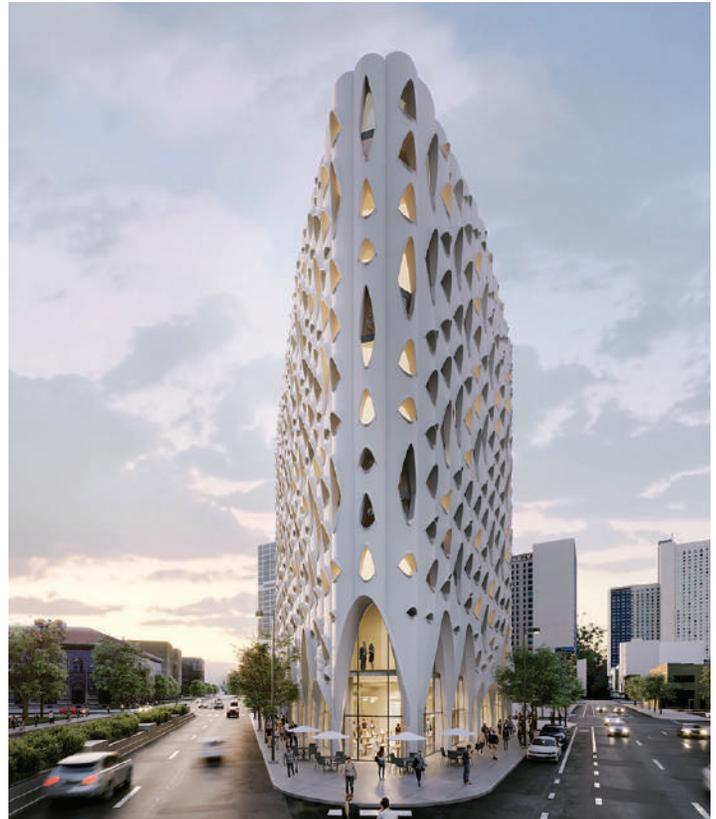
Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

### Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

### Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



El diseño del hotel Populus en Denver, Colorado, EE. UU., está inspirado en la blanca corteza nudosa de un árbol nativo local, El Álamo. Con su fachada de 13 niveles, realizada en concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC), imita con sus ventanas en forma de ojos los nudos de la corteza del álamo, mientras que los elementos verticales curvos en que se incrustan imitan los troncos del mismo árbol que se yerguen sobre las banquetas. El diseño es además energéticamente eficiente, incluyendo cortinas contra la lluvia ensambladas en los paneles de los muros, así como barreras térmicas. Para más información consultar artículo 3 de este número de la revista.

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

# COMITÉ EDITORIAL

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

## Presidente del Comité Editorial:

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

## Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

## Editores Asociados:

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

## Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

## Traducción:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

## Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán  
Ing. Thyssen Won Chang

## Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

## Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

## Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

## Diseño Gráfico:

LDI. Hannia Annett Molina Frías  
LDG. Anakaren Lozano González

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

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

# REVISORES EDITORIALES

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

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez  
Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll  
Dr. Francisco René Vázquez Leal



**¡Únete hoy!**

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



# CONTENIDO

---

## 1 | Introducción del Plan Estratégico del ACI: Construyendo juntos un futuro resiliente

*Por Scott M. Anderson L. Wilson*

## 5 | Innovación Compartida en el Foro de Tecnología 2024 de la Fundación ACI, Parte 3

## 2 | Convocatoria de inscripciones: Premios ACI a la Excelencia en Construcción de Concreto

De una idea de mesa redonda a un éxito internacional

## 6 | Calculando deflexiones con ACI 318-19 y más allá, Parte 1

Introducción al cálculo de deflexiones – Inmediatas y dependientes del tiempo

*Por Peter H. Bischoff*

## 3 | El Arte del Álamo

El árbol distintivo de Colorado fue la inspiración para demostrar la versatilidad del diseño del concreto reforzado con fibra de vidrio (GRFC)

*Por Deborah R. Huso*

## 7 | Sesión Mujeres en el Concreto

Panel interactivo que destaca a las mujeres en la industria del concreto

## 4 | Construcción de un puente de UHPC de claro corto: Consideraciones económicas y las lecciones aprendidas

*Por Sherif El-Tawil, Musawer A. Saqif, William Hazelton, Jon Winckler y Michael Clark*

## 8 | Preguntas y Respuestas. Acondicionamiento de humedad de núcleos de concreto

# CONVOCATORIA

## CONCRETO LATINOAMÉRICA

¿Publicar tus artículos de investigación y casos de estudio en nuestra revista?

¡Es muy fácil!

*Descarga la Guía de Publicación*



¡Escanea para conocer los requisitos!

*Llena la Carta de Solicitud*



¡Escanea para completar tus datos!

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

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

# 01

## Introducción del Plan Estratégico del ACI: Construyendo juntos un futuro resiliente

Por Scott M. Anderson L. Wilson

El ACI se enorgullece de presentar su nuevo Plan Estratégico, un camino para avanzar en el conocimiento, fomentar la innovación e impulsar el futuro del concreto en un panorama global dinámico. Desde el 2016, el ACI y la comunidad global han experimentado desarrollos significativos. En respuesta, la junta directiva del ACI inició una actualización estratégica para garantizar que el Instituto siga siendo adaptable y eficaz. Este plan renovado se basa en los objetivos establecidos del ACI, alineando sus esfuerzos con las necesidades cambiantes de la comunidad global.

Las partes clave del nuevo plan son:

### Una visión para el futuro

El ACI visualiza un mundo en el que las partes interesadas posean los conocimientos y habilidades necesarias para utilizar el concreto de forma efectiva, adaptándose a los nuevos retos de un mundo cambiante. La visión del ACI es ambiciosa, pero con la fuerza de la comunidad mundial, es alcanzable.

### Nuestra misión y valores

En el núcleo del Plan Estratégico se encuentra la misión del ACI: avanzar en el conocimiento del concreto y su uso. Esta misión se sustenta en los valores que nos caracterizan: credibilidad, respeto, consenso y dedicación al crecimiento personal y profesional. El ACI se mantiene firme en su compromiso de ofrecer beneficios tangibles a la sociedad y apoyar a sus grupos de interés en cada paso.

## Grupo de trabajo de la Junta sobre la actualización del Plan Estratégico

Tras la Convención del Concreto del ACI - Primavera 2024 en Nueva Orleans, Los Ángeles, EE.UU., el Presidente del ACI Michael J. Paul estableció un Grupo de Trabajo de la Junta a cargo de la Actualización del Plan Estratégico, presidido por el Vicepresidente del ACI Scott M. Anderson, con la misión: «Revisar el Plan Estratégico del ACI y hacer recomendaciones a la Junta sobre los cambios o actualizaciones necesarios». Los miembros del Grupo de Trabajo fueron: Ann Harrer, Carol M. Hayek, Kimberly A. Kayler, Anton K. Schindler, Frederick H. Grubbe y John C. Glumb. El Grupo de Trabajo se reunió periódicamente durante el verano y el otoño de 2024. Este Grupo de Trabajo presentó su proyecto final de plan a la Junta Directiva del ACI en la Convención de Concreto del ACI - Otoño 2024 en Filadelfia, Pensilvania, EE.UU. El plan fue sometido a votación y aprobado por unanimidad por la Junta Directiva del ACI.

## Objetivos estratégicos: Guiando nuestro camino

El Plan Estratégico perfila cinco objetivos clave que impulsarán las iniciativas del ACI en los próximos años:

### 1. Profundizar en los conocimientos

- Ampliar y perfeccionar conocimientos específicos de concreto para mantenerse a la vanguardia de la innovación de la industria.
- Catalizar el progreso fomentando la adaptabilidad y capacidad de respuesta a las nuevas tendencias.

### 2. Difundir conocimientos

- Compartir conocimientos a través de documentos autorizados, programas de divulgación y certificaciones.
- Educar a las partes interesadas sobre los beneficios y aplicaciones del concreto para promover una toma de decisiones informada.

### 3. Comprometerse globalmente

- Aumentar la presencia del ACI en los mercados internacionales.
- Proporcionar recursos accesibles y localizados para un público diverso y global.

#### 4. Fomentar la resiliencia y sostenibilidad

- Definir y defender el papel del concreto en la construcción resiliente y sostenible.
- Facilitar a las partes interesadas herramientas y conocimientos para crear un futuro sostenible.

#### 5. Mejorar la experiencia ACI

- Fomentar una comunidad de socios integradora y dinámica que favorezca el compromiso y el crecimiento.
- Atraer e inspirar a la próxima generación de profesionales del concreto.

## Construyendo un mañana mejor

A medida que el ACI se embarca en este viaje, el Instituto invita a todos los miembros, socios y partes interesadas a unírseles para dar forma al futuro del concreto. Juntos, aprovecharemos la innovación, ampliaremos nuestro alcance global y daremos prioridad a la sostenibilidad para dejar un legado a las generaciones venideras.



### Resumen del Plan Estratégico del ACI. Construyendo un futuro resiliente

#### Plan Estratégico del ACI Nuestro Futuro | Visión

ACI imagina un futuro en el que nuestros grupos de interés dispongan de los conocimientos y habilidades necesarias para utilizar el concreto de forma eficaz en un mundo cambiante.

#### Nuestra Actividad | Misión

ACI impulsa el conocimiento del concreto y su uso.

#### Nuestra Comunidad | Grupos de interés

ACI sirve a una comunidad global diversa de grupos de interés que confían en nuestra experiencia, servicios y productos.

#### Nuestros Valores | Nos esforzamos por

- Beneficio para la sociedad
- Credibilidad
- Consenso
- Respeto
- Crecimiento personal y profesional

#### Nuestros Objetivos Estratégicos

ACI utilizará sus recursos y experiencia para proporcionar liderazgo en el uso eficaz del concreto y fomentar la conciencia a través de la comunicación y el compromiso de los grupos de interés.

Nuestro enfoque será:

#### Profundizar en los conocimientos

- Mejorar y ampliar continuamente los conocimientos sobre el concreto.
- Catalizar la innovación y el progreso de la industria.
- Ser ágiles y adaptables.

#### Difundir conocimientos

- Transmitir conocimientos a través de documentos y actividades de divulgación.
- Informar sobre las ventajas y aplicaciones del concreto.
- Ampliar los programas de certificación.

#### Comprometerse globalmente

- Expandirse en ubicaciones internacionales clave.
- Proporcionar documentos del ACI en otros idiomas y adaptarlos cuando proceda.

#### Fomentar la resistencia y sostenibilidad

- Definir y defender el papel del concreto en la construcción resiliente y sostenible.
- Facilitar a las partes interesadas herramientas y conocimientos para crear un futuro sostenible.

#### Mejorar la experiencia ACI

- Fomentar una comunidad de socios integradora y dinámica que favorezca el compromiso y el crecimiento.
- Atraer e inspirar a la próxima generación de profesionales del concreto.

“Al actualizar nuestra visión y misión para que sean claras y contundentes, el nuevo plan estratégico del ACI reitera nuestro propósito fundamental y, lo que es más importante, hace hincapié en nuestro compromiso con la participación, tanto interna como externa, en un enfoque global que abarca la sostenibilidad y la gestión responsable.”, afirmó el presidente del ACI Michael J. Paul.

Explora el Plan Estratégico completo para obtener información detallada sobre cómo el ACI está convirtiendo la visión en acción. ¡Construyamos juntos un futuro resiliente!

El Vicepresidente del ACI **Scott M. Anderson**, FACI, es Vicepresidente y Director General de Keystone Structural Concrete (Keystone), una contratista de concreto en Houston, Texas, EE. UU. Keystone es una división del Stewart Holdings Group, una familia de empresas que realiza todo tipo de construcciones de concreto en los mercados de Houston, Austin y San Antonio, Texas. En Keystone, ha supervisado la construcción de concreto encofrado elevado desde 1999. Anderson es Presidente del Comité Asesor Financiero del ACI. Es miembro de los Comités E703, Prácticas de Construcción de Concreto, y 134, Constructibilidad del Concreto, y del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias. Anderson ha sido muy activo en la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC) a lo largo de su carrera, sirviendo como su presidente en 2015-2016. Concrete Construction lo nombró una de las «Personas más influyentes en la construcción de concreto» del 2018, en parte por su liderazgo en la ASCC. Obtuvo su Licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad Estatal de Nueva York en Buffalo, Nueva York, EE.UU. y un máster en investigación de las propiedades del concreto en la Universidad de Texas en Austin, Texas. Anderson es un ingeniero profesional licenciado en Texas.



Título original en inglés:  
**Introducing ACI's Strategic Plan:  
Building a Resilient  
Future Together**

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



*Traductor:*  
**Luis Angel Cubas  
Saavedra**  
*Estudiante*



*Revisores Técnicos:*  
**Ing. Julio Higashi  
Luy**



**Ing. Jakelyn Quispe  
Vásquez**

# 02

## Convocatoria de inscripciones: Premios ACI a la Excelencia en Construcción de Concreto

Ahora en su onceavo año, los Premios ACI a la Excelencia en Construcción de Concreto invitan a propietarios, equipos de proyecto, Capítulos ACI y a los socios internacionales a nominar proyectos en construcción de concreto para los Premios ACI 2025 a la Excelencia en Construcción de Concreto. Estos premios de excelencia reconocen proyectos que demuestran construcciones excepcionales en concreto alrededor del mundo por su grado de innovación, complejidad, ejecución y valor del concreto como un material dado.

### Categorías de los premios

El programa de los Premios ACI a la Excelencia en Construcción de Concreto incluye ocho categorías: Estructuras de baja altura (hasta tres pisos), Mediana altura (de cuatro hasta 15 pisos), Gran altura (más de 15 pisos), Puentes, Infraestructura, Reparación y restauración, Concreto Decorativo y finalmente Pisos Planos.

### Como nominar un proyecto para los Premios ACI a la Excelencia

Los proyectos pueden ser nominados mediante el pago de una cuota no reembolsable de \$ 995.00 dólares americanos. Esta cuota no aplica para los capítulos del ACI ni para los socios internacionales, con un proyecto por categoría.

Los proyectos nominados deben ser construcciones nuevas, por lo que deben estar sustancialmente terminadas dentro de los 36 meses previos a la fecha límite de envío. Para conocer las pautas de elegibilidad y nominar un proyecto, visite el sitio web [www.aciexcellence.org](http://www.aciexcellence.org).

Las inscripciones para los Premios ACI 2025 a la Excelencia en la Construcción de Concreto vencen el 29 de abril del 2025. La gala de los premios anuales, en la que se anunciarán los ganadores se realizará durante la convención de concreto del ACI en Baltimore, MD, USA, el 27 de octubre del 2025.

Título original en inglés:

Call for Entries: ACI Excellence in  
Concrete Construction Awards

La traducción de este artículo  
correspondió al Capítulo Costa Rica



Traductor:  
**Kermith Tenorio  
Jiménez**  
Estudiante



Revisore Técnico:  
**Ing. Minor Murillo  
Chacón**

# 03

## El Arte del Álamo

El árbol distintivo de Colorado fue la inspiración para demostrar la versatilidad del diseño del concreto reforzado con fibra de vidrio (GRFC)

Por Deborah R. Huso

El hotel Populus de 265 habitaciones en Denver, CO, Estados Unidos de Norteamérica, aporta una nueva perspectiva a la arquitectura biofílica. Con una fachada de 13 pisos revocada en concreto reforzado con fibra de vidrio (GRFC, por sus iniciales en inglés), el diseño del edificio estuvo inspirado por la corteza blanca anudada del álamo nativo (*Populus tremuloides*). Las sorprendentes aberturas de las ventanas del hotel en forma de ojo simulan la corteza escamosa del álamo, mientras que la fachada curva en la que están integradas se yergue como una serie de majestuosos troncos de álamo que se elevan desde las banquetas de la ciudad (Fig. 1).

El desarrollador de bienes raíces con sede en Denver, Urban Villages, afirma que el Populus será el primer hotel carbono positivo en los Estados Unidos, debido en parte a su diseño eficiente en cuanto al uso de energía, que incluye un panel de revestimiento ventilado con un muro panelizado contra intemperie y barreras térmicas. El GRFC sirve como un recubrimiento para el panel de revestimiento ventilado.

La arquitecta Jeanne Gang de Chicago, IL, de Studio Gang con sede en los Estados Unidos, dijo que ideó el diseño para el hotel de 12,540 m<sup>2</sup> (135,000 ft<sup>2</sup>) en el centro de Denver después de admirar los álamos nativos durante una excursión por las Montañas Rocallosas colindantes. “Formando una interfaz fundamental entre el interior y el exterior, las ventanas distintivas extienden las habitaciones del hotel hacia la ciudad y las Montañas Rocallosas y más allá”, afirmó Gang. “Su forma se inspira en el patrón de crecimiento observado en los álamos icónicos de Colorado, cuyas ramas producen ‘ojos’ en la superficie de los troncos.”

## Lograr una Geometría Única con GRFC

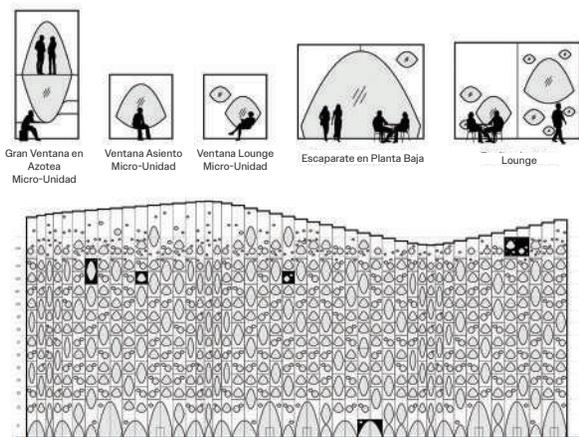
“La materialidad del GRFC fue la preferencia del equipo de diseño”, dijo Michael Koehler, Gerente de Proyecto Senior de The Beck Group, contratista con sede en Dallas, TX, Estados Unidos. Don Williams, Presidente de Unlimited Designs con sede en Salt Lake City, UT, Estados Unidos, el fabricante de GRFC del proyecto, observó que si bien se consideraron otros materiales para la fachada del hotel, los descartaron rápidamente a favor del GRFC. “Este proyecto definitivamente se presta para el GRFC por la geometría única de las formas”, comentó.

Según Chris O’Hara, Director fundador de la firma de ingeniería estructural y consultor de fachadas Studio NYL con sede en Denver, el GRFC fue elegido debido a “su capacidad para lograr la compleja geometría y textura a la vez que proporciona grandes paneles para reducir los empalmes en el edificio”.

El Director de Gestión de Proyectos de Unlimited Designs, Dustin Williams, afirmó que “el GRFC agregó flexibilidad al diseño de la fachada, permitiendo el desarrollo de formas intrincadas, curvas y secciones delgadas que pueden ser difíciles o costosas de lograr con concreto prefabricado”.



Fig. 1: Revocado del hotel Populus (imágenes cortesía de Studio Gang)



**Fig. 2: Un diagrama que muestra cinco tipos de aberturas de ventanas (dibujos cortesía de Studio Gang)**

El uso de GFRC también permitió tiempos de construcción acelerados debido a que el muro contra intemperie del edificio pudo instalarse antes de los paneles GFRC. De esta forma, el revestimiento exterior de GFRC del edificio pudo instalarse simultáneamente con las características interiores, una ventaja distintiva frente al clima impredecible de Denver. El equipo de construcción no tuvo que construir piso por piso con el muro contra intemperie y la fachada del panel de GFRC.

Koehler afirmó que trabajó mucho para economizar en la construcción del hotel. “Cuando se realizaron los planos originales, tenía más de 200 tipologías de paneles únicos”, explicó. “Pero este es un hotel y tiene que ser un proyecto que genere ingresos. Tuvimos que lograr un equilibrio entre diseño y costo”. Para cumplir con los requerimientos presupuestarios, The Beck Group, Studio Gang, Studio NYL y Unlimited Designs economizaron las formas de los paneles arquitectónicos de GFRC para minimizar la cantidad de moldes exclusivos.

“El diseño inicial ya había considerado minimizar los paneles especiales en la fachada del edificio utilizando el mismo radio para los paneles típicos y siete módulos de tipos de ventana”, apuntó O’Hara. “El punto en el que el edificio se encontraba con el suelo y las esquinas es donde se producían los paneles únicos. La mayoría del área de la superficie del edificio provenía de siete tipos de paneles” (Fig. 2).

Con ayuda de Studio Gang, Unlimited Designs pudo establecer varias repeticiones en la manufactura de los paneles de GFRC. “El objetivo no era ver mucha repetición”, señaló Don Williams, sino que, al cambiar la orientación de los paneles, uno podía lograr una vista completamente diferente para dos paneles distintos que provenían del mismo molde. “Creamos piezas plug and play”, agregó. “El GFRC es excelente para eso”.

## Fabricar los Paneles “Festoneados”

De acuerdo con Dustin Williams, la estructura principal del hotel consiste en 374 paneles de GFRC, que requirieron 64 moldes únicos. “Tratamos de tener cierta repetición para la construcción de moldes porque esa es la parte más costosa y laboriosa del proyecto”.

Unlimited Designs también construyó cuatro tipos diferentes de festones en los moldes, cada uno de los cuales sirvió como el radio de un “tronco de árbol” y envolvió el muro exterior de un solo cuarto de huéspedes. Mientras tanto, las ventanas que puntean los troncos de GFRC festoneados, imitan los “ojos” del álamo, cada uno con una “tapa” de ventana que se extiende hacia afuera tanto para dar sombra a la ventana, como para canalizar el agua de lluvia.

Los festones cuentan con un radio de aproximadamente 2 a 3 m (6 a 10 ft) y dependiendo del tipo de festón que estuviera en el molde, uno podía lograr una vista muy diferente para los paneles que de otra forma serían iguales.

Dustin Williams dijo que su equipo utilizó dos máquinas CNC diferentes de cinco ejes para construir los moldes en espuma de densidad media (MDF, por sus siglas en inglés), utilizando un conjunto de nervaduras para los festones (Fig. 3). “Desde la parte exterior de la ‘ceja’ hasta el retorno se tienen casi 1.2 m [4 ft] de profundidad para algunas de las ventanas”, observó. “Esos moldes fueron hechos con espuma de alta densidad”.



**Fig. 3: Características del diseño festoneado creado en MDF (fotografía cortesía de Unlimited Designs)**

En el primer piso del hotel, las ventanas son más como portales, que se extienden 9 m (30 ft) de altura para enmarcar las vistas en el vestíbulo, restaurante y otros espacios comunes del edificio. Las aberturas de las ventanas en los pisos superiores hacen una curva en los asientos de las ventanas parabólicas en los cuartos de huéspedes del hotel, ofreciéndoles vistas reclinadas del Parque del Centro Cívico al sureste o de las Montañas Rocallosas al poniente (Fig. 4).

Además de los excepcionales orificios en forma de “ojo” y de la naturaleza curva de la fachada arquitectónica del Populus, su otra característica sobresaliente es el llamativo color blanco brillante del edificio, no muy distinto al fascinante alabastrino del álamo del que toma su inspiración de diseño. A decir de Dustin Williams, el color está hecho de forma natural, con el agregado blanco triturado con el que se construyen los paneles de GFRC.

Los 374 paneles de GFRC para la fachada del hotel se transportaron a lo largo de más de 800 km (500 millas), desde Salt Lake City hasta Denver en estructuras en forma de A; la mayoría de los camiones transportaron dos paneles simultáneamente (Fig. 5). The Beck Group tuvo que hacer uso de un patio local de almacenamiento para alojar los paneles porque no había lugar para resguardarlos en el estrecho sitio de la construcción, que se encuentra delimitado en tres lados por calles, incluyendo la concurrida esquina de Colfax Avenue y 14th Street frente al Parque del Centro Cívico.



**Fig. 4: Un cuarto de huéspedes con asiento de ventana parabólica (imagen cortesía de Studio Gang)**

El sitio completo de la construcción era de sólo 1115 m<sup>2</sup> (12,000 ft<sup>2</sup>), 743 m<sup>2</sup> (8000 ft<sup>2</sup>) lo que constituye el edificio en sí. “Transportamos suficientes paneles al sitio de la obra para 2 a 3 días de uso”, confirmó Koehler.

La fachada del hotel cuenta con 374 paneles grandes.

De conformidad con Koehler, el panel promedio midió aproximadamente 3 m de ancho por 6 m de alto. Cada panel en promedio tiene 38 mm (1-1/2 pulgadas) de espesor, pero ese espesor variaba debido a que Unlimited Designs tuvo que incrementarlo alrededor de las ventanas, u “ojos” de los troncos del árbol.

Cada panel de GFRC tiene forma de barril para crear profundidad visual. Muchos tienen aberturas especiales de ventanas con un enorme retorno al vidrio para crear impactantes sombras e iluminación tanto en el interior como en el exterior del edificio.

“Somos extremadamente originales en torno a la parte inferior del edificio, luego estandarizamos la parte media, posteriormente otra vez originales en la parte superior”, afirmó Koehler.

## Minimizar las Conexiones de los Paneles

La instalación de la fachada exterior del edificio empezó a finales de diciembre de 2023 y se concluyó en mayo de 2024. El muro contra intemperie de la fachada comprende paneles con postes metálicos prefabricados unidos a la estructura de concreto reforzado del hotel. Los paneles fueron fabricados con una membrana de barrera de aire resistente al agua y permeable al vapor sobre un aislamiento continuo exterior. Los paneles de GFRC se unen al muro contra intemperie (Fig. 6).

“Todas las conexiones se basan en apilamiento de los paneles uno sobre el otro”, dijo Don Williams. Las conexiones se construyen con acero galvanizado de alta resistencia. El sistema de conexión es bastante sencillo. Los paneles cuelgan de dos conexiones, lo que el equipo de construcción llama un toallero con un receptor en la parte inferior que posiciona el panel. El instalador del GFRC, Cannon Masonry con base en Salt Lake City, empleó el mismo proceso de conexión a todo lo largo del edificio.

“El diseño tiene el propósito de minimizar conexiones a la estructura primaria y permitir que el GFRC funcione acorde con sus resistencias”, explicó O’Hara. El equipo logró esto minimizando el número de anclas que utilizan el toallero y las espigas de carga debida al viento. Por tanto, había sólo aproximadamente seis anclas por panel de 10 m<sup>2</sup> (200 ft<sup>2</sup>). “Esto minimizó las penetraciones a través del cerramiento del edificio y también minimizó el número de conexiones de ruptura

térmica necesarias”, agregó O’Hara. “Lo que mejoró considerablemente tanto el desempeño térmico como eólico de la envoltura”.

De acuerdo con Mark Cannon, propietario y CEO de Cannon Masonry, cada uno de los paneles inferiores se soldó en la base del edificio. Alrededor de 180 piezas de los 374 paneles de GFRC eran básicamente de la misma forma y tamaño (3 x 6 m), pero con diferentes tipos de aberturas de ventanas.

Para apilar los paneles hacia arriba del edificio, los instaladores soldaron una espiga al panel inferior y el panel superior se asienta sobre esa espiga base.



**Fig. 5:** Los paneles terminados de GFRC fueron transportados en un camión desde Salt Lake City, UT, hasta Denver, CO (fotografía cortesía de Cannon Masonry)



**Fig. 6:** La fachada del hotel Populus durante la construcción. Las áreas negras son la membrana de barrera del muro contra intemperismo. Las bandas metálicas alternas son “toalleros” de acero galvanizado de alta resistencia para colgar los paneles de GFRC blancos (fotografía cortesía de Cannon Masonry)

“Después hay una espiga media que está atornillada al edificio, entonces está el toallero del que cuelga el panel en la parte superior”, explicó Cannon, destacando que la espiga media es más corta que la inferior, de manera que una vez que el panel se encuentra en la espiga inferior, los instaladores pueden recargar el panel en el muro contra intemperie. “Básicamente es una fachada flotante”, añadió.

The Beck Group dispuso todas las espigas y soportes para unir los paneles de GFRC. “Todos estos toalleros y espigas medias se unen alrededor de todo el edificio”, afirmó Cannon. “Con la mayor parte del revestimiento colocado, la instalación fue bastante sencilla”. No obstante, observó que algunas veces su equipo tuvo que sacar la espiga media del edificio y rectificarla para ajustarla y hacer que cupiera el panel.

Cannon dijo que el estrecho sitio de la construcción fue el aspecto más desafiante de la instalación del panel. Por lo general, expresó, su equipo habría utilizado dos montacargas para instalar los paneles de GFRC para una estructura como la del Populus. Pero debido a restricciones de espacio, en su lugar, utilizaron un sistema de polipasto, empleando una grúa con dos polipastos eléctricos para elevar los paneles en su lugar.

“Un día podíamos colocar ocho piezas y otro día, sólo dos”, observó Cannon. “Cada colocación es diferente porque si las espigas medias o toalleros no están colocados con toda la exactitud, es necesario hacer ajustes finos. La alineación es enorme”.

A decir de Cannon, en su mejor día, Cannon Masonry colocó 11 paneles, “pero promediamos de cuatro a seis paneles por día”. En menos de 6 meses su cuadrilla colocó 374 paneles que constituyen el hotel principal, sin incluir piezas base o la terraza del restaurante.

“Para algo que es tan repetitivo, definitivamente fue un reto”, indicó Cannon, debido en gran parte a la necesidad de modificaciones durante el proceso de instalación. “Las conexiones del cerramiento del edificio casi nunca son exactas, de manera que a menudo se hicieron pequeñas modificaciones ya fuera en el GFRC o en los marcos. Se tiene que pensar rápido y adaptarse”.

“El mayor desafío de Populus fue crear un edificio con una geometría muy especial sin excederse del presupuesto con los moldes”, aseveró Don Williams. “Lo más asombroso es la forma en que Studio Gang nos ayudó a realizar la repetición sin que se viera como una repetición”.

“Incluso si tienes los mismos paneles, puedes posicionarlos en forma diferente, de manera que la repetición no sea visible”, agregó Dustin Williams.

“La construcción del edificio es mucho más tradicional de lo que se ve desde el exterior”, afirmó Koehler. Básicamente es un sistema de panel de muro de derivación prefabricado, de gran formato. “Es un abordaje práctico. Se pueden lograr estas formas súper complejas con un sistema que sea familiar, probado y verdadero”.

Populus inició sus operaciones a finales del verano de 2024.

Seleccionado por los editores para interés del lector.

Título original en inglés:

**The Art of the Aspen.**

Colorado's signature tree was the inspiration to demonstrate the design versatility of GFRC

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



*Traductora:*

**Lic. Ana P. García  
Medina**



*Revisora Técnica:*

**Ing. Karla Elizabeth  
de la Fuente  
Monforte**

# 04

## Construcción de un puente de UHPC de claro corto: Consideraciones económicas y las lecciones aprendidas

Por Sherif El-Tawil, Musawer A. Saqif, William Hazelton, Jon Winckler y Michael Clark

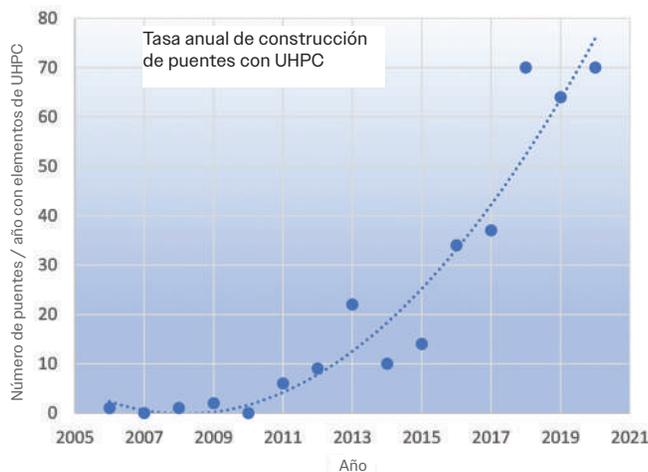
El concreto de ultra alto comportamiento (UHPC) es un avanzado material compuesto de cemento que ha llamado la atención de los ingenieros estructurales de todo el mundo por sus extraordinarias propiedades mecánicas y de durabilidad. Caracterizado por una mezcla única de arena de grano fino, una relación agua-cemento ( $w/c$ ) inferior a la del concreto tradicional y fibras (normalmente de acero), el UHPC ofrece resistencias a la compresión superiores a 150 MPa (21.800 psi). El UHPC que está bien reforzado con fibras de acero también muestra un comportamiento de endurecimiento por deformación a la tracción, en el que sigue soportando la carga de tracción más allá de la primera grieta a través de lo que se conoce como un proceso de agrietamiento múltiple. Su extrema durabilidad frente a la degradación ambiental lo convierte en un candidato ideal para un sinnúmero de aplicaciones constructivas en las que las estructuras están sometidas a severas condiciones ambientales.

El uso de UHPC ha experimentado un importante repunte en los últimos años, sobre todo en el ámbito de la construcción de puentes en Estados Unidos. Este

aumento puede atribuirse a las diversas iniciativas del programa Every Day Counts (EDC) promovido por la Administración Federal de Carreteras (FHWA), cuyo objetivo es acelerar la integración de la tecnología y la innovación en los proyectos de autopistas. Los programas EDC, que abarcan desde 2015 hasta 2022, han tratado de fomentar el uso del UHPC, inicialmente en componentes estructurales menores pero vitales, como la colocación de junta de cierre, y posteriormente en recubrimientos de la superficie de rodamiento en puentes y rehabilitación estructural. La Figura 1 muestra que el UHPC se utilizó en un solo puente en 2005, mientras que ese número se había disparado a 70 en 2018, un aumento del 7,000% en 13 años<sup>1</sup>.

Sin embargo, a pesar de su creciente uso, el UHPC se ha utilizado principalmente en aplicaciones de pequeño volumen. Uno de los usos más comunes ha sido la colocación de tapones en las juntas entre piezas prefabricadas, normalmente de concreto convencional. Otra aplicación de bajo volumen es el refuerzo de mallas corroídas de vigas de acero<sup>2</sup>. La tendencia más reciente es utilizar el UHPC para recubrir los tableros y proteger el concreto subyacente. El mayor proyecto de recubrimiento de un tablero en Estados Unidos fue el del Delaware Memorial Bridge<sup>3</sup>, un proyecto que se completó a principios de 2024 y que supuso el uso de unos 3,823 m<sup>3</sup> de UHPC.

El primer puente de EE.UU. cuya superestructura está fabricada íntegramente con UHPC es el puente de Bricker Road sobre el desagüe de Quackenbush, propiedad de la Comisión de Carreteras del Condado de St. Clair, en Michigan, EE.UU.<sup>4</sup> El presente artículo informa sobre el segundo de estos puentes, el puente de Gratiot Road sobre el desagüe de Moak,



(a) Puentes por año que tienen elementos de UHPC



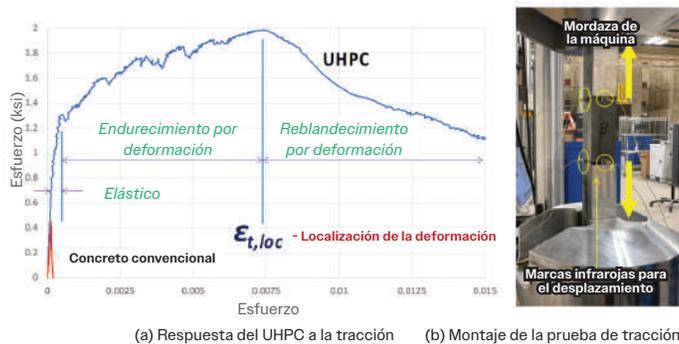
(b) Localización de puentes en EE.UU.

Fig. 1: Tasa anual de construcción de puentes con UHPC en Estados Unidos

que también se encuentra en el condado de St. Clair, MI. Un aspecto único del puente de Gratiot Road es que es el primer puente de EE.UU. que se ha diseñado utilizando la «Guía de especificaciones para el diseño estructural con concreto de ultra alto comportamiento» de la AASHTO (Referencia 5, en lo sucesivo denominada Guía AASHTO). A diferencia del puente de Bricker Road, este diseño supuso un ahorro sustancial en la cantidad de refuerzo de fibra de acero.

## Especificación del UHPC en Estados Unidos: De las disposiciones prescriptivas a los requisitos de desempeño

La Figura 2(a) ilustra cómo se comporta el UHPC a tracción directa en comparación con el concreto convencional. Los ensayos de tracción se realizaron utilizando el protocolo de ensayo AASHTO T 397-22<sup>6</sup>; véase la Fig. 2(b). Durante la fase de endurecimiento por deformación, se forman numerosas microfisuras a lo largo del indicador. Estas microfisuras son extremadamente estrechas. Al aumentar la tensión de tracción, una de las microfisuras se localiza, iniciándose así la fase de reblandecimiento por deformación. A diferencia del concreto convencional, la importante respuesta a la tracción del UHPC debe tenerse en cuenta en el diseño. A diferencia del concreto convencional, se debe tener en cuenta la importante respuesta a la tracción del UHPC en el diseño.



**Fig. 2: La respuesta de endurecimiento por deformación a la tracción del UHPC se mide utilizando especímenes prismáticos (Nota: 1 ksi = 7 MPa)**

La función principal de las fibras de acero en el UHPC es facilitar la apreciada respuesta de endurecimiento por deformación del material. Una dosis insuficiente de fibras o unas fibras que se desprendan fácilmente de la matriz del UHPC pueden dar lugar a un concreto insuficientemente reforzado que muestre un comportamiento frágil. Por el contrario, las fibras de acero que se unen con demasiada

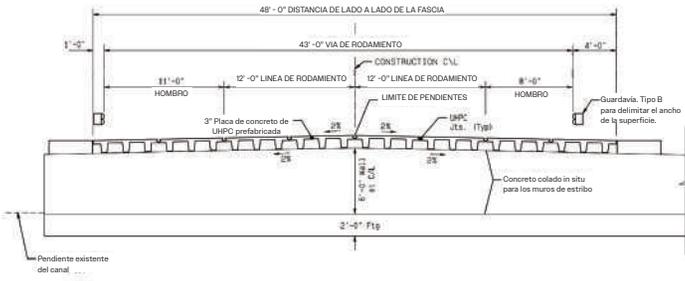
fuerza a la matriz del UHPC también pueden provocar un comportamiento frágil, ya que pueden romperse en lugar de deslizarse bajo una carga de tracción. La sobredosificación de fibras puede causar problemas en la mezcla, como aglomeración de fibras y aumento de la porosidad, lo que puede ser perjudicial para la durabilidad del material<sup>7</sup>.

Antes de la publicación de la Guía AASHTO, la cantidad necesaria de refuerzo de fibra de acero era prescrita por el propietario del puente. El nuevo documento anima a los diseñadores a evitar esta práctica exigiendo que el UHPC alcance una capacidad mínima de endurecimiento por deformación a tracción del 0.25%. Este cambio de filosofía abre la posibilidad de optimizar la cantidad de fibras de acero para lograr reducciones sustanciales en los costos del UHPC.

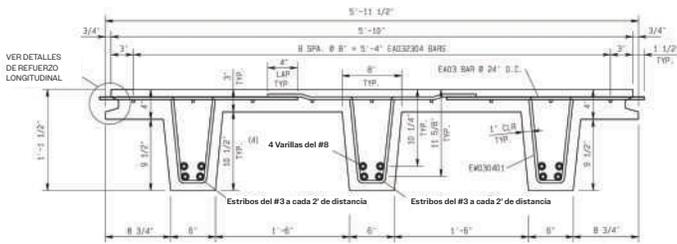
Las fibras más utilizadas para aplicaciones estructurales del UHPC son fibras de acero de carbono rectas, de 13 mm (0.5 pulg.) de longitud y 0.2 mm (0.008 pulg.) de diámetro. Estas fibras se utilizan normalmente en dosificaciones de alrededor del 3% en volumen. Por ejemplo, en el proyecto de recubrimiento del puente Delaware Memorial se utilizaron estas fibras en una proporción del 3.25% por volumen<sup>3</sup>. La Guía AASHTO abre la posibilidad de utilizar una dosificación menor siempre que se cumpla el requisito de rendimiento, como se demuestra en este artículo.

## El puente de la carretera Gratiot sobre el desagüe de Moak: Un caso práctico

El puente de la carretera Gratiot requirió el uso de ocho paneles de UHPC (Fig. 3), cada uno con una cubierta de 76 mm (3 pulg.) y tres vástagos de 267 mm (10.5 pulg.) (Fig. 4). La cubierta se aumentó a 102 mm (4 pulg.) en los extremos de cada panel para alojar los canales longitudinales. El diseño del puente se realizó según la Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes (2018)<sup>8</sup> y las especificaciones preliminares propuestas por la FHWA para su incorporación a la entonces no publicada Guía AASHTO. Una consideración de diseño para este puente que no es un requisito en la Guía AASHTO fue garantizar explícitamente que la localización de las grietas no se produjera bajo condiciones de servicio. Esto se hizo limitando la deformación por tracción al 0,1% en condiciones de servicio, como lo propusieron Saqif et al.<sup>9</sup>. Este requisito garantiza explícitamente que sólo puedan producirse microfisuras finas en condiciones de servicio, protegiendo así el acero principal y las fibras de acero contra la corrosión a largo plazo.



**Fig. 3: Sección transversal de todo el puente**



**Fig. 4: Sección transversal de un panel de tres vástagos que muestra las dimensiones y los detalles del refuerzo**

El proporcionamiento del UHPC era una mezcla no patentada y la describieron El-Tawil et al.<sup>10</sup> y El-Tawil y Hazelton<sup>4</sup>. En los paneles principales se utilizaron fibras de acero al 2% en volumen (265 lb/yd<sup>3</sup> [157 kg/m<sup>3</sup>]) de las fibras de acero rectas de tipo X, de 0.2 mm de diámetro y 13 mm de longitud, disponibles comercialmente y descritas por El-Tawil et al.<sup>11</sup>. Los autores utilizaron esta dosificación en proyectos anteriores en los que se usaron mezclas no patentadas. La diferencia en este proyecto fue que el volumen de fibra de acero se redujo al 1.5% en volumen (una reducción del 25%) basándose en los resultados de la investigación de El-Tawil et al.<sup>11</sup>. La fracción de volumen de fibra más baja sólo se utilizó en una parte limitada del puente porque no había experiencia previa sobre el terreno con niveles tan bajos.

El UHPC se mezcló en un camión de concreto tradicional (sin modificaciones) y se vació en moldes metálicos en un cobertizo. Los paneles moldeados se cubrieron con un compuesto de curado y se dejaron curar durante al menos 28 días. Una vez curados, se elevaron hasta su lugar (Fig. 5). Las ranuras longitudinales se rellenaron con UHPC mezclado in situ. Las juntas de los canales eran bastante pequeñas porque las varillas de acero incrustadas en el UHPC tienen una longitud de transferencia mucho más corta en comparación con el concreto convencional (Fig. 6). El puente presentaba una barandilla de gran longitud para no fijar la barandilla a los delgados tableros. La Figura 7 muestra el puente tras la instalación y el relleno de las juntas. La Figura 8 muestra el puente tras su apertura al público en diciembre de 2023.



**Fig. 5: Elevación de paneles de UHPC**



**Fig. 6: Detalle de un canal longitudinal entre paneles adyacentes**



**Fig. 7: Después de la instalación de los paneles y el relleno de los canales longitudinales. Obsérvese el ancho extremadamente reducido de las juntas de los tableros**



Fig. 8: Detalle de un canal longitudinal entre paneles adyacentes

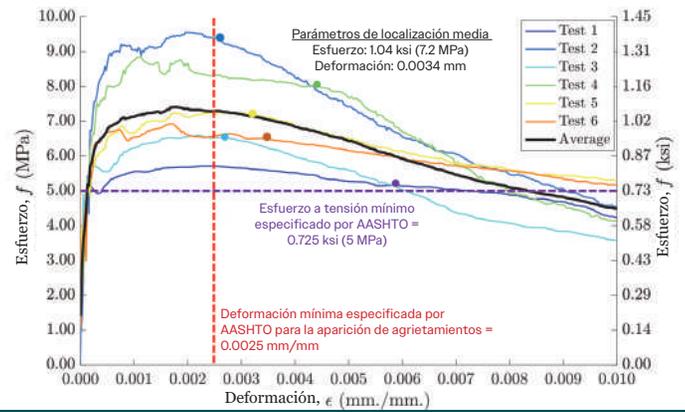


Fig. 10: Respuestas a la tracción según AASHTO T 397-226 para juntas de UHPC con 1,5% en volumen de dosificación de fibra de acero



Fig. 9: Muestras de tracción

## Resultados de las pruebas de campo

El proyecto del puente ofreció la oportunidad única de fabricar especímenes cúbicos para tracción y compresión directas con el fin de evaluar la influencia de una dosificación reducida de fibra de acero en condiciones de campo. Los especímenes sometidos a tracción se fabricaron y ensayaron de acuerdo con la norma AASHTO T 397-22<sup>6</sup>. La Figura 9(a) muestra los especímenes ensayados. Las grietas de localización se aprecian claramente en la longitud del indicador. La figura 9(b) muestra una vista cercana de la zona de localización y las múltiples grietas que la rodean. La Figura 10 muestra los resultados del ensayo de tracción directa. Todos los especímenes ensayados mostraron un endurecimiento sustancial por deformación. Todas las respuestas proporcionadas superaron los criterios mínimos exigidos por la Guía AASHTO y los valores de diseño. La Figura 10 muestra el punto de localización de cada trazo (marcado por un círculo relleno) y la respuesta media. La capacidad media de endurecimiento por deformación fue del 0.34%, muy por encima (un 36% más) del mínimo del 0.25% especificado en la Guía AASHTO. Los cubos se ensayaron según la norma ASTM C109/C109M-21<sup>12</sup>. De las Tablas 1 y 2 se desprende claramente que la resistencia a la compresión sólo se vio ligeramente afectada por la reducción del 25% en el contenido de fibra de acero.

**Tabla 1:**  
**Datos del ensayo a compresión de los paneles (con un 2% en volumen de fibras de acero)**

Fecha de colocación	Tiempo de curado, días								
	7	8	10	12	14	16	19	28	30
	Resistencia, ksi								
28-Ago.	—	—	16.30	—	17.47	—	—	20.18	22.44
30-Ago.	—	—	—	15.80	17.01	—	—	20.20	22.89
31-Ago.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5-Sept.	—	15.40	—	—	17.11	—	—	20.54	—
6-Sept.	15.47	—	—	—	16.96	—	—	—	—
7-Sept.	20.51	—	21.23	—	—	—	—	22.11	—
8-Sept.	15.81	—	—	—	—	—	22.01	22.39	—
11-Sept.	15.49	—	—	—	—	22.67	—	—	—
Promedio	16.82	15.40	18.77	15.80	17.14	22.67	22.01	21.08	22.67

Nota: 1 ksi = 7 MPa

**Tabla 2:**  
**Datos del ensayo a compresión de las juntas (con 1.5% en volumen de fibras de acero)**

Fecha de colocación	Tiempo de curado, días			
	3	6	10	28
	Resistencia, ksi			
4-Dic.	14.79	16.63	18.99	21.75

Nota: 1 ksi = 7 MPa

**Tabla 3:**  
**Costo de una yarda cúbica de UHPC abierto en 2023 USD. Todos los ingredientes están a la venta en Estados Unidos**

Ingrediente	Cantidad	Costo, USD
Arena muy fina*	394 lb/yard <sup>3</sup>	65
Arena fina <sup>†</sup>	1577 lb/yard <sup>3</sup>	261
Cemento, Tipo IL	653 lb/yard <sup>3</sup>	72
Cemento de escoria	653 lb/yard <sup>3</sup>	59
Aditivo reductor de agua de alto rango	5.45 gal./yard <sup>3</sup>	26
Humo de sílice	326 lb/yard <sup>3</sup>	147
Fibra de Acero (dosificación de 1.5 a 2%) <sup>‡</sup>	199 a 265 lb/yard <sup>3</sup>	485 a 647
Total	—	1115 a 1277

\*Tamaño de partícula: 80 a 200 micrones

†Tamaño de partícula: 400 a 800 micrones

‡0.2 x 13 mm (0.008 x 0.5 pulg.) fibra de acero con resistencia mínima de 2850 MPa (413 ksi)

Nota: 1 lb/yard<sup>3</sup> = 0.6 kg/m<sup>3</sup>; 1 gal./yard<sup>3</sup> = 5 L/m<sup>3</sup>

## Consideraciones económicas

En 2023, el costo del UHPC con dosificaciones de fibra de acero del 2% en volumen (utilizado en los paneles) y del 1.5% en volumen (utilizado en las juntas) se estimó en \$1,277 USD y \$1,115 USD por yarda cúbica, respectivamente, (referirse a la Tabla 3). Se consideró aceptable reducir la dosis de fibra de acero y mantener el rendimiento deseado del material, ya que cumplía los requisitos de la nueva Guía AASHTO. En comparación con el proyecto de recubrimiento del puente Delaware Memorial, en el que se utilizaron fibras de acero lisas en una proporción del 3.25% en volumen<sup>3</sup>, el ahorro económico es del orden de \$400 USD/yard<sup>3</sup> para el caso de una dosificación de fibras de acero del 2% y de \$575 USD/yard<sup>3</sup> para el caso de una dosificación de fibras de acero del 1.5%. Estas reducciones en costos son sustanciales y, cuando se aprovechan, hacen que el UHPC resulte atractivo para un uso más amplio.

El costo del puente construido fue de \$266,700 USD, incluidos los nuevos contrafuertes y los trabajos de acceso a la carretera. Esta cifra se ajusta a la estimación previa de \$646,000 USD de la hoja de cálculo del Departamento de Transporte de Michigan (MDOT, por sus siglas en inglés) para 2023 y es inferior al costo de un proyecto comparable que se completó más o menos en la misma época (\$290,000 USD). Está claro que el puente de UHPC era una solución económica competitiva.

El puente de UHPC era un 65% más ligero que uno comparable de losa de concreto reforzado y un 35% más ligero que uno semejante de alcantarilla de cajón construido por el condado en proyectos similares. La esbeltez y ligereza de los elementos principales permitió reducir notablemente los costos.

Por ejemplo, se utilizó la retroexcavadora del condado para levantar los paneles y colocarlos en su sitio, en lugar de una grúa alquilada, como sería lo habitual en un proyecto típico. El transporte de las unidades más ligeras también supuso un ahorro importante. Se podrían haber conseguido otros ahorros, pero no se persiguieron en este proyecto. Por ejemplo, se incluyó una superficie de desgaste, aunque no era necesaria dada la alta resistencia a la abrasión del UHPC. Además, las varillas de refuerzo de acero utilizadas en el proyecto estaban recubiertas con epóxico, aunque no era necesario debido a la alta protección que ofrecía el UHPC.

Es importante señalar que los ahorros observados se suman a los beneficios a largo plazo derivados del uso de UHPC de alta durabilidad en lugar de concreto convencional, como documentan El-Tawil et al.<sup>10, 11</sup>. Basándose en las pruebas realizadas por múltiples investigadores sobre la mayor resistencia a la congelación y descongelación y a la penetración de cloruros del UHPC en comparación con el concreto convencional (por ejemplo, Graybeal et al.<sup>13</sup> y Alkaysi et al.<sup>14</sup>), se espera que este puente dure más de 100 años con un mantenimiento mínimo.

## Resumen y lecciones aprendidas

En este artículo se informa sobre la construcción de un puente de claro corto con UHPC. Se documentó por primera vez el uso de un UHPC de adecuado endurecimiento por deformación con una cantidad reducida de refuerzo de fibra de acero (1.5% en volumen). Ese diseño permitió reducir considerablemente el costo del UHPC por yarda cúbica, manteniendo al mismo tiempo el rendimiento que se espera de un UHPC de alta calidad. Además de las otras ventajas convincentes del UHPC, la reducción inicial en los costos debido a la disminución de la dosificación de fibra hace que el UHPC sea aún más atractivo para un uso más amplio. La experiencia adquirida con el UHPC ha dejado claro que debe considerarse un nuevo material y no un sustituto directo del concreto tradicional. Esto abre nuevos paradigmas de diseño que no son posibles con el concreto tradicional y crea nuevas oportunidades de innovación en la construcción de la próxima generación de infraestructuras.

## Declaración de conflicto de intereses

El primer autor, Sherif El-Tawil, declara los siguientes intereses financieros/relaciones personales que pueden considerarse posibles intereses contrapuestos: La patente de las fibras de acero utilizadas en el proyecto es propiedad de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI, EE UU. La

licencia pertenece a HiPer Fiber, Inc, donde Sherif El-Tawil (también coinventor de la patente) tiene intereses de propiedad.

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado en parte por la Comisión de Carreteras del Condado de St. Clair, NextEnergy Corporation a través del Estado de Michigan y el MDOT. Se agradece la financiación. Las opiniones expresadas en este documento son las de los autores y no las de los organismos de financiación mencionados. Los autores agradecen también a Dwayne Rogers, Director Gerente de la Comisión de Carreteras del Condado de Clare

## Referencias

1. Federal Highway Administration, "Deployments of UHPC in Highway Bridge Construction," <https://highways.dot.gov/research/structures/ultra-high-performance-concrete/deployments>. (last accessed Jan. 2025)
2. Lassy, B.; Hain, A.; Zaghi, A.E.; Kanyo, Z.M.; Chuong, B.K.; and Cardinali, A., "Rehabilitation of Corroded Steel Bridge Girder Ends using Partial-Height Ultra-High-Performance Concrete Encasement," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, V. 2678, No. 6, pp. 178-195.
3. Delaware Memorial Bridge, UHPC SOLUTIONS, Orange, NJ, <https://www.uhpcolutions.com/case-studies>. (last accessed Mar. 2024)
4. El-Tawil, S., and Hazelton, W., "First U.S. Bridge with a 100% UHPC Superstructure: A Small Bridge with Big Implications," *ASPIRE*, Winter 2024, pp. 24-27.
5. "Guide Specifications for Structural Design with Ultra-High Performance Concrete," first edition, American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2024, 97 pp.
6. AASHTO T 397-22, "Standard Method of Test for Uniaxial Tensile Response of Ultra-High Performance Concrete," American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2022, 49 pp.
7. Deng, Q.; Wang, Z.; Li, S.; and Yu, Q., "Salt Scaling Resistance of Pre-cracked Ultra-High Performance Concrete with the Coupling of Salt Freeze-Thaw and Wet-Dry Cycles," *Cement and Concrete Composites*, V. 146, Feb. 2024.
8. "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," eighth edition, American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2017, 1780 pp.
9. Saqif, M.A.; Tai, Y.-S.; and El-Tawil, S., "Experimental and Computational Evaluation of the Ductility of UHPC Beams with Low Steel-Reinforcement Ratios," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 148, No. 7, Apr. 2022.
10. El-Tawil, S.; Saqif, M.A.; Rogers, D.; and Tai, Y.-S., "Lab-Mixed versus Truck-Mixed UHPC—What's the Difference?" *Concrete International*, V. 45, No. 1, Jan. 2023, pp. 40-45.

11. El-Tawil, S.; Nelson, G.; Hazelton, W.; Rogers, D.; and Clark, M., "Cheaper to Build, Faster to Construct: Novel Short and Medium Span UHPC Bridges," Third International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete, Wilmington, DE, June 4-7, 2023.
12. ASTM C109/C109M-21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 12 pp.
13. Graybeal, B.A.; Hartmann, J.; and Wright, W., "Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete," Report No. FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, Washington, DC, Aug. 2006, 186 pp.
14. Alkaysi, M.; El-Tawil, S.; Liu, Z.; and Hansen, W., "Effects of Silica Powder and Cement Type on Long Term Durability of Ultra High Performance Concrete (UHPC)," Cement and Concrete Composites, V. 66, Nov. 2015, pp. 47-56.

**Sherif El-Tawil** es profesor titular de la Cátedra Antoine E. Naaman de Ingeniería Civil y Medioambiental de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI, EE.UU., e ingeniero autorizado en el estado de Michigan desde 2003 y en Florida con anterioridad a esa fecha. Lleva mucho tiempo interesado en el desarrollo de UHPC de receta abierta y en la caracterización de sus propiedades a corto y largo plazo. El-Tawil está especialmente interesado en los efectos de las cargas extremas en los sistemas estructurales y en cómo el UHPC, con sus propiedades únicas, puede utilizarse para mitigar dichos efectos.



**Musawer A. Saqif**, miembro de ACI, es doctor en el Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental de la Universidad de Michigan. Su investigación se centra en el comportamiento de los materiales UHPC y la respuesta asociada de los componentes estructurales de UHPC reforzado con el objetivo de proporcionar información que pueda utilizarse para el ajuste de futuros códigos de diseño. También le preocupa reducir los costos de las mezclas de UHPC y resolver los problemas de vaciado sobre en el terreno para que su uso sea más generalizado.



**William Hazelton** es Director Gerente de la Comisión de Carreteras del Condado de St. Clair (SCCRC), Michigan. Supervisa la dirección de los proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras y puentes, el vertido de arena/sal y la retirada de nieve de las calzadas, el mantenimiento y reparación de camiones y equipos de construcción, el funcionamiento de los equipos, así como los recursos humanos y el presupuesto anual.



**Jon Winckler** es ingeniero en SCCRC. Cuenta con 8 años de experiencia en la administración e inspección de proyectos de transporte en Michigan. Durante su tiempo en SCCRC, ha realizado tareas de supervisión de la construcción, técnico de oficina, programación y estimación para una variedad de proyectos de puentes, alcantarillas y reconstrucción de carreteras. Con más de 220 puentes en el condado de St. Clair, se ha hecho hincapié en la rehabilitación, el mantenimiento y la construcción acelerada de puentes. Winckler ha supervisado la mezcla, el vaciado y la construcción de múltiples superestructuras de UHPC como puentes y alcantarillas.



**Michael Clark** es el Ingeniero de Carreteras y Puentes del Condado de SCCRC y el Ingeniero de Registro para este proyecto. Es ingeniero profesional autorizado.



Título original en inglés:  
**Construction of a Short-Span  
UHPC Bridge: Cost Considerations  
and Lessons Learned**

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



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



*Revisor Técnico:*  
**Dr. B. Tadeo Terán  
Torres**

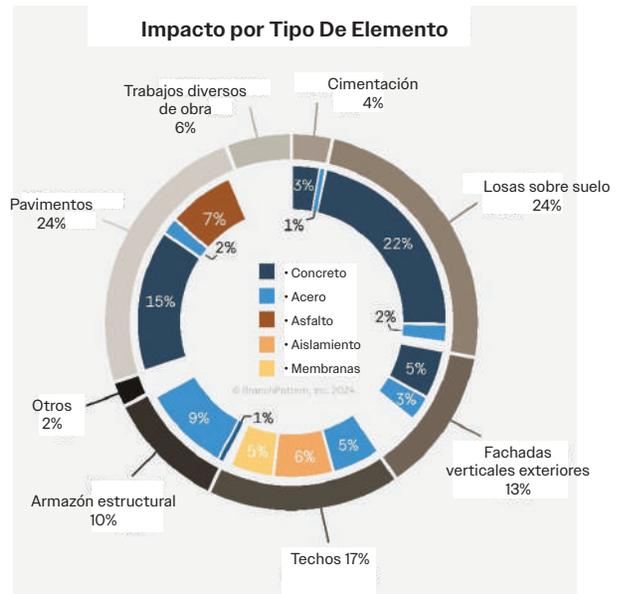
## Innovación Compartida en el Foro de Tecnología 2024 de la Fundación ACI, Parte 3

Durante más de 25 años, la Fundación ACI ha organizado Foros de Tecnología para apoyar el creciente enfoque del ACI en el avance técnico de la industria del concreto. Estos encuentros han sido eventos educativos y de networking, centrados en la innovación, y han contado con presentaciones de investigadores, representantes de comités de ACI y desarrolladores de nuevas tecnologías para el diseño, la construcción y la inspección. Este artículo es el último de tres que resumen las presentaciones realizadas en el Foro de Tecnología 2024. Las presentaciones de este foro pueden descargarse en: [https:// www.acifoundation.org/portals/12/Files/CIC/2024- Technology-Forum-Presentations.zip](https://www.acifoundation.org/portals/12/Files/CIC/2024-Technology-Forum-Presentations.zip)

### Reducir el carbono embebido sin usar créditos de carbono

**Presentado por Forrest Etter, Director de Innovación en Diseño y Construcción, Prologis, Inc.**

El mayor desarrollador inmobiliario industrial del mundo, Prologis, gestiona centros de distribución en cuatro continentes. Con activos que suman 1.2 mil millones de ft<sup>2</sup> (111 millones de m<sup>2</sup>), la empresa está constantemente iniciando nuevos desarrollos. La compañía se ha comprometido a ser neutra en carbono para 2040, lo que requiere una reducción del 90% del carbono embebido en las nuevas construcciones. Debido a que el concreto representa aproximadamente la mitad de la huella de carbono en la construcción de almacenes (ver Figura 1), las innovaciones en concreto son un enfoque principal de los esfuerzos de descarbonización de la empresa. Etter describió el Proyecto Nexus, un proyecto reciente de Prologis (ver Figura 2). La empresa se asoció con Central Concrete Supply, Whiting Turner, Bradley Concrete y HSA Structural Engineers para crear un edificio industrial de 260,000 ft<sup>2</sup> (24,150 m<sup>2</sup>) con una altura libre de 40 pies (12 m). El edificio,



**Fig. 1:** Un estudio encargado por Prologis mostró que el concreto representa aproximadamente el 45% de la huella de carbono incorporada en un proyecto de almacén (cortesía de BranchPattern, Inc.).

### Innovaciones del Concreto



Las soluciones consiguieron **40% de reducción en el carbono embebido** comparado con un proyecto típico de almacenes de Prologis.

- Reuso + reciclaje**  
\*Aproximadamente 65% del concreto existente en muros y cimientos fueron reutilizados. (Data de 1960's)
- Optimización del diseño**  
\*El diseño de las losas sobre (SOG) suelo fue optimizado usando concretos de alto comportamiento con fibras de acero tipo I reduciendo el espesor de las losas de 9 a 6 pulgadas.
- Diseño de mezclas de bajo carbón.**  
\*Uso de mezclas con 30% de contenido de escoria y agregados Orca de alta durabilidad y baja contracción de la empresa Vulcan Materials.  
\*Potencial de calentamiento global (GWP) fue 12% menor que el punto de referencia regional para concretos de 4,000 PSI en la región Suroeste del Pacífico de la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association)

Gracias a Central Concrete Supply, Whiting Turnes, Bradley Concrete y HAS Ingenieros Estructurales.

**Fig. 2:** El Proyecto Nexus logró reducciones significativas en el carbono incorporado mediante la reutilización de materiales y la optimización del diseño de la losa y la mezcla de concreto.

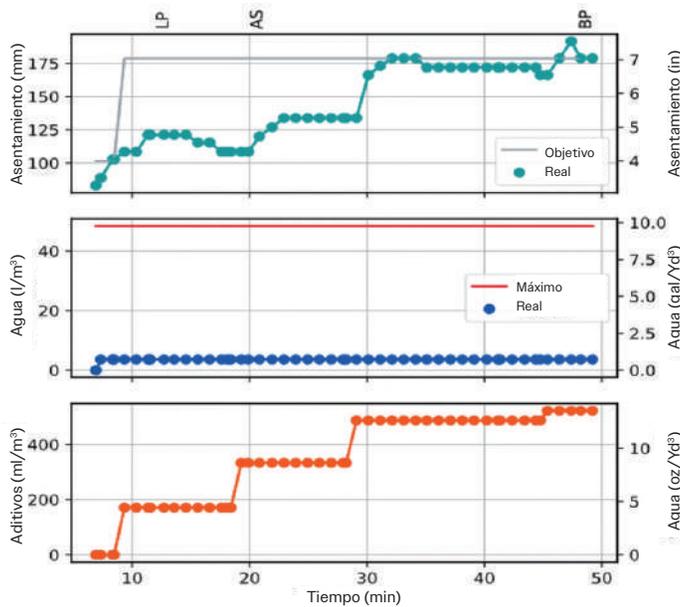
ubicado en San Leandro, CA, EE.UU., se construyó con un potencial de calentamiento global (GWP) de menos del 60% de un edificio de referencia, un almacén tradicional de Prologis. Esto se logró mediante un diseño estructural innovador y tres estrategias clave: reutilización, optimización del diseño y diseño de mezclas de bajo carbono.

### Tendencias de Big Data: Resultados de la implementación de un sistema automático de retroalimentación para gestionar el asentamiento durante la entrega de concreto premezclado

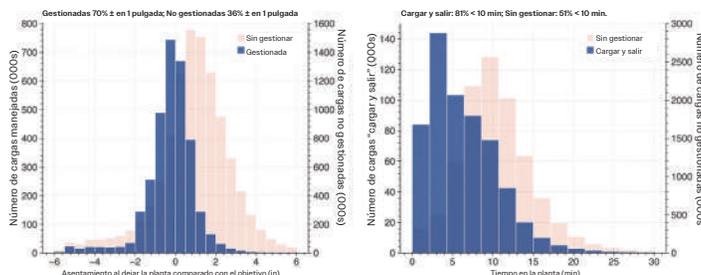
**Presentado por Nathan Tregger, Director de Análisis de Datos, Verifi LLC**

Más de 20 millones de entregas de concreto premezclado han sido monitoreadas utilizando sensores a bordo para medir propiedades del concreto como asentamiento, temperatura y edad, así como propiedades del camión como

ubicación GPS, velocidad del tambor del mezclador y revoluciones. Más de un tercio de estas entregas también se han gestionado mediante adiciones automáticas de agua, aditivos químicos o ambos (ver Figura. 3). Tregger enfatizó sobre los resultados de la gestión del asentamiento, incluida la reducción de la variabilidad del asentamiento entregado (es decir, gestionado versus no gestionado), oportunidades de productividad (ver Figura 4), y un gran potencial de reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (incluyendo un ejemplo en el que un productor de concreto premezclado logró reducir más de 1 millón de libras [450,000 kg] de CO<sub>2</sub> en un año). La capacidad de medir y gestionar cada entrega genera una gran cantidad de datos, lo que permite realizar cambios en las operaciones y los diseños de mezclas, mientras se reduce simultáneamente el riesgo.



**Fig. 3:** El sistema VERIF® se ha utilizado en la entrega de más de 200 millones de yardas cúbicas (5.5 millones de m<sup>3</sup>) de concreto, permitiendo la recopilación de más de mil millones de puntos de datos. El sistema puede agregar automáticamente agua o aditivos para alcanzar un asentamiento objetivo.



**Fig. 4:** La gestión automática del asentamiento reduce la desviación estándar y permite importantes aumentos de productividad al minimizar el tiempo que un camión pasa en la planta, (un camión puede cargar y salir) así como el tiempo que pasa en la obra.

## Un enfoque basado en la ciencia de materiales y dirigido por datos para una infraestructura sostenible y duradera

Presentado por Kai Gong, Profesor Asistente, Rice University

Kai Gong ha establecido el grupo Materiales para Infraestructura Sustentable (Sustainable Infrastructure Materials, SIM) en Rice University, Houston, TX, EE.UU. El grupo SIM se enfoca en problemas críticos y desafiantes de la ciencia de materiales relacionados con la descarbonización industrial, la encapsulación de residuos, la conversión de residuos en recursos, la fabricación digital y los materiales para infraestructuras sostenibles y duraderas. Para alcanzar sus objetivos, el grupo emplea una estrategia dual: un enfoque de arriba hacia abajo y un enfoque de abajo hacia arriba (ver Figura 5). Se discutió un ejemplo para cada enfoque. El enfoque de arriba hacia abajo implica el uso de modelos de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) y técnicas de optimización inversa para diseñar mezclas de concreto que minimicen las emisiones de CO<sub>2</sub> mientras mantienen el rendimiento. El enfoque de abajo hacia arriba se ha centrado en descubrir la huella estructural atómica de los aluminosilicatos altamente complejos y amorfos en los residuos sólidos de bajo CO<sub>2</sub> (ver Figura 6). Este enfoque tiene el potencial de convertirse en un método rápido de pre-selección para evaluar la idoneidad de los materiales residuales para la producción de concreto. Se discutieron las limitaciones de estos métodos junto con las direcciones futuras de la investigación para refinar estas estrategias y ampliar sus aplicaciones. A través de este enfoque integrado, el grupo SIM busca desarrollar soluciones innovadoras para los desafíos críticos en la infraestructura sostenible y la ciencia de materiales.



**Fig. 5:** Ilustración esquemática del enfoque de investigación y los métodos del grupo SIM en la Universidad de Rice. SIM está particularmente enfocado en abordar los desafíos críticos en infraestructura y materiales sostenibles.

## Revolucionando la producción de concreto con IA: Cerrando la brecha entre la innovación y la aplicación

Presentado por Andrew Fahim, Ingeniero de Investigación y Desarrollo, Giatec Scientific Inc.

Giatec construye y entrena modelos basados en redes neuronales artificiales, utilizando un conjunto de datos que representa 75 millones de m<sup>3</sup> (2.6 millones de ft<sup>3</sup>) de concreto producido en 1,500 plantas (ver Figura 9). El conjunto de datos incluye 300,000 mezclas únicas, 2,000 materias primas y más de 100 métodos de prueba, y se ha utilizado para crear modelos con capacidades predictivas para propiedades del concreto en tránsito, así como propiedades en estado fresco y endurecido. Los datos de valor inmediato incluyen proporciones, tipos de materiales y fuentes, rendimiento, especificaciones e información de entrega.

Usando esta experiencia, Giatec está construyendo lo que llaman SmartMix, una plataforma que les permite recolectar datos de productores de concreto premezclado e identificar oportunidades de optimización. Los datos se recogen de sistemas de dosificación, sistemas en tránsito y pruebas en sitio, y los algoritmos de la plataforma generan opciones en segundos (ver Figura 10). Si un productor acepta las optimizaciones, la revisión se envía automáticamente al sistema de dosificación. Esto es una verdadera gestión de mezclas, no solo mantenimiento de mezclas.

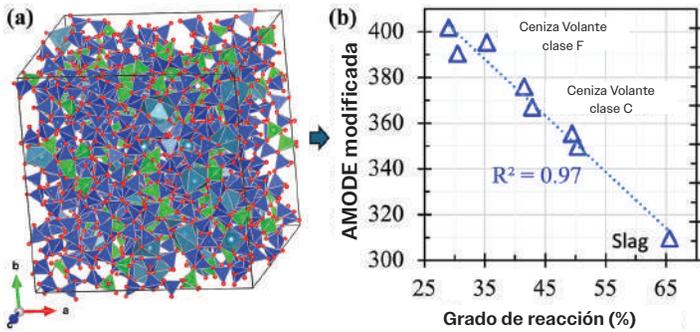


Fig. 6: SIM está aplicando un enfoque de abajo hacia arriba para investigar subproductos industriales: (a) una estructura atómica típica generada para un vidrio de aluminosilicato de calcio utilizando simulación atómica; y (b) parámetros composicionales basados en física, como una energía de disociación promedio modificada metal-oxígeno (AMODE), que pueden capturar eficazmente la reactividad relativa de los vidrios amorfos de aluminosilicato de calcio, con composiciones que abarcan las de las cenizas volantes y la escoria (los datos experimentales originales de grado de reacción fueron obtenidos de: Kucharczyk, S.; Zajac, M.; Stabler, C.; Thomsen, R.M.; Haha, M.B.; Skibsted, J.; y Deja, J., "Structure and Reactivity of Synthetic CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Glasses," Cement and Concrete Research, V. 120, junio de 2019, pp. 77-91).

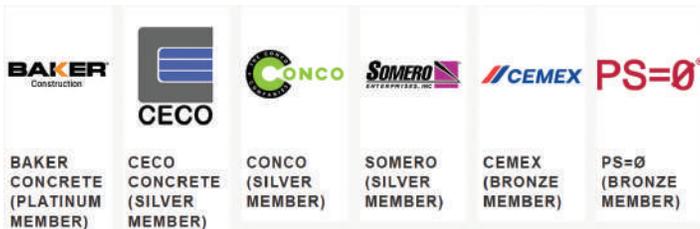


Fig. 7: PRO y sus miembros tienen como objetivo avanzar en nuevas tecnologías y procesos que mejoren la productividad más allá de los niveles históricos.

## Ingeniería inversa: El poder de comenzar con el final en mente

Presentado por Cary Kopczynski, CEO y Principal Senior, Cary Kopczynski & Company, Inc.

La ingeniería inversa implica optimizar el plan de construcción de un proyecto antes de comenzar el diseño estructural detallado. Al identificar primero estrategias de construcción eficientes, se puede eliminar la complejidad innecesaria en el diseño, estimular la innovación y mejorar la constructibilidad. La mejora de la constructibilidad del diseño da lugar a una mejor productividad en la construcción, que es la misión de PRO: Un Centro de Excelencia ACI para Avanzar en la Productividad (ver Figura 7). Kopczynski elaboró sobre estos conceptos utilizando historias de casos de proyectos exitosos (ver Figura 8), y explicó cómo PRO está colaborando con la industria del concreto para estimular la innovación y la eficiencia.



Fig. 8: La estructura del Hotel Snoqualmie Casino es un marco de concreto armado con losas postensadas y dos núcleos de paredes de corte. El diseño fue realizado para acomodar un sistema de encofrado colgado de columnas para la construcción de losas, eliminando así la necesidad de apuntalamiento y reposicionamiento y facilitando el acceso temprano a los trabajadores de MEP y acabados.

# NTeC-C, Aditivos de nanotubos de carbono para refuerzo del concreto

Presentado por Ricardo Prada Silvy, Director de Tecnología, Chasm Advanced Materials

La tecnología escalable y rentable de nanotubos de carbono (CNT) NTeC®-C de CHASM aprovecha materias primas hidrocarbonadas de bajo costo para co-producir hidrógeno limpio y productos de carbono de alto valor. A pesar del potencial demostrado de la tecnología CNT para mejorar la resistencia del concreto, su adopción ha sido obstaculizada por los altos costos asociados con los métodos de producción tradicionales, así como por la dispersión ineficaz de los CNT en las mezclas de concreto. La solución NTeC® de CHASM supera estas barreras con un proceso eficiente de horno rotatorio CAPEX que sintetiza híbridos de CNT en partículas compatibles con el cemento, asegurando una dispersión sin problemas durante la hidratación (ver Figura 11). Los métodos de síntesis dan como resultado varios productos, incluidos los gránulos auto-dispensadores de CNT (ver Figura 12) y polvo de cemento con CNTs pre-depositados. Los CNTs NTeC mejoran significativamente el rendimiento del concreto al aumentar la resistencia a la flexión, mejorar las resistencias tempranas y las resistencias a los 28 días, así como reducir las fisuras y la permeabilidad.

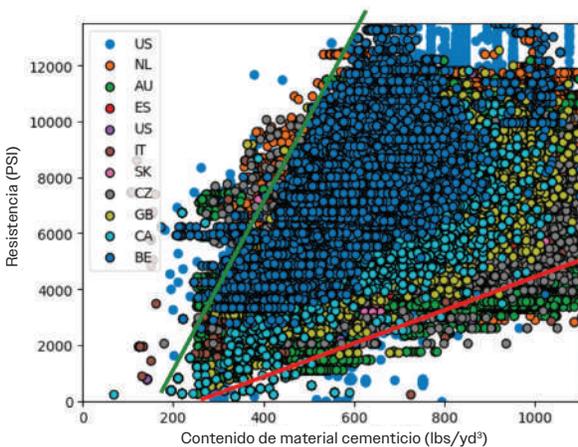


Fig. 9: Giatec ha recopilado datos de productores de concreto en todo el mundo.

## Plataforma SmartMix



Fig. 10: Esquema de las interacciones de la plataforma SmartMix con los datos generados en la planta, en tránsito y en el sitio de trabajo.

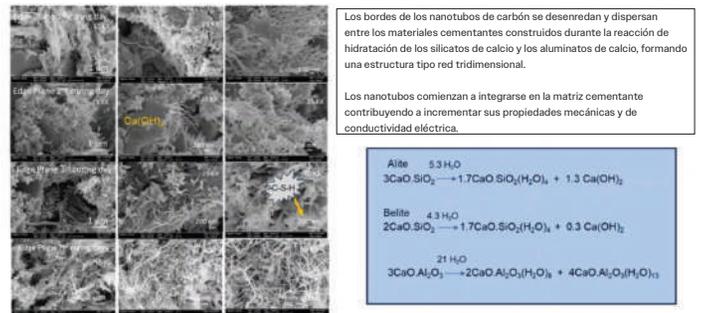


Fig. 11: Los híbridos CNT de CHASM se desenredan y dispersan durante la reacción de hidratación.

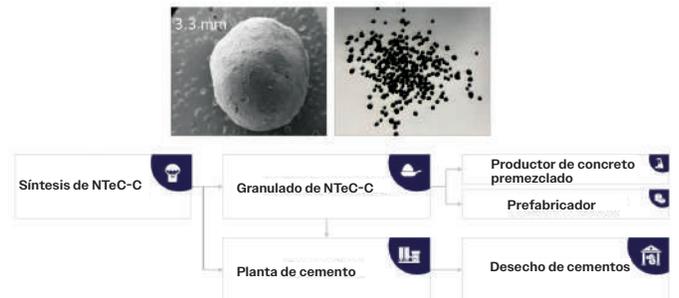


Fig. 12: Después de la síntesis, el polvo de CNT puede integrarse directamente en el cemento, o puede ser granulada. Los gránulos pueden integrarse en el cemento o en el concreto.

## Foro de Innovación en Concreto 2025

El Foro de Innovación en Concreto 2025 ofrecerá a los asistentes la oportunidad de conectarse con otros colegas en la industria y conocer las tendencias actuales, tecnologías emergentes, nuevos productos y otras innovaciones. El evento también brindará oportunidades para que los asistentes construyan relaciones estratégicas y amplíen sus redes de contacto.

Reserva la fecha y acompáñanos este año en Denver, CO, EE. UU., en el Hotel Clio, del 12 al 14 de agosto de 2025. Las actualizaciones del programa estarán disponibles en el sitio web de la Fundación ACI: [www.acifoundation.org](http://www.acifoundation.org)

Título original en inglés:  
Innovation Shared at the  
ACI Foundation 2024  
Technology Forum, Part 3

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



*Traductora y  
Revisora Técnica:*  
**Xiomara Sapón  
Roldán**

# 06

## Calculando deflexiones con ACI 318-19 y más allá, Parte 1

Introducción al cálculo de deflexiones – Inmediatas y dependientes del tiempo

Por Peter H. Bischoff

Al igual que en las ediciones anteriores, el ACI-318-19<sup>1</sup> requiere que las deflexión sea controlada o bien satisfaciendo requisitos de espesores mínimos o calculando las deflexiones y comparándolas con deflexiones límites. Los requisitos de ACI -318 de espesores mínimos para losas no pretensadas en una dirección y en vigas se aplican solamente cuando no sostienen elementos no estructurales que tengan una probabilidad considerable de ser dañados por grandes deflexiones. Los requerimientos de espesores mínimos para losas en dos direcciones no tienen esta restricción. Para los elementos estructurales que no cumplen con el espesor mínimo se requiere el cálculo de las deflexiones. Esto último es el foco principal de esta parte 1 y las subsiguientes partes de este artículo.

Este artículo se ha publicado en 5 partes. Esta Parte 1 se refiere al procedimiento para calcular las deflexiones de elementos de concreto reforzado (no pretensado) a flexión. La Parte 2 trata los fundamentos y la deducción de la nueva expresión de  $I_e$  en el ACI 318-19<sup>1</sup> junto con las razones para el cambio. La Parte 3 examina las implicaciones de este cambio para vigas y losas en una y dos direcciones. La Parte 4 muestra un ejemplo de diseño, resumiendo los pasos necesarios para calcular las deflexiones de losas continuas en una dirección. Finalmente, en la

Parte 5 se propone una extensión de la metodología para el cálculo de las deflexiones inmediatas en concreto pretensado con grietas.

## Deflexiones inmediatas y dependientes del tiempo

Habitualmente, las deflexiones inmediatas se calculan usando las ecuaciones de la deflexión elástica para un elemento a la flexión considerando una rigidez a la flexión efectiva  $E_c I_e$  como se muestra en la Fig.1. Las deflexiones se pueden calcular también usando la integración de las curvaturas de cada sección en base al valor de  $I_e$  en cada punto. A menos que se realice un análisis más exhaustivo, las deflexiones adicionales dependientes del tiempo debidas a la fluencia lenta y la contracción por fraguado se calculan multiplicando la deflexión inmediata producida por la carga permanente con un multiplicador de las deflexiones de largo plazo  $\lambda_{\Delta}$ . Este multiplicador, que es función de un factor dependiente del tiempo y de la cuantía de armadura comprimida  $\rho'$  de la sección, permanece sin cambios desde las ediciones previas del ACI-318. El ACI PRC-435-20 proporciona información adicional y una guía para calcular deflexiones en elementos de concreto no pretensado<sup>2</sup>.

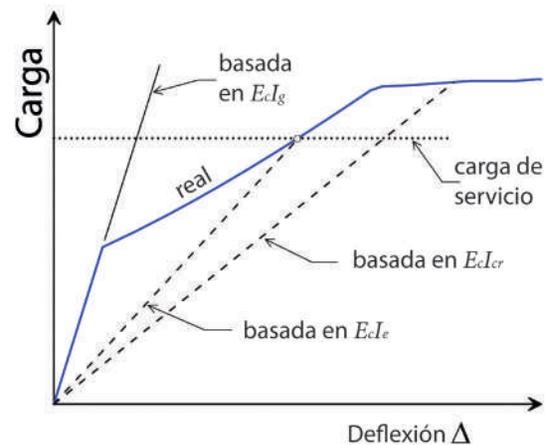


Fig. 1: Respuesta carga-deflexión de un elemento a flexión

### Resumen de las Partes del Artículo

- Parte 1: Introducción al cálculo de deflexiones – Inmediatas y dependientes del tiempo
- Parte 2: Nueva expresión para  $I_e$  y razones para el cambio
- Parte 3: Impacto del cambio
- Parte 4: Ejemplo de cálculo de deflexiones – Losa continua en una dirección
- Parte 5: Extensión propuesta para concreto pretensado

### Ecuación para $I_e$

El ACI 318-19 introdujo una nueva ecuación para calcular el momento de inercia efectivo  $I_e$  utilizado para calcular las deflexiones bajo cargas de servicio de miembros a flexión de concreto reforzado (no pretensado). La expresión para  $I_e$  es

$$I_e = \frac{I_{cr}}{1 - \left( \frac{(2/3)M_{cr}}{M_a} \right)^2 \left( 1 - \frac{I_{cr}}{I_g} \right)} \quad (1)$$

donde  $I_{cr}$  e  $I_g$  son los momentos de inercia fisurado y bruto, respectivamente, del elemento a flexión;  $M_a$  es el máximo momento flector bajo la carga de servicio para la cual se está calculando la deflexión;  $M_{cr}$  es el momento flector correspondiente a la fisuración completa.  $M_{cr}$  es calculado usando  $M_{cr} = f_r I_g / y_t$ , donde  $f_r$  es el módulo de rotura (resistencia a tracción por flexión de la sección) y la distancia del centroide de la sección bruta no fisurada a la fibra más traccionada es  $y_t$ . El ACI-318 especifica un valor de  $f_r = 7.5\lambda\sqrt{f'_c}$  psi, donde  $\lambda$  es 1.0 para concreto de densidad normal, y  $f'_c$  es la resistencia a la compresión especificada del concreto en psi. La ecuación (1) se aplica para  $I_e$  cuando el momento de servicio  $M_a > (2/3)M_{cr}$ .  $I_e$  es considerado igual a  $I_g$  para un elemento no fisurado con  $M_a \leq (2/3)M_{cr}$ .

## $I_e$ con precarga

En muchos casos, la deflexión se calcula asumiendo que el elemento ha sido precargado hasta la carga de servicio completa (peso propio más sobrecarga) para tener en cuenta los efectos de las cargas de construcción<sup>3</sup>. Cuando esto ocurre, tanto la deflexión producida por el peso propio como por el peso propio más la sobrecarga se calculan usando el mismo momento de inercia efectivo  $I_{e,D+L}$  correspondiente a la carga de servicio completa tal como se muestra en la Fig.2. Este procedimiento proporciona una estimación conservadora de la deflexión incremental ocurrida después de la adición de las paredes y otros elementos no estructurales. Detalles adicionales serán proporcionados más adelante en este artículo.

Una estimación conservadora (pero no necesariamente realista) de la deflexión inmediata debida a la sobrecarga asume que la primera carga ocurre para el elemento virgen. En este caso, la deflexión para el peso propio usando el momento de inercia efectivo  $I_{e,D}$  correspondiente al peso propio al que solamente se resta de la deflexión debida al peso propio más la sobrecarga usando  $I_{e,D+L}$  correspondiente a la carga de servicio completa (peso propio más sobrecarga, Fig. 2)

## Procedimiento para calcular la deflexión

La deflexión inmediata  $\Delta_i$  se calcula con una ecuación generalizada de la deflexión elástica de la forma

$$\Delta_i = K \frac{5 M_a \ell^2}{48 E_c I_e} \quad (2)$$

usando un coeficiente de deflexión  $K$  que depende del tipo de carga y las condiciones de apoyo (ver la Tabla 1 para detalles).  $M_a$  es igual al momento en el centro del tramo para elementos simplemente apoyados y elementos continuos y es el momento en el borde del apoyo para voladizos. La deflexión en el centro del tramo es considerada una aproximación de la deflexión máxima en elementos continuos (aunque los momentos flectores en cada apoyo no sean iguales). Para elementos en voladizo, en el cálculo de la deflexión debería ser considerada la deflexión adicional originada por la rotación en el apoyo.

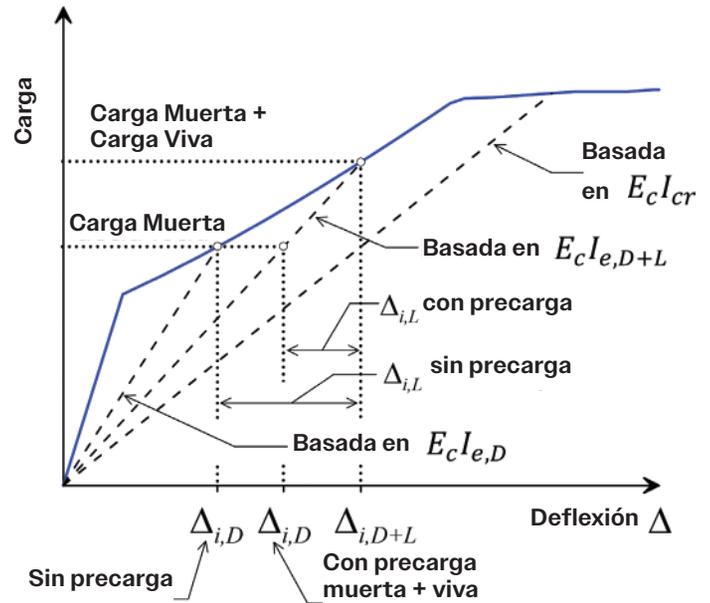


Fig. 2: Deflexiones con y sin precarga

## Rigidez de los elementos estructurales

El momento de inercia efectivo en los apoyos y en el centro del tramo de elementos continuos se estiman habitualmente a partir de los valores aproximados de los momentos flectores dados en el ACI-318 que están asociados a momentos máximos para diferentes patrones de carga. Las deflexiones, por su parte, se calculan para el patrón de carga que corresponde al máximo momento en el centro del tramo. Las deflexiones debidas solamente al peso propio también se pueden calcular para la carga de peso propio uniformemente distribuida sobre todos los vanos y, en este caso, los momentos en los apoyos y el centro del tramo no son necesariamente iguales a los valores aproximados del ACI-318<sup>4</sup>.

Para losas en una dirección y vigas prismáticas, el ACI-318 permite tomar el valor de  $I_e$  en el centro del tramo para elementos simplemente apoyados y continuos y en la cara del apoyo para voladizos. También se permite tomar  $I_e$  igual al promedio o al promedio ponderado de los valores en el centro del tramo y en la cara de los apoyos de elementos continuos (por ejemplo,  $I_{e,avg} = 0.7I_{e,m} + 0.15(I_{e1} + I_{e2})$  donde  $I_e, I_{e,m}$  es el valor de  $I_e$  en el centro del tramo y  $I_{e1}$  e  $I_{e2}$  son los valores de  $I_e$  del elemento continuo en ambos extremos)<sup>2</sup>. Usando el valor de  $I_e$  en el centro del tramo para elementos continuos proporciona en muchos casos una mejor estimación de la deflexión que usando el promedio ponderado.<sup>5</sup>

### Coefficiente de deflexión $K$ y otros medios de estimar $\Delta_i$

La Tabla 1 resume los valores aproximados del ACI 318 para los momentos en el centro del tramo y el correspondiente factor  $K$  para miembros con carga uniformemente distribuida  $w$  (excepto para voladizos donde los momentos son considerados en la cara del apoyo). Para elementos simplemente apoyados y continuos,  $K = 1.2 - 0.2M_o/M_m$  donde el momento estático es  $M_o = w\ell_n^2/8$ . El momento en el centro del tramo  $M_m$  corresponde al valor de la Tabla 1.

Se pueden utilizar otros métodos para estimar las deflexiones. En reemplazo de la ecuación (2), la deflexión de un elemento continuo bajo una carga uniformemente distribuida se puede calcular como  $\Delta_i = (-\phi_1 + 10\phi_m - \phi_2)(\ell^2/96)$  considerando una distribución parabólica de curvaturas<sup>5,6</sup>. Las curvaturas en los dos apoyos,  $\phi_1 = M_1/(E_c I_{e1})$  y  $\phi_2 = M_2/(E_c I_{e2})$  y se consideran positivas para momentos en los apoyos negativos  $M_1$  y  $M_2$ . La curvatura en el centro del tramo es  $\phi_m = M_m/(E_c I_{e,m})$ . Considerando un miembro con rigidez uniforme, ya sea  $E_c I_{e,avg}$  o  $E_c I_{e,m}$ , se obtiene la ecuación (2) con  $K = 1.2 - 0.2M_o/M_m$ .

Los espesores mínimos  $h_{min}$  para losas en una dirección y vigas también se indican en la Tabla 1. Los espesores mínimos del ACI-318 están basados en una longitud  $\ell$  (presumiblemente entre centro de apoyos), mientras que el Reglamento Canadiense CSA A23.3:24<sup>7</sup> usa los mismos espesores mínimos (con la excepción del caso de vigas con un solo extremo continuo), pero basados en la luz libre entre apoyos  $\ell_n$ .

### Luz del vano a considerar

Para calcular las deflexiones  $\Delta_i$  para elementos continuos, cuando se utilizan los momentos aproximados del ACI-318 habitualmente se utiliza la luz libre entre apoyos  $\ell_n$  para calcular el momento máximo  $M_m$  en la mitad del tramo. De lo contrario, se usa la distancia entre centro de apoyos  $\ell$ .

### Deflexión inmediata debido a la sobrecarga

Las deflexiones inmediatas  $\Delta_{i,L}$  debidas a la sobrecarga (asumiendo la curva de carga virgen) se calculan como

$$\Delta_{i,L} = \Delta_{i,D+L} - \Delta_{i,D} \quad (3a)$$

con

$$\Delta_{i,D+L} = K \frac{5 M_{D+L} \ell^2}{48 E_c I_{e,D+L}} \quad (3b)$$

y

$$\Delta_{i,D} = K \frac{5 M_D \ell^2}{48 E_c I_{e,D}} \quad (3c)$$

La Figura 2 proporciona una visión descriptiva de este concepto. El ACI-318 (Sección 24.2.2) limita  $\Delta_{i,L}$  a  $\ell/360$  para pisos que no sostienen o que no están conectados a elementos no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes deflexiones. El límite de la deflexión inmediata se establece como  $\ell/180$  para techos planos. Cuando se calculan los límites de deflexiones para voladizos, la luz de cálculo es tomada como el doble de la luz libre del voladizo.

**Tabla 1: Momentos flectores aproximados (cuando  $M_D \geq M_L/3$ ), coeficientes de deflexión y espesores mínimos según ACI-318**

Condiciones de apoyo	Simplemente apoyado	Un extremo continuo	Ambos extremos continuos	Voladizo
$M_o$ en el centro (excepto para voladizos)	$w\ell_n^2/8^*$	$w\ell_n^2/14^\dagger$	$w\ell_n^2/16$	$w\ell_n^2/2$
Coefficiente de deflexión $K$	1.0	0.85 <sup>†</sup>	0.8	2.4
$h_{min}$ para losas en una dirección	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
$h_{min}$ para vigas	$\ell/16$	$\ell/18.5$	$\ell/21$	$\ell/8$

\*  $\ell_n$  es considerado igual a  $\ell$  para elementos simplemente apoyados

† extremo discontinuo integral con el apoyo

Los límites de las deflexiones tienen valores históricos y suelen ser subjetivos. El límite  $\ell/360$  de la deflexión instantánea para la sobrecarga parecería estar relacionado con el control de vibraciones<sup>9</sup>. El ACI-318 limita las deflexiones en base a la luz entre apoyos. Por su parte, CSA A23.3.24<sup>7</sup> usa los mismos límites, pero basados en la luz libre  $\ell_n$ .

### Deflexión incremental (después de la adición de los elementos no estructurales)

La deflexión incremental (de largo plazo)  $\Delta_{inc}$  que ocurre luego de la adición de los elementos no estructurales incluye la deflexión dependiente del tiempo y considera la precarga (Fig. 2)  $\Delta_{inc}$  es calculado como

$$\Delta_{inc} = \lambda_{\Delta} \Delta_{i,sus} + \Delta_{i,L} \quad (4a)$$

La deflexión dependiente del tiempo  $\lambda_{\Delta} \Delta_{i,sus}$  debida a la carga sostenida se obtiene multiplicando la deflexión instantánea  $\Delta_{i,sus}$  debida a la carga sostenida (peso propio más la sobrecarga permanente) por el multiplicador de la deflexión de largo plazo  $\lambda_{\Delta} = \zeta / (1 + 50\rho')$  utilizando el factor dependiente del tiempo del ACI-318,  $\zeta$ , estimado según la Tabla 2 para diferentes duraciones de la carga. De allí, que  $\zeta$  está afectado por el tiempo de instalación de los elementos no estructurales  $\Delta_{i,sus}$  se calcula como

$$\Delta_{i,sus} = K \frac{5}{48} \frac{M_{sus} \ell^2}{E_c I_{e,D+L}} \quad (4b)$$

donde  $M_{sus} = M_D + M_{L,sus}$  siendo  $M_{L,sus}$  la parte permanente de los momentos flectores originados por la sobrecarga. La deflexión inmediata  $\Delta_{i,L}$  debida a los momentos originados por la sobrecarga  $M_L$  se calcula como

$$\Delta_{i,L} = \Delta_{i,D+L} - \Delta_{i,D} = K \frac{5}{48} \frac{M_L \ell^2}{E_c I_{e,D+L}} \quad (4c)$$

cuando se calcula  $\Delta_{i,D} = K(5/48)M_D \ell^2 / (E_c I_{e,D+L})$  considerando la precarga. En forma alternativa, donde es deflexión instantánea de la parte permanente de la sobrecarga. Para el cálculo de todas las deflexiones incrementales se usa en forma conservadora el momento de inercia efectivo  $I_{e,D+L}$  para el peso propio más la sobrecarga.

### Incertidumbres y factores que afectan a las deflexiones

Las deflexiones típicamente se calculan para las cargas de servicio sin mayorar (usando un factor de carga de 1.0 tanto para el peso propio como para la sobrecarga a menos que otras cargas sean incluidas en la combinación de cargas) y pueden variar fácilmente en un rango de precisión de  $\pm 30\%$  o más, ya que las deflexiones reales dependen de condiciones que son inciertas y no siempre conocidas en la etapa de diseño<sup>2</sup>. Esto incluye las incertidumbres en relación con los métodos constructivos, el tiempo de aplicación de las cargas y las cargas en el tiempo, detalles de la mezcla, efectos ambientales, y así sucesivamente, los cuales pueden afectar los niveles de fisuración y las propiedades del concreto (incluyendo la cantidad de contracción y fluencia lenta y su dependencia del tiempo). Sumado a esto influye la variabilidad inherente de la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del concreto, así como la colocación y cuantía del refuerzo que afectan la rigidez a lo largo de la longitud del elemento. Todo ello contribuye a las incertidumbres en la fisuración y la rigidez a la flexión del elemento.

Por otro lado, los valores calculados de la deflexión reflejan las propiedades especificadas de los materiales (para el concreto y el acero de refuerzo) que son menores que las propiedades promedio de los materiales. Más aún, los edificios pueden no estar sometidos a las cargas totales de diseño o pueden resultar sobrecargados durante la etapa constructiva. Las incertidumbres con respecto a los momentos flectores en el centro del tramo y en los apoyos en elementos continuos (estáticamente indeterminados) también afectan los valores de las deflexiones calculadas. Por lo tanto, la comparación de los valores calculados de las deflexiones con los límites reglamentarios debe ser considerada solo como una guía para indicar la probabilidad de que las deflexiones sean un problema en el elemento estructural bajo análisis.

**Tabla 2:**  
**Factor dependiente del tiempo  $\zeta$  para carga sostenida en el ACI-318**

Duración de la carga sostenida (meses)	3	6	12	60 o más
Factor dependiente del tiempo $\zeta$	1.0	1.2	1.4	2.0

$\lambda_{\Delta} = \zeta / (1 + 50\rho')$ , donde  $\rho' = A'_s / (bd)$  y  $A'_s$  es el área de acero comprimido

## Resumen

La Parte 1 de este artículo resume los procedimientos y las incertidumbres en el cálculo de la deflexión de miembros de concreto reforzado (no pretensado). La naturaleza detallada del cálculo de deflexiones proporciona una percepción de precisión, lo cual, en la mayor parte de los casos no está de ninguna manera garantizada debido a las simplificaciones y aproximaciones realizadas en el proceso de cálculo. Es importante alertar también al lector sobre la incorporación de un momento de fisuración reducido  $(2/3)M_{cr}$  en la estimación de  $I_e$  a los efectos del cálculo de deflexiones en el ACI -318-19.

## Referencias

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
2. ACI Committee 435, "Report on Deflection of Nonprestressed Concrete Structures (PRC-435-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 56 pp.
3. Scanlon, A., and Bischoff, P.H., "Shrinkage Restraint and Loading History Effects on Deflections of Flexural Members," ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, July-Aug. 2008, pp. 498-506.
4. Wight, J.K., and MacGregor, J.G., Reinforced Concrete: Mechanics and Design, sixth edition, Pearson College Div, Upper Saddle River, NJ, 2011, 1157 pp.
5. Bischoff, P.H., "Rational Model for Calculating Deflection of Reinforced Concrete Beams and Slabs," Canadian Journal of Civil Engineering, V. 34, No. 8, Aug. 2007, pp. 992-1002.
6. Ghali, A., "Deflection of Reinforced Concrete Members: A Critical Review," ACI Structural Journal, V. 90, No. 4, July-Aug. 1993, pp. 364-373.
7. CSA A23.3:24, "Design of Concrete Structures," CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2024, 335 pp.
8. Branson, D.E., Deformation of Concrete Structures, McGraw-Hill, New York, NY, 1977, 546 pp.

Seleccionado por los editores de interés del lector.

**Peter H. Bischoff**, FACI, es Profesor Investigador Honorario en el Departamento de Ingeniería Civil en la Universidad de New Brunswick, Fredericton, NB, Canadá. Es miembro de los Comités ACI 224 de fisuración, ACI 435 de deflexiones de estructuras de concreto, ACI 440 de refuerzo con fibras de polímeros y del ACI 440C Código de Concreto Reforzado FRP. Recibió en 2014 el "ACI Design Award" y en 2020 el "ASCE T.Y. Lin Award" por el artículo publicado en el ACI Structural Journal relacionado a la deflexión de miembros de concreto pretensado. Sus intereses en investigación incluyen el comportamiento en servicio de estructuras de concreto.



Título original en inglés:  
Computing Deflections Using ACI  
CODE-318-19 and Beyond, Part 1.  
Primer for computing deflections—  
immediate and time-dependent

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



*Traductor y  
Revisor Técnico:*  
**Dr. Ing. Raúl  
Bertero**

# 07

## Sesión Mujeres en el Concreto

Panel interactivo que destaca a las mujeres en la industria del concreto



Las panelistas de izquierda a derecha: Christine Fiori, Andrea Lebed, Madeleine Murphree, Michelle Wilson, Alana Guzzetta y Rachel Black (moderadora).

Más de 70 personas se reunieron para la Sesión Mujeres en el Concreto el 4 de noviembre de 2024 en la Convención de Otoño del ACI 2024 en Filadelfia, Pensilvania, EE. UU. Organizado por Chryso, parte de Saint-Gobain Construction Chemicals, este panel celebró los logros y las contribuciones de las mujeres en la industria del concreto. Las panelistas provenían de diversos orígenes y debatieron sobre innovaciones, tendencias de la industria y desarrollo personal. Moderada por Rachel Black, directora de Recursos Humanos de Chryso, esta sesión brindó la oportunidad a las asistentes para que escucharan historias inspiradoras y establecieran contactos con líderes de la industria y nuevos profesionistas, explorando en última instancia cómo las mujeres están dando forma al futuro de la construcción.

### Oportunidades para avanzar en la construcción y los productos químicos para la construcción

Michelle Wilson, de la Asociación del Cemento Portland (PCA), comenzó el debate señalando que existen muchas oportunidades de progreso en la industria. “Las oportunidades pueden incluir la optimización de los diseños de mezclas, diseñando con propósito e iniciando conversaciones en todos los niveles”, dijo Wilson.

Andrea Lebed, de Chryso, agregó que las oportunidades pueden incluir el uso de diferentes materias primas y aditivos. “Piensen de manera innovadora y de fuera de la industria para generar nuevas ideas. Apoyense en colegas dentro y fuera de la industria”, enfatizó Lebed.

Christine Fiori, de la Universidad de Drexel, comentó que hay muchos productos nuevos, formas de diseño y usos para el cemento Portland. “Es cuestión de educar a otros, por ejemplo, contratistas, arquitectos e ingenieros, para que se sumen. Otra excelente manera de difundir información es con los estudiantes de las universidades”, dijo.

Alana Guzzetta, de Vulcan Materials Company, mencionó que encontrar nuevas alternativas implica diferentes demandas de agua y determinar esas demandas de agua. “Comprender la nueva variedad de materiales es una oportunidad de usar aditivos para un comportamiento específico”, dijo. Guzzetta también habló sobre considerar oportunidades de colaboración, como buscar opciones con menor contenido de carbono y cumplir con los requisitos de la especificación.

### Participación en un comité de ACI

Wilson destacó que la declaración más importante es participar. Los comités necesitan perspectivas nuevas y diversas. “Me encanta trabajar con gente talentosa en el ACI. Todos aprendemos unos de otros. Es estimulante e importante desarrollar documentos que realmente definan la industria del concreto”, dijo Wilson.

Madeleine Murphree, de J. Lloyd Engineering, comenzó a asistir a las Convenciones de Concreto del ACI hace 5 años como estudiante y participó en las competencias estudiantiles. Su participación con los comités comenzó con el Comité S805 del ACI, Consejo de Liderazgo Estudiantil. “Puede ser intimidante; a veces yo era la única mujer y profesional joven en la sala. Sin embargo, recomiendo ampliamente asistir a una reunión de comité y ver de qué se trata”, alentó Murphree.

### Inspiración para talentos en potencia

Lebed aconsejó a las asistentes que aprendieran constantemente. “Aprendan de otras industrias y apliquen ese conocimiento a la industria del concreto. Por ejemplo, cuando observen otras industrias, presten atención a cómo están haciendo para que su industria sea más sostenible”, dijo.

Guzzetta enfatizó la importancia de prestar atención a lo que los motiva. “Cuando encuentren eso, su talento realmente brillará”.

Murphree ofreció un consejo de su experiencia reciente como estudiante. “Siéntanse cómodos estando incómodos. Es difícil bajar la guardia y decir hola. Sin embargo, nunca se sabe a quién conocerán. Muchas personas están dispuestas a hablar con jóvenes profesionales”.

Fiori agregó una recomendación de ser siempre curioso y hacer muchas preguntas.

## Consejos para los estudiantes

Las panelistas señalaron la necesidad de que los estudiantes conozcan las diferentes opciones de materiales y tengan una comprensión básica de las proporciones, así como también que comprendan las pruebas básicas, como las pruebas de asentamiento o las pruebas de compresión. Con esta información básica, los estudiantes pueden comenzar a trabajar de inmediato. “Que los estudiantes sepan un poco de todo. Hacer que realmente comprendan de dónde provienen las especificaciones. Por ejemplo, ACI versus CSI [Construction Specification Institute]”, agregó Murphree. Fiori recomendó que los estudiantes comprendan realmente la aplicabilidad.

Lo más importante, Wilson recordó a los asistentes, es que “la industria estará feliz de ayudarlos”.

## Participe en ACI

Los asistentes compartieron mucho entusiasmo después de escuchar la trayectoria de cada panelista y sus palabras de aliento. “Me encanta ver a otras mujeres entrar a la sala”, afirmó Wilson. “En el ACI, tienes un lugar y tienes tu propia experiencia para ofrecer”.

Para obtener más información sobre cómo participar en el ACI, visite [www.concrete.org/getinvolved](http://www.concrete.org/getinvolved).

## Conozca a las panelistas



**Rachel Black** fue la moderadora de la sesión Mujeres en el concreto. Black es la directora de RR.HH. en Chryso North America, y está a cargo de iniciativas estratégicas de RR.HH. y del crecimiento organizacional. Es una profesional de recursos humanos

con una maestría en gestión de recursos humanos y más de una década de experiencia. Se ha destacado en el reclutamiento, la capacitación y el desarrollo, y en las relaciones con los empleados. Su carrera

abarca las industrias de defensa y construcción, y los últimos 7 años se concentró en el sector de productos químicos para la construcción.



**Christine Fiori** es directora del Programa de Gestión de la Construcción en la Universidad de Drexel, Filadelfia, Pensilvania, EE. UU. Antes de unirse a Drexel en 2015, fue miembro de Preston y Catharine White y directora asociada de la Escuela de Construcción Myers-Lawson en el Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia (Virginia Tech), Blacksburg, Virginia, EE. UU. Se desempeñó como oficial de ingeniería civil en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y enseñó en la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, Colorado, EE. UU., y en la Universidad Estatal de Arizona, Tempe, Arizona, EE. UU., antes de unirse a la facultad de Virginia Tech en 2007.

Su interés en las construcciones antiguas la llevó a obtener una beca de la Fundación Nacional de Ciencias para explorar las técnicas de construcción de los incas, específicamente el Camino Inca en todo Perú. Este trabajo de investigación es parte de una exhibición del Smithsonian en el Museo Nacional del Indio Americano que se inauguró en junio de 2015. Fue reconocida como una de las “25 principales protagonistas de noticias de 2010” de Engineering News Record por su investigación sobre el Camino Inca. Además, Fiori apareció en el canal Science en un episodio de Strip the City relacionado con Machu Picchu. Dirigió el programa de Ingeniería y Gestión de la Construcción y facilitó los programas de aprendizaje-servicio para la Escuela de Construcción Myers-Lawson. Fiori ha liderado diversos grupos de estudiantes en Vietnam, Kenia, Belice, Guatemala y Haití para completar proyectos de construcción y programas de participación comunitaria. Actualmente, su trabajo se centra en Guatemala y Belice. También se desempeña como miembro de la facultad de la fraternidad Sigma Phi Epsilon en Drexel y es mentora de construcción para Bridges to Prosperity.

Recibió su licenciatura, maestría y doctorado en ingeniería civil con especialización en ingeniería geotécnica de la Universidad de Drexel en 1992, 1994 y 1997, respectivamente.



**Alana Guzzetta** es gerente del Laboratorio Nacional de Investigación de Vulcan Materials Company. Ubicado en San José, California, EE. UU., este laboratorio es el recurso de investigación de la empresa para probar y examinar nuevos materiales para su uso en concreto premezclado. Guzzetta recibió su maestría en ingeniería civil de la Universidad Estatal de San José, San José, California, y ha trabajado en el laboratorio de investigación desde 2011. Su función también implica la colaboración con arquitectos, ingenieros y consultores de sustentabilidad para desarrollar especificaciones de concreto basadas en el rendimiento e incorporar objetivos alcanzables de carbono incorporado.



**Andrea Lebed** es gerente de desarrollo de aditivos para concreto en Chryso en Wilmington, MA, EE. UU. Tiene más de 12 años de experiencia en el desarrollo de productos centrados en polímeros en varias industrias químicas especializadas, incluidas pinturas, colorantes para inyección de tinta y aditivos para concreto.

Lebed tiene una trayectoria comprobada de colaboración con equipos multidisciplinarios para avanzar en la investigación y las formulaciones desde el laboratorio hasta la escala de producción. Ha sido una defensora de la sostenibilidad, innovando nuevas vías para reducir el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la industria de la construcción.

Lebed recibió su licenciatura y maestría en química sintética de la Universidad Northeastern, Boston, MA.



**Madeleine Murphree** es ingeniera de planta en J. Lloyd Engineering, una empresa de ingeniería estructural y consultoría que se centra en la reparación de estructuras existentes. Recientemente recibió su maestría en ingeniería civil de la Universidad de Florida, Gainesville, Florida, EE. UU., donde su investigación se centró en la contracción del concreto y el desarrollo de métodos de prueba. Como estudiante, fue beneficiaria de la beca de materiales de concreto de la Fundación ACI 2020 y fue presidenta del Comité S805, Consejo de liderazgo estudiantil, de 2022 a 2023. También es miembro activa de Mujeres en ACI y disfruta de interactuar con todas las mujeres de ACI que siguen haciendo que la industria del concreto sea tan genial.



**Michelle Wilson**, miembro del American Concrete Institute (FACI), es directora superior de Tecnología del Concreto y Difusión industrial en PCA. Wilson tiene más de 25 años de experiencia relacionada con materiales de concreto, especificaciones, rendimiento, resolución de problemas y reparación.

Wilson es la autora principal de Diseño y control de mezclas de concreto de PCA. Es responsable de los recursos técnicos de PCA, que cubren todo el espectro de la tecnología del cemento y el concreto.

Wilson formó parte de la Junta Directiva del ACI y fue presidenta del Comité 301 del ACI, Especificaciones para la construcción de concreto. Es miembro de los Comités E707 del ACI, Educación sobre especificaciones; 132, Responsabilidad en la construcción de concreto; 201, Durabilidad del concreto; 321, Código de durabilidad del concreto; y 329, Criterios de rendimiento para concreto premezclado. También es miembro honorario del Comité C09 de ASTM International, Concreto y áridos para concreto, formó parte del Comité Ejecutivo de C09 y es presidenta del Subcomité C09.40 de ASTM International, Concreto premezclado.

Título original en inglés:  
Women in Concrete Session.  
Interactive panel highlighting  
women in the concrete industry

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



*Traductora:*  
**Martha Elean  
Ramírez Govantes**  
*Estudiante Arquitectura  
FES Acatlán U.N.A.M*



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

## Acondicionamiento de humedad de núcleos de concreto

**P.** Recientemente tomamos núcleos de una columna para verificar su resistencia a la compresión. Después de que fueron extraídas, el técnico las guardó en un balde con agua para evitar que se secan. Dijo que era importante continuar curando en húmedo los núcleos antes de realizar las pruebas para promover la ganancia de resistencia. ¿Es esto correcto?

**R.** Aunque el técnico haya tomado núcleos de las muestras del proyecto y tenga buenas intenciones al tratar de curar en húmedo, sus acciones son incorrectas por dos razones:

- La columna está expuesta a condiciones de secado al aire en el campo. Las acciones tomadas para curar en húmedo los núcleos para promover la ganancia de resistencia después de su extracción son un proceso de pensamiento erróneo porque estas acciones no representarían la condición real de humedad dentro de la columna en el momento de la prueba; y
- Los núcleos sometidos a curado húmedo habiendo sido extraídos de una columna secada al aire, inducirán un gradiente de humedad entre la superficie húmeda y la condición más seca en el centro del núcleo. Se ha demostrado que la formación artificial de este gradiente durante el corto período entre la extracción de los núcleos y las pruebas reduce las resistencias medidas.

### Malentendido entre la justificación de “Curado” y “Acondicionamiento de Humedad”

Según nuestra experiencia, confundir “curado” y “acondicionamiento de humedad” es el error más común asociado con las pruebas ASTM C42/C42M<sup>1</sup> “Curado” es el proceso de almacenar concreto en

condiciones favorables de temperatura y humedad que promueven la ganancia de resistencia y durabilidad. El “acondicionamiento de la humedad” es el proceso de preservar la humedad y al mismo tiempo minimizar la formación de gradientes de humedad artificiales dentro de una muestra cuando se expone a una fuente externa de agua.

Los técnicos de laboratorio y campo usualmente tienen mucha experiencia probando cilindros según ASTM C39/C39M,<sup>2</sup> por lo que han sido entrenados para tratar todas las muestras de concreto de la misma manera. Sin embargo, los cilindros se fabrican a partir del concreto entregado en el momento de su colocación y se requiere un curado húmedo continuo para promover el aumento de resistencia. Los cilindros en curado húmedo también proporcionan acondicionamiento de la humedad porque garantizan una distribución uniforme de la humedad dentro del cilindro en el momento de la prueba.

En contraste, los núcleos conllevan consideraciones de curado y acondicionamiento más complejas. Cuando se toma un núcleo, éste ya ha sido “curado” dentro de la estructura. No requiere curado húmedo adicional en el laboratorio. Además, a diferencia de los cilindros, proporcionar un curado adicional puede inducir gradientes de humedad artificiales y no deseados dentro de una muestra. Antes de la extracción de núcleos, es probable que el contenido de humedad en una columna sea relativamente uniforme y algo seco. Cuando se extrae un núcleo de la columna para realizar pruebas de resistencia, sus superficies se exponen al agua durante el proceso de perforación y luego nuevamente durante la preparación final en el laboratorio. Si no se elimina, este exceso de agua puede crear un gradiente de humedad dentro de la muestra; por lo tanto, la región de la superficie tendrá un contenido de humedad más alto que el centro del núcleo.

### Procedimientos de acondicionamiento de humedad e intención ASTM C42/C42M

Es necesario limitar la exposición de un núcleo al agua y permitir que la humedad de la superficie se disipe antes del almacenamiento para minimizar la formación de un gradiente de humedad entre la superficie y el centro de la muestra del núcleo. Las investigaciones han demostrado que los cambios a corto plazo en el gradiente de humedad en un núcleo pueden producir cambios considerables en la resistencia a la compresión. La sección 7.2.3 de ACI PRC-214.4-21 establece:

“Condición de humedad: los diferentes tratamientos de acondicionamiento de la humedad

tienen un efecto considerable en las resistencias medidas. Los núcleos secados al aire son en promedio entre un 10 y un 14 por ciento (Neville 1981; Bartlett y MacGregor 1994a) más resistentes que los núcleos empapados, aunque la proporción real para los núcleos de un concreto específico puede variar significativamente.

Empapar los núcleos puede causar que el concreto en la superficie de la muestra se hinche, y la restricción de este hinchamiento por la región interior provoca tensiones autoequilibradas que reducen la resistencia a la compresión medida en núcleo (Popovics 1986). Por el contrario, secar la superficie provoca una contracción que, cuando se restringe, crea una distribución favorable de la tensión residual que aumenta las resistencias medidas. En ambos casos, los cambios en las condiciones de humedad son inicialmente muy rápidos (Bartlett y MacGregor 1994c, basado en datos reportados por Bloem [1965]). Si a los núcleos no se les aplica un acondicionamiento de humedad estandarizado antes de las pruebas, o si el período entre el final del tratamiento de humedad y las pruebas varía significativamente, entonces se puede introducir una variabilidad adicional en las resistencias medidas”.<sup>3</sup>

Cuando la humedad es mayor en la superficie del núcleo y menor en el centro, se reducirá artificialmente la resistencia a la compresión medida. Lo contrario ocurre con los gradientes formados donde se produce un exceso de secado en la superficie.

ASTM C42/C42M reconoce esta preocupación y establece por qué es necesario el acondicionamiento de la humedad:

- “La resistencia del concreto medido mediante ensayos de núcleos se ve afectada por la cantidad y distribución de la humedad en la muestra en el momento del ensayo...” (Sección 3.4);<sup>1</sup> y
- “...Los procedimientos de acondicionamiento de la humedad especificados en este método de prueba tienen como objetivo preservar la humedad del núcleo perforado y proporcionar una condición de humedad reproducible que minimice los efectos de los gradientes de humedad introducidos por la humectación durante la perforación y la preparación de la muestra”. (Sección 7.3).<sup>1</sup>

Además, a menos que el especificador indique otra cosa, ASTM C42/C42M proporciona los requisitos predeterminados indicando al operario que limite el exceso de humectación o secado de los núcleos antes de realizar la prueba. Aunque estos requisitos no pueden garantizar que la condición de humedad de un núcleo coincida con la condición de

la estructura, un núcleo debe perforarse, prepararse y almacenarse de manera que se intente preservar la condición del concreto en el lugar porque esto minimizará la formación de gradientes de humedad a corto plazo dentro de la muestra de prueba.

La Sección 7.3, “Acondicionamiento de la humedad”, en ASTM C42/C42M indica al operario que:

1. Limite la exposición del núcleo al agua;
2. Limpie inmediatamente la humedad de la superficie después de perforar y preparar los extremos;
3. No almacene el núcleo hasta que sus superficies parezcan secas (el tiempo de exposición al aire/secado no debe exceder 1 hora); y
4. Almacene las muestras en bolsas selladas o recipientes no absorbentes durante al menos 5 días después de la última vez que se humedecieron.

Cualquier tipo de curado húmedo violaría estos requisitos porque induce un gradiente de humedad en la muestra central. El hecho de que ASTM C42/C42M requiera un período de secado limitado después de la exposición al agua y que una muestra central no deba almacenarse hasta que sus superficies parezcan secas son indicaciones claras de que el técnico de su proyecto está violando los procedimientos de acondicionamiento de humedad de ASTM C42/C42M al remojar los núcleos después de la extracción.

## En conclusión

Los núcleos generalmente se toman cuando existe un problema de resistencia. La diferencia entre pasar y fallar las pruebas de resistencia del núcleo puede ser de solo unos pocos cientos de libras por pulgada cuadrada (psi por sus siglas en inglés), por lo que se debe evitar cualquier pérdida potencial de resistencia debido a muestras acondicionadas inadecuadamente con humedad.

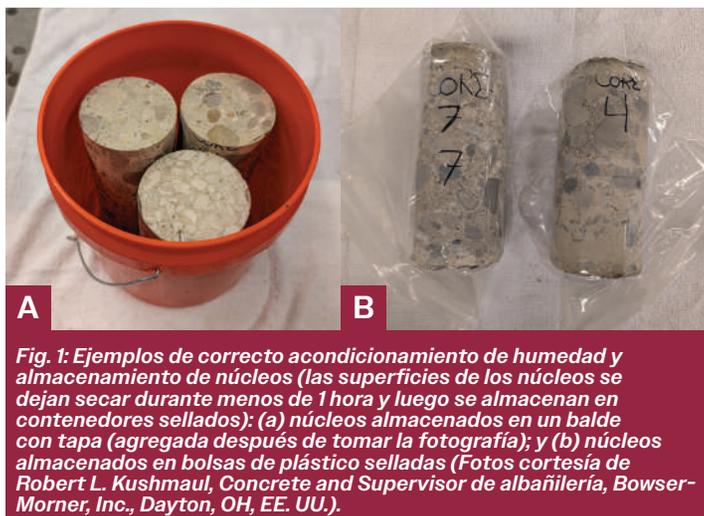
Los núcleos deben acondicionarse en contenedores sellados, que pueden almacenarse en el laboratorio o en la sala de niebla durante un período de acondicionamiento de 5 días. Asegúrese de que los contenedores estén herméticamente cerrados para que no entre ni salga humedad antes de la prueba. Los núcleos nunca deben aparecer mojados una vez finalizado el período de acondicionamiento.

## Referencias

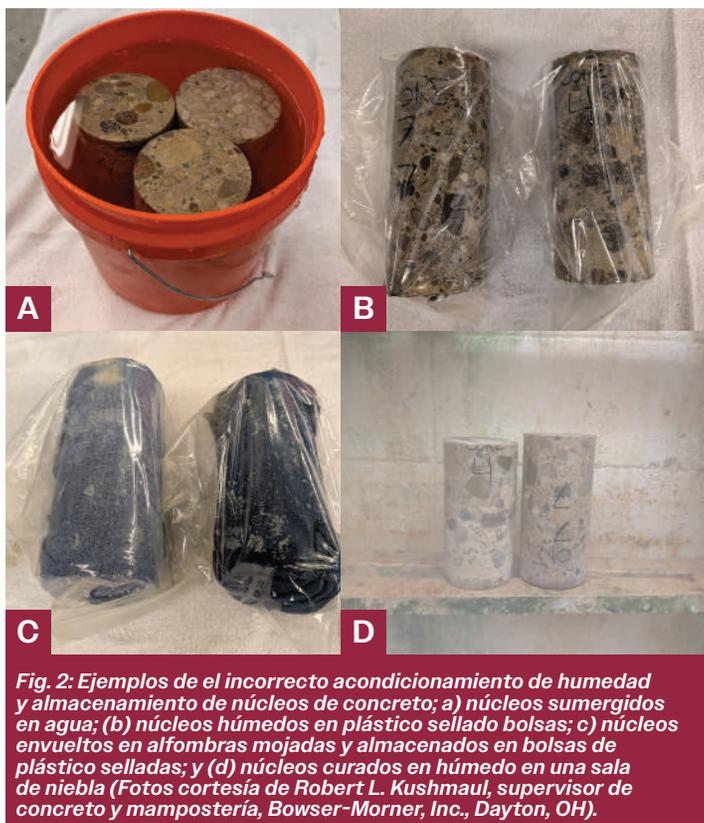
1. ASTM C42/C42M-20, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 7 pp.
2. ASTM C39/C39M-21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 pp.
3. ACI Committee 214, "Obtaining Cores and Interpreting Core Compressive Strength Results—Guide (ACI PRC-214.4-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 20 pp.

Thanks to Ron L. Kozikowski, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, for providing the answer to this question.

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



**Fig. 1:** Ejemplos de correcto acondicionamiento de humedad y almacenamiento de núcleos (las superficies de los núcleos se dejan secar durante menos de 1 hora y luego se almacenan en contenedores sellados): (a) núcleos almacenados en un balde con tapa (agregada después de tomar la fotografía); y (b) núcleos almacenados en bolsas de plástico selladas (Fotos cortesía de Robert L. Kushmaul, Concrete and Supervisor de albañilería, Bowser-Morner, Inc., Dayton, OH, EE. UU.).



**Fig. 2:** Ejemplos de el incorrecto acondicionamiento de humedad y almacenamiento de núcleos de concreto; a) núcleos sumergidos en agua; (b) núcleos húmedos en plástico sellado bolsas; c) núcleos envueltos en alfombras mojadas y almacenados en bolsas de plástico selladas; y (d) núcleos curados en húmedo en una sala de niebla (Fotos cortesía de Robert L. Kushmaul, supervisor de concreto y mampostería, Bowser-Morner, Inc., Dayton, OH).

A lo largo de los años, hemos observado una variedad de métodos básicos de acondicionamiento de la humedad. Puede resultar útil visualizar ejemplos que cumplen (consulte la Fig. 1) o violan (consulte la Fig. 2) los requisitos de ASTM C42/C42M.

Finalmente, si los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de los núcleos tomados de la columna de su proyecto están unos pocos cientos de psi por debajo del límite de resistencia especificado, recomendamos discutir este tema con el especificador y sugerir volver a tomar muestras y probar los núcleos de acuerdo con ASTM C42/C42M.

Título original en inglés:  
Moisture Conditioning of  
Core Samples

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



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



**CONCRETO**  
LATINOAMÉRICA