

CONCRETO LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VI | NÚMERO 8 | AGOSTO 2025

**El Moderno Rascacielos de Concreto en
el Museo de los Rascacielos**

Abierto hasta octubre de 2025

PLAZA

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

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina

Dr. Raúl Bertero

Colombia

Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabián Augusto Lamus Báez

Costa Rica

Ing. Minor Murillo Chacón

Ecuador Centro y Sur

Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín

Guatemala

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Luis Álvarez Valencia

México Noreste

Dr. Alejandro Durán Herrera

México Noroeste

Ing. Raúl Alvarado Barbachano

México Centro y Sur

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 Rascacielos Moderno de Concreto. Una nueva exposición en el Museo del Rascacielos en la ciudad de Nueva York, NY, EE. UU., reinterpreta la historia de los edificios de gran altura a través del prisma del concreto reforzado.

Como parte de la exposición, los edificios presentados funcionan como "casos de estudio" que representan el impacto de las nuevas tecnologías en materiales y los avances en la construcción.

Un ejemplo que destaca la resistencia y la maleabilidad del concreto mediante audaces experimentos de forma es el One Thousand Museum en Miami, FL, EE. UU., diseñado por Zaha Hadid y DeSimone Consulting Engineering. La exposición estará abierta hasta finales de octubre de 2025. Para más información, consulte el artículo 1 en este número de la revista. *(Foto cortesía de DeSimone Consulting Engineering)*

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 Agosto 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

Puede consultar todos los números anteriores de la revista en:
www.acilatinoamerica.com

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”.

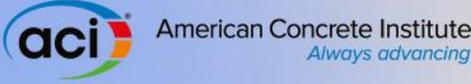
Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

REVISORES EDITORIALES

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

Dr. Lucio Guillermo López Yépez
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez
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



CONTENIDO

1 | **El Moderno Rascacielos de Concreto en el Museo de los Rascacielos**

Abierto hasta octubre de 2025

4 | Preguntas y Respuestas. **Comentarios adicionales sobre el acondicionamiento por humedad de las muestras de núcleos de concreto**

2 | **Guía para la colocación y el acabado de concreto de cemento Tipo IL en obra**

Por Chad White, Bryan M. Birdwell, Jerry A. Holland, y Michael G. Hernandez

5 | Novedades en Tecnología. **Colocación con los tiempos**

Cómo las colocaciones monolíticas pueden impulsar la eficiencia para los contratistas del presente

Por Seth Ulmer

3 | **Fallas por fisuración longitudinal de adherencia en columnas**

Actualizaciones al Código ACI-318-25, Sección 18.7.4.3

Por Saman A. Abdullah, Miki Mori y John W. Wallace

6 | Novedades en Tecnología. **Concreto curado internamente: Apoyando al personal, los ingredientes y al País**

Por Daron Brown

CONVOCATORIA

CONCRETO LATINOAMÉRICA

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

*Descarga la Guía
de Publicación*



¡Escanea para
conocer los
requisitos!

*Llena la Carta
de Solicitud*



¡Escanea para
completar tus
datos!

Una vez lista tu solicitud, fírmala y envíala a la Revista Concreto Latinoamérica a través del correo concretolatam@gmail.com

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

01

El Moderno Rascacielos de Concreto en el Museo de los Rascacielos

Abierto hasta octubre de 2025

El Moderno Rascacielos de Concreto, es una nueva exposición en el “*Museo de los Rascacielos*” en la ciudad de Nueva York, EE. UU., que relata de nuevo la historia de los edificios de gran altura a través de la perspectiva del concreto reforzado. En las últimas cinco décadas, el concreto reforzado se ha convertido en el material preferido para la construcción de rascacielos en todo el mundo. Los rascacielos de concreto armado han evolucionado en varias etapas y bajo muchas influencias, incluyendo aspiraciones arquitectónicas, innovaciones en ingeniería, y avances en la resistencia de los materiales, la ingeniería de viento, y el diseño asistido por computadora. Aunque la mayoría de esos cambios permanecieron ocultos, esta exposición revela el concepto y el proceso del material mediante múltiples modelos estructurales, vistas del proceso constructivo y videos.

La exposición empieza con un mural que contiene un cronograma gráfico de 30 pies (9.1 m) de largo, organizado en ocho paneles que presentan capítulos significativos en la evolución de los rascacielos de

concreto reforzado. Los paneles muestran el uso del concreto reforzado desde la antigua Roma hasta la actualidad. Al ilustrar el auge de los rascacielos de concreto reforzado durante más de un siglo—tanto por el aumento en altura como por su dominio en el mercado—los paneles de la exposición destacan la creciente prevalencia de este material en la estructura y la construcción de edificios de gran altura en todo el mundo.

La galería principal exhibe desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. Los edificios destacados son “casos de estudio” que representan tanto la importancia de diseñadores clave, generalmente la colaboración entre arquitectos e ingeniero, como el impacto de nuevas tecnologías en materiales y avances en la construcción que, desde la década de 1980, permitieron alcanzar mayores alturas, esbeltez y expresión formal.

Una de las imágenes más reveladoras, creada para la exposición a partir de la investigación hecha por el Museo, es el gráfico de “Los Rascacielos de Concreto Más Altos del Mundo” que ilustra los rascacielos a lo largo de los años, desde el Edificio Ingalls de 1903 en Cincinnati, OH, EE. UU., hasta el Burj Khalifa de 2010 en Dubái, EAU. El gráfico y la cronología iluminan las épocas clave de innovación en las décadas de 1960 y 1990, y luego el extraordinario salto en altura con el Burj Khalifa.

En las décadas de 1980 y 1990, importantes avances elevaron la altura de las torres de concreto a 300 y 400 m (984 y 1 312 pies). Estos avances fueron principalmente “internos,” estructurados alrededor de un núcleo masivo de concreto y ocultos tras una amplia variedad de muros cortina. Las ventanas festoneadas con bandas de acero inoxidable de las Torres Gemelas Petronas en Kuala Lumpur, Malasia, develaron la construcción de



La exposición “El Moderno Rascacielos de Concreto” en el “Museo de los Rascacielos” en la ciudad de Nueva York, NY (foto cortesía de The Skyscraper Museum).



El cronograma de 30 pies (9.1 m) de largo que presenta capítulos o periodos significativos en la evolución de los rascacielos de concreto reforzado (foto cortesía de The Skyscraper Museum).



La galería principal presenta fotografías históricas y vistas de obra, películas y maquetas (foto cortesía de The Skyscraper Museum).



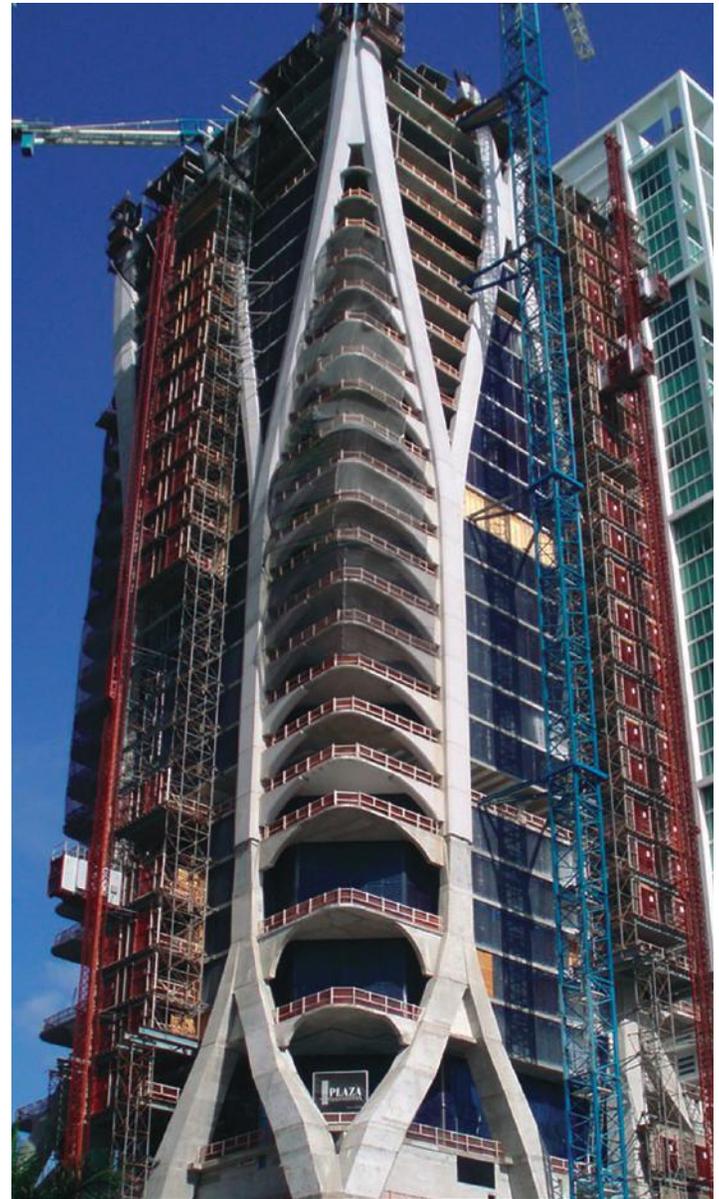
Vistas de diferentes paneles de la exhibición. De izquierda a derecha: Marina City en Chicago, IL; One Shell Plaza en Houston, TX; y el Edificio CBS, "Black Rock," en la ciudad de Nueva York (foto cortesía de The Skyscraper Museum).



El edificio Burj Khalifa en construcción en Dubái, EAU (foto cortesía de SOM).

concreto en rascacielos. Un modelo de las Torres Gemelas Petronas y una presentación en video con docenas de vistas de la construcción tomadas por el equipo arquitectónico documentan el proyecto.

El desarrollo de mezclas de concreto de resistencia cada vez mayor, permitieron que los edificios superaltos se elevaran aún más. Para el año 2010, el Burj Khalifa obtuvo el título del edificio más alto del mundo. Su estructura y envolvente están representadas en la exposición. Un modelo estructural a escala 1:500, realizado por SOM, ilustra el innovador "núcleo arriostrado" con su núcleo, muros y losas compactas de concreto. Una fotografía de la torre—construida hasta casi 100 pisos pero sin un solo panel de vidrio colocado— transmite la importancia del concreto a escala 1:1, mientras que otra perspectiva relevante del edificio presenta la fachada de vidrio reflectante de la torre terminada.



El One Thousand Museum en construcción en Miami, FL (foto cortesía de DeSimone Consulting Engineering).

La competencia por la altura — ganada de forma decisiva por el Burj Khalifa, pero actualmente desafiada por la Jeddah Tower de más de 1 000 m (más de 3 281 pies) en Yeda, Arabia Saudita, y cuya construcción se informa que se ha reanudado tras una pausa de 7 años — es solo un aspecto del ascenso del concreto como material predominante para rascacielos. La resistencia y la moldeabilidad del concreto para adoptar cualquier forma han permitido audaces experimentos formales, tanto en el interior como en el exterior, como puede observarse en los atrios de la arquitectura de John Portman, el núcleo abierto de la torre Jin Mao de SOM en Shanghái, China, o el *One Thousand Museum* de Zaha Hadid en Miami, FL, EE. UU.

Otra ventaja del concreto reforzado de alta resistencia es la rigidez que brinda a los edificios esbeltos, como las “torres lápiz” de *Manhattan’s Billionaires’ Row*, incluyendo el emblemático edificio 432 Park Avenue en la ciudad de Nueva York, de la cual la exposición presenta un modelo. La muestra también destaca numerosas fotografías históricas y vistas de obra, películas y maquetas, tanto originales como creadas especialmente para la exposición.

La exposición estará abierta al público en la galería del Museo de los Rascacielos hasta finales de octubre de 2025. Una versión en línea y extensa de la exposición, con el texto completo, ilustraciones, vistas de la instalación y conferencias relacionadas en video, está disponible en: <https://skyscraper.org/the-modern-concrete-skyscraper>.

Título original en inglés:

**The Modern Concrete Skyscraper
at The Skyscraper Museum.**

Open through October 2025

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Perú



Traductor:

**Kevin Wilmar
Centeno Aguirre**

Estudiante de Ing. Civil



Revisora Técnica:

**Ing. Karen Jhazmin
Valencia Cruz**

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

BIENVENIDO A LA AUTOPISTA DE LA INFORMACIÓN DE CONCRETO EN www.acilatinoamerica.com

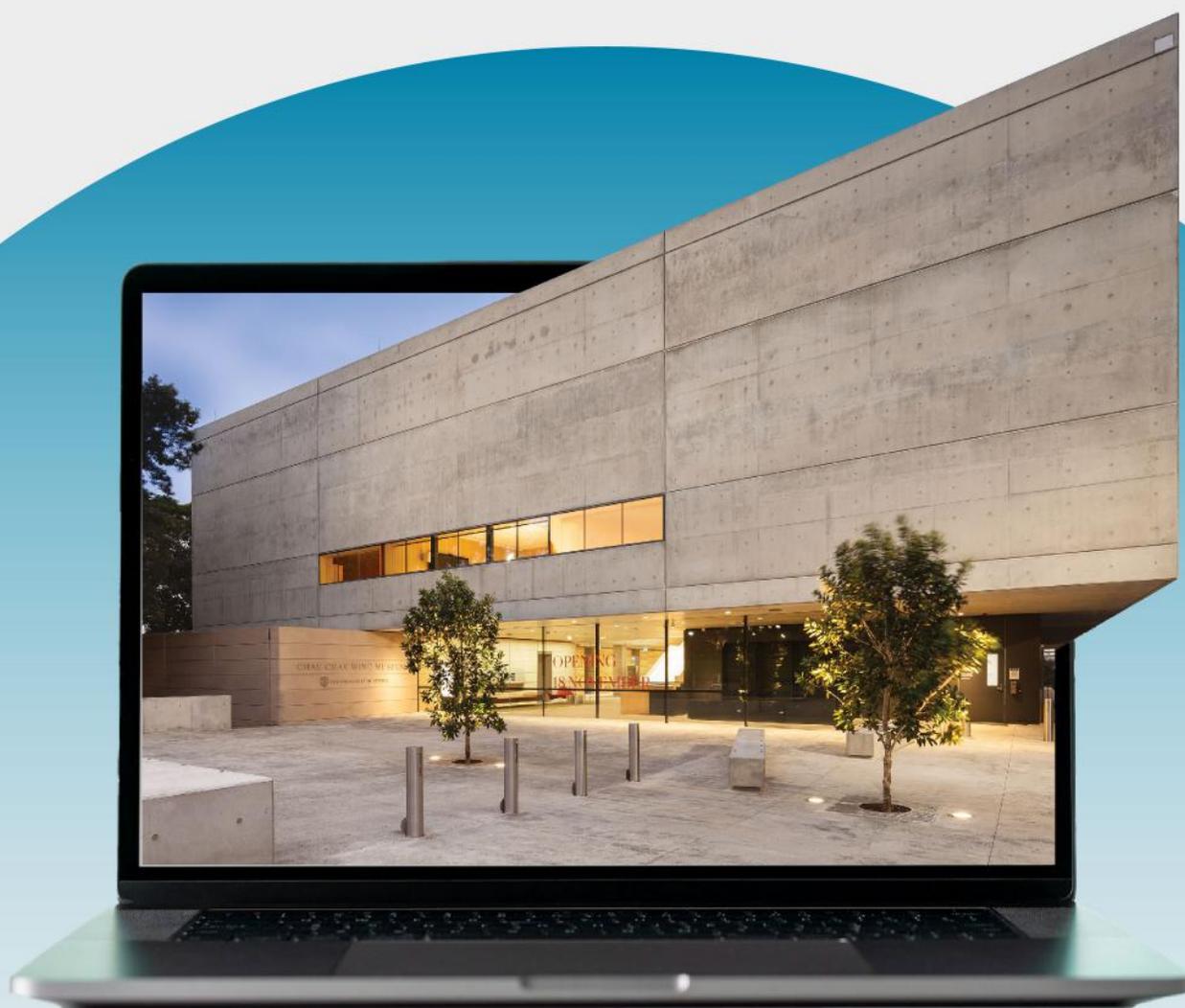
AQUÍ ENCUENTRAS...

PUBLICACIONES PASADAS

DIRECTORIO CAPÍTULOS ACI

NOTICIAS

EVENTOS



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

Guía para la colocación y acabado de concreto producido con cemento Tipo IL en obra

Por Chad White, Bryan M. Birdwell, Jerry A. Holland, y Michael G. Hernandez

Con el espectacular aumento de la producción desde 2021, el cemento ASTM C595/C595M Tipo IL, también conocido como cemento portland de caliza (PLC, por sus siglas en inglés), se ha convertido en el tipo de cemento más utilizado en los Estados Unidos. Aunque muchos contratistas han colocado con éxito millones de metros cuadrados de losas y pavimentos elaborados con cemento Tipo IL, los contratistas de algunas regiones han informado de problemas con el concreto en estado plástico y endurecido, entre ellos un aumento más lento de la resistencia y defectos en la superficie de las losas, como la formación temprana de costras, grietas, fisuras excesivas y delaminación. Comprender las diferencias entre el PLC y el cemento portland ordinario (CPO) puede ayudar a los contratistas a modificar y adaptar los medios y métodos de acabado para hacer frente a estos retos. Este artículo es un intento de explicar las diferencias entre los dos tipos de aglutinantes, basándose en observaciones directas e informes de acabadores que colocan concreto con cemento Tipo IL. Sin embargo, los lectores deben tener en cuenta que estas observaciones no pueden representar todas las situaciones, ya que los materiales locales, el clima y los procesos de acabado pueden influir considerablemente en el comportamiento.

La diferencia clave entre el cemento tradicional ASTM C150/C150M Tipo I/II/V y el cemento ASTM C595/C595M Tipo IL es el contenido máximo de piedra caliza en masa del cemento mezclado (5% y 15%, respectivamente). Aunque los primeros materiales promocionales presentaban al PLC como un sustituto directo del CPO, las observaciones de campo y los trabajos posteriores han indicado que el cambio no es tan sencillo. Por ejemplo, la caliza adicional en el PLC puede afectar la eficacia de los aditivos. Además, el comportamiento del PLC parece ser más sensible a las variaciones en las propiedades físicas y la composición química. Los cambios en el comportamiento se han correlacionado con variaciones en el producto de la misma cementera

y, lo que es más significativo, con diferencias en el producto de diferentes cementeras.

Uso del cemento Tipo IL

Las consideraciones cuando se utiliza PLC (cemento Tipo IL), incluyen:

- Hay que estar consciente del contenido de caliza mezclada. El cemento Tipo IL(8), con un contenido de caliza del 8%, tendrá un comportamiento diferente al Tipo IL(14), con un contenido de caliza del 14%.
- Cuando se utilizan materiales cementantes suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés) o cemento de escoria en combinación con PLC, el comportamiento en el incremento de la resistencia parece ser menos predecible que el observado históricamente con el CPO (cemento Tipo I/II). El historial de cada una de las mezclas de concreto PLC del proveedor de concreto premezclado, proporciona información importante.
- Es posible que el concreto producido con PLC no tenga el mismo incremento en la resistencia a una edad determinada en comparación con el concreto fabricado con CPO. La mayor parte del cemento Tipo IL hecho en los Estados Unidos se fabrica mediante la molienda conjunta de piedra caliza y clinker. Como resultado, el componente de clinker en el PLC puede ser más fino que en el cemento Tipo I/II. Además, muchos fabricantes de cemento han aumentado la proporción de alita a belita en su clinker, lo que aumenta el porcentaje de alita, que reacciona más rápidamente y puede ofrecer resistencias iniciales comparables a las del cemento Tipo I/II. El comportamiento del cemento variará en función de la finura de la molienda y de la proporción de alita-belita.



Colocación y acabado de una losa de concreto de PLC (cemento Tipo IL)

- La molienda conjunta de piedra caliza y clinker también puede aumentar la finura del PLC, por lo que las mezclas de concreto con PLC tienden a demandar una mayor cantidad de agua (entre 5 y 15 litros/m³ adicionales [entre 1.0 y 3.0 gal/yard³]). Sea consciente de la cantidad total de agua que está siendo restringida en las remisiones de los lotes y pida al fabricante de concreto que maximice el uso de agua hasta la relación agua-cemento (w/c) permitida para obtener el revenimiento antes de utilizar aditivos reductores de agua. Una vez ajustada la mezcla, el agua retenida normalmente no debe superar los 5 a 7 L/m³ (1.0 a 1.5 gal/yard³);
- La finura del PLC también afecta al sangrado. Las mezclas de PLC pueden tardar más en desarrollar agua de sangrado superficial, sus tiempos de sangrado pueden prolongarse y el agua de sangrado total suele ser menor que en la misma mezcla con CPO.
- En determinadas condiciones, los comportamientos de sangrado observados, la finura y las diferentes propiedades químicas hacen que las mezclas de PLC sean más propensas a la formación de costras superficiales, una condición en la que la superficie de la losa se seca más rápido de lo que la humedad puede ascender desde abajo.
- Los tiempos de fraguado y las tasas de sangrado de las mezclas de PLC pueden ser más sensibles a las variaciones de temperatura y a las condiciones ambientales que las mezclas de CPO; y
- Los aditivos afectan al tiempo de fraguado, la resistencia y la facilidad de dar el acabado del concreto. Elija aditivos reductores de agua de Tipo A o Tipo F que no retrasen el fraguado del concreto. Los aditivos reductores de agua individuales que cumplen todos los requisitos de los Tipos A, B y D pueden tener un efecto retardante del fraguado, especialmente en dosis más altas. Si es necesario, utilice la dosis mínima de estos materiales. Los aditivos reductores de agua de medio y alto rango a base de policarboxilato que cumplen los requisitos de los Tipos A y F no suelen retrasar el fraguado y mejoran la trabajabilidad, la facilidad de dar el acabado y la resistencia a largo plazo. Considere la posibilidad de efectuar ensayos a cualquier aditivo o combinación de aditivos propuestos con el PLC en mezclas de mortero o concreto para determinar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia. El uso de más de un aditivo reductor de agua

en una mezcla de PLC parece dar lugar a un comportamiento menos predecible en cuanto a la facilidad de dar el acabado que el uso de una práctica similar con una mezcla de CPO. Los fabricantes de aditivos están desarrollando aditivos reductores de agua y modificadores de la trabajabilidad específicos para los PLC.

Consideraciones previas a la colocación

Antes de colocar el concreto de PLC:

- Revisar los diseños de las mezclas y sus historiales. Realice tandas de prueba con todas las mezclas nuevas que no hayan sido utilizadas con éxito en múltiples proyectos. Las consideraciones clave incluyen el contenido total de piedra caliza en el PLC, el contenido total de material cementante en la mezcla, la relación agua-materiales cementantes (w/cm) y los aditivos que se utilizarán. La optimización de las granulometrías y proporciones combinadas de los agregados es fundamental para obtener los mejores resultados del concreto, tanto en estado plástico como endurecido. Dado que ningún método de análisis de mezclas garantiza una mezcla óptima (por ejemplo, factores de trabajabilidad en función del agregado grueso, porcentaje combinado de agregados retenidos, potencia 0.45, porcentaje de mortero, porcentaje de pasta o curva de la Tarántula), deben realizarse varios tipos de análisis de la misma.
- Seleccionar una relación w/c objetivo de entre 0.47 y 0.55 para losas interiores, según la recomendación de la norma ACI PRC-302.1-15, Sección 8.4.4,¹ basada en la demanda de agua de los materiales, y un revenimiento de entre 75 y 100 mm (3 y 4 pulg.) antes de la introducción de los aditivos. Una vez ajustado y si es necesario, utilice aditivos para cumplir con los requisitos de bombeo, colocación y operaciones de acabado. Si la mezcla no se comporta como se necesita, compruebe si hay incompatibilidades entre los aditivos.
- Consultar con el proveedor de concreto premezclado cualquier cambio que haya habido en sus suministros de agregados gruesos y arenas desde que comenzaron a utilizar el cemento Tipo IL. Algunos productores están modificando los proporcionamientos de arena manufacturada frente a arena natural debido a la disponibilidad limitada de esta última.

Discuta también las opciones de agregados de tamaño intermedio, como sustituir una cantidad moderada de agregados de 9.5 mm (3/8 pulg.) por agregados más pequeños como el 12.5 a 9.5, 9.5 a 2.36 o 9.5 a 1.18 mm (grados No. 78, No. 8 o el No. 89), en función de la disponibilidad local. Para mantener el rendimiento, reduzca tanto la cantidad de agregados más grandes como la de arena al añadir el agregado intermedio.

- Tener en cuenta las condiciones en las que se colocará la losa y el tamaño de esta. Es fundamental comprender cómo las temperaturas ambientales previstas y las condiciones climáticas durante la colocación de losas pueden afectar al proceso de acabado de las mismas, a fin de incorporar los medios y métodos adecuados para producir con éxito una losa de concreto. El sol, el viento y la baja humedad son los enemigos de todas las colocaciones de losas de concreto y pueden verse exacerbados con las mezclas de PLC. Se debería considerar seriamente hacer el colado de las losas en horario nocturno y reducir tanto el tamaño de los colados, realizar el acabado bajo la luz solar directa.
- Disponer de las herramientas necesarias para tomar decisiones inteligentes. Los índices de evaporación, la velocidad del viento, los niveles de humedad y las temperaturas ambientales y de la superficie de la losa son datos fundamentales que el equipo de acabado debe conocer en tiempo real. (Nota: Para determinar el índice de evaporación se utiliza la temperatura de la superficie de la losa en el momento de la prueba, no la temperatura del concreto suministrado). Todo el personal encargado del concreto debe tener acceso a dispositivos de medición meteorológica y

termómetros infrarrojos para monitorear la temperatura de la superficie de la losa. Las tasas de evaporación deben monitorearse durante la colocación, el acabado y hasta que se completen los procesos de curado finales.

- Realizar pruebas a escala real del colado de las losas es fundamental para comprender el comportamiento de las mezclas de concreto y los retos de acabado que pueden surgir. Los colados de prueba deben ser lo suficientemente grandes como para evaluar todos los equipos y métodos empleados durante la instalación de las losas. Se deben comprobar múltiples lotes de concreto para poder determinar la variabilidad en los tiempos de fraguado, los índices de sangrado y la trabajabilidad del concreto, y
- Revisar las especificaciones de los pisos y tomar nota de las ubicaciones y los tipos de acabados. Compruebe también si existen restricciones en el uso de productos químicos durante el acabado o el curado de la losa. Planifique las operaciones con concreto según corresponda. Los endurecedores de superficie, por ejemplo, pueden hacer que el concreto sea tan impermeable que no supere la “prueba de goteo” según la norma ASTM F3191-23, “Prácticas estándar para la determinación in situ de la porosidad de absorción de agua de los sustratos destinados a recibir suelos resilientes”, lo que significa que los adhesivos a base de agua pueden no adherirse a la superficie.

Colocación y acabado de mezclas de cemento Tipo IL

Al colocar y acabar mezclas de PLC (cemento tipo IL):

- Controle el tiempo de fraguado del concreto para favorecer un fraguado más uniforme en toda la profundidad del concreto y reducir el tiempo durante el cual la superficie de la losa está expuesta a la pérdida de humedad. Suponiendo que se disponga del personal y el equipo adecuados, las mezclas de fraguado más rápido tendrán menos problemas de formación de costras en la superficie y los defectos asociados a ellas, como grietas por contracción en estado plástico, agrietamiento excesivo y delaminación. Los aditivos acelerantes pueden volverse una parte esencial del kit de herramientas del acabador.



Aplicación de un retardante de la evaporación del agua en una losa de concreto PLC (cemento tipo IL)



Corte con sierra de las juntas en el momento adecuado para una losa de concreto de PLC (cemento Tipo IL)

- Controle los índices de evaporación y el agua de sangrado en la superficie para asegurarse que la superficie de la losa no se seque demasiado rápido. Debido al mayor contenido de finos del PLC y a las bajas tasas de sangrado, las medidas de mitigación deben convertirse en una parte rutinaria de los recursos y métodos de los acabadores. La experiencia en campo indica que cuando los índices de evaporación alcanzan entre 0.24 y 0.39 kg/m²/hr (0.05 y 0.08 lb/ft²/hr), es fundamental aplicar retardantes de la evaporación, nebulizar el área de la losa u otras medidas de mitigación para garantizar el éxito en la instalación de la losa.
- Las medidas de mitigación deben mantenerse durante todo el proceso de colocación, acabado y curado. Es posible que sea necesario aplicar varias capas de retardante de la evaporación o nebulización durante la colocación y el acabado, especialmente en condiciones ambientales adversas. Los retardantes de la evaporación monomoleculares tópicos o el agua procedente de operaciones de nebulización/aspersión no deben incorporarse a la superficie de la losa.
- No selle la superficie de la losa con llanas avión demasiado pronto en el proceso de acabado. Es fundamental que el primer alisado con llanas combinadas se realice con las hojas lo más planas posible, sin dejar marcas de vibración ni de alisado a máquina. El primer alisado con llanas combinadas debe producir un acabado difuso. Permitir que la superficie respire el mayor tiempo posible durante las operaciones de acabado

reduce significativamente la posibilidad de delaminación. Un acabado compacto, que apenas comience a brillar, debe ser el objetivo antes de la pasada final de acabado. Recuerde que el PLC suele tener menos clinker y más finos en la pasta que el CPO, por lo que la densidad de la superficie y la resistencia a la abrasión deben desarrollarse gradualmente durante todo el proceso de alisado.

- No alise en exceso la superficie de la losa durante el acabado final. Las llanas de acero o plástico solo deben utilizarse para la pasada final. El uso prematuro de llanas plásticas no proporciona a la superficie de la losa la durabilidad requerida. El objetivo debe ser lograr un acabado uniforme semibrillante, alisado a máquina, con un mínimo de imperfecciones estéticas o defectos superficiales; y
- Recientemente, se han introducido en el mercado numerosos productos tópicos, de curado interno, endurecedores y de facilitadores del acabado para mejorar las operaciones del acabado y reducir la formación de costras y los problemas relacionados con la superficie. Es importante comprender cuándo y cómo aplicar estos productos y reconocer que, al ser nuevos, existen pocas pautas o normas industriales establecidas para su uso. Por lo tanto, siga las instrucciones del fabricante y pruebe cada producto para determinar su compatibilidad con otros productos que se utilizarán en la losa.

Curado, corte con sierra y ensayo de cilindros

Al curar y cortar con sierra las losas y almacenar los cilindros para ensayo:

- El curado rápido de la superficie de la losa después del acabado final es importante para todas las mezclas de concreto y aún más vital cuando se utilizan mezclas de PLC, ya que estas pueden reducir el tiempo disponible para iniciar el proceso de curado. Independientemente del método de curado que se emplee, debe aplicarse correctamente y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y del ACI. Para que la aplicación del curado sea exitosa, es fundamental contar con una cuadrilla bien capacitada que utilice el equipo adecuado. Dependiendo de las condiciones ambientales, puede ser necesario realizar el curado de la losa antes de las operaciones de corte con sierra. Aunque

esto difiere de las prácticas anteriores y puede resultar más difícil, hay que hacer lo que sea mejor para el concreto.

- Las juntas de contracción (control) cortadas con sierra pueden necesitar ajustes con mezclas que tengan características de fraguado más lento o diferentes tasas de sangrado. Se requiere paciencia y disciplina para minimizar el desprendimiento y el despostillamiento de los cortes con sierra, al tiempo que se instalan los cortes con sierra antes de que se produzcan grietas fuera de las juntas. En esta transición, los pequeños detalles cobran mayor importancia, y realizar cortes de prueba debe convertirse en una práctica estándar. Es de esperar que se retrase el inicio del corte o éste se detenga durante las operaciones de corte con sierra para minimizar el desprendimiento y el despostillamiento de los mismos, pero hay que estar atentos a los retrasos prolongados que podrían provocar agrietamientos fuera de las juntas; y
- Confirme que los cilindros de concreto se curan inicialmente a temperaturas entre 16 y 27 °C (60 y 80 °F), según lo especificado por la norma ASTM C31/C31M-25, “Práctica estándar para la fabricación y el curado de muestras de ensayo de concreto en el lugar”. Esta norma se incumple con frecuencia y puede dar lugar a fracturas de cilindros, especialmente en cilindros de concreto almacenados a temperaturas superiores a 32 °C (90 °F) o por debajo del punto de congelación durante las primeras 24 a 48 horas.

Reflexiones finales

El cemento Tipo IL (PLC) no va a desaparecer. En las industrias del cemento y el concreto, múltiples partes interesadas y usuarios finales nos piden que reduzcamos nuestra huella de carbono, y la reducción del contenido de clinker es la principal palanca para lograrlo. Además, podemos esperar que en el futuro se incremente el uso de cementos mixtos ternarios, compuestos por clinker de cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes, cemento de escoria y una puzolana, una puzolana y una caliza, o cemento de escoria y caliza. Si bien los efectos a largo plazo aún no se comprenden por completo, podemos anticipar que estas mezclas presentarán desafíos para quienes son responsables de instalar superficies de losas duraderas, resistentes al desgaste y a la abrasión, y libres de problemas, que además cumplan con las exigencias estéticas y operativas de los propietarios.

Sin embargo, estos desafíos no son insuperables.

Los fundamentos y las “mejores prácticas” para colocar y terminar losas de concreto siguen siendo los mismos. Sin embargo, las mezclas que usamos hoy en día, y las que usaremos en el futuro, son menos tolerantes y requerirán un mayor apego a las buenas prácticas del concreto. Una mejor comunicación y comprensión de los problemas entre especificadores, diseñadores, contratistas, productores de concreto premezclado, fabricantes de cemento, propietarios y usuarios finales será crucial a medida que avancemos. Se deben fomentar las nuevas ideas y la experimentación, y los compromisos serán ineludibles. Los contratistas de concreto forman parte de este complejo proceso y se les considera responsables de producir productos de calidad en un entorno de cambio constante. Como industria, debemos considerar un enfoque más integral para la colocación, el acabado y el curado de nuestras losas.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a la Fundación ACI por patrocinar el estudio conjunto del Comité 302 del ACI, Construcción de Pisos de Concreto, y de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC, por sus siglas en inglés), titulado “Diseño de mezclas para losas de concreto interior sin aire incluido”, enfocado en la recopilación de datos sobre mezclas con buen desempeño que utilizan cemento PLC (cemento Tipo IL). Al momento de redactar este documento, el estudio sigue en curso.

Referencias

1. ACI Committee 302, “Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI PRC-302.1-15),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.

Chad White, miembro del ACI, es Consultor Senior en Concreto en Structural Services Inc. en Waxahachie, Texas, EE. UU., y ha estado involucrado en todos los aspectos de la construcción con concreto durante más de 40 años. White ha tenido la fortuna de colaborar con muchos de los actores clave que han contribuido a moldear la industria del concreto. Ha participado directamente en el diseño y construcción de diversos tipos de losas industriales sobre el terreno, incluyendo superficies endurecidas con productos aplicados en seco, pisos de alta planicidad para tránsito definido, y pisos de alta tolerancia para tránsito aleatorio, así como en pavimentos y losas suspendidas. White ha publicado numerosos artículos sobre la instalación de losas de concreto y es conferencista en el evento World of Concrete.



Bryan M. Birdwell, FACI, es Presidente de Structural Services Inc. Cuenta con más de 30 años de experiencia en la industria del concreto como contratista nacional y consultor, desarrollando métodos y enseñando técnicas y procedimientos para la instalación de pisos superplanos, de alta tolerancia y decorativos, así como para la instalación típica de pisos de concreto y estacionamientos en Estados Unidos y otras ubicaciones. Es miembro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias, así como de los Comités ACI 302, Construcción de Pisos de Concreto; 330, Estacionamientos de Concreto y Pavimentación de Sitios; 360, Diseño de Losas sobre Terreno; 522, Concreto Permeable; y C640, Certificación de Artesanos. También es evaluador del Programa de Certificación de Terminadores de Obras Planas Comerciales/ Industriales Especializadas del ACI.



Jerry A. Holland, Miembro Honorario del ACI, es Vicepresidente y Director de Servicios de Diseño en Structural Services Inc., Atlanta, GA, EE. UU., y cuenta con más de 55 años de experiencia mundial en diseño, construcción y solución de problemas relacionados con materiales de concreto, pisos, pavimentos, otras estructuras y cuestiones geotécnicas asociadas. Es ingeniero profesional licenciado en varios estados, desde California hasta Florida, y evaluador de los programas de certificación del ACI para Asociado, Terminador y Terminador Avanzado de Obras Planas de Concreto. Holland fue presidente y es miembro del Comité 360 del ACI, Diseño de Losas sobre Terreno, así como miembro de los Comités 223, Concreto Compensador de Contracción; 302, Construcción de Pisos de Concreto; 325, Pavimentos de Concreto; 330, Estacionamientos de Concreto y Pavimentación de Sitios; y C640, Certificación de Artesanos.



Michael G. Hernandez, FACI, es Director Técnico de la ASCC. Cuenta con más de 25 años de experiencia en operaciones de construcción y es ingeniero profesional licenciado en Colorado y Florida. Es Secretario del Comité 302 del ACI, Construcción de Pisos de Concreto, y miembro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias, además de varios otros comités del ACI. Es evaluador de los programas de certificación del ACI para Asociado, Terminador y Terminador Avanzado de Obras Planas de Concreto. También funge como co-presidente de los Comités Técnicos, de Acabados y de Sustentabilidad de la ASCC.



Título original en inglés:
Field Guide to Placing and
Finishing Type IL Cement Concrete

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



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



Revisor Técnico:
**M.A. Erick
Villanueva
Rodríguez**

Fallas por fisuración longitudinal de adherencia en columnas

Actualizaciones al Código ACI-318-25, Sección 18.7.4.3

Por Saman A. Abdullah, Miki Mori y John W. Wallace

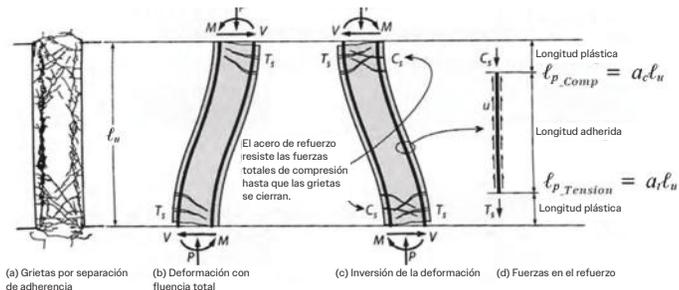


Fig. 1: Acciones que provocan grietas por separación de adherencia a lo largo de las barras longitudinales de la columna (basado en Referencias 5 y 7)

Debido a la posible fluencia en ambos extremos de una columna sujeta a demandas de movimiento del terreno correspondiente al sismo máximo considerado con base en el riesgo (MCE_R)¹, las columnas deben detallarse de manera que puedan lograr rotaciones plásticas del alma o núcleo de la columna de al menos 0.03 antes de una pérdida significativa de resistencia.² Las pruebas de columnas³ para respaldar la adopción de refuerzos de Grado 80 y 100 en el Código ACI-318-19⁴, así como las pruebas de columnas anteriores⁵, han indicado que podrían ocurrir fallas por adherencia antes de lograr rotaciones plásticas del alma o núcleo de la columna de 0.03.

Las fallas por esta fisuración longitudinal de adherencia bajo carga cíclica se ve afectado por muchos factores⁶, incluido el historial de carga, las demandas de deformación y los parámetros que afectan la longitud de desarrollo ℓ_d calculada a partir de la ecuación (25.4.2.4a) en el Código ACI-318-19. En el Código ACI-318-19, la ruptura de adherencia se aborda en las disposiciones ℓ_d de la Sección 25.4.2.4 mediante el término $(c_b + K_{tr})/d_b$, que no puede ser mayor que 2.5, ya que las fallas por adherencia se transforman en fallas por extracción aproximadamente en este límite. (Nota: c_b es el menor de los valores siguientes: (a) la distancia desde el centro de una barra o alambre hasta la superficie de concreto más cercana, y (b) la mitad de la separación entre centros de las barras que se están desarrollando; K_{tr} es el índice de refuerzo transversal calculado a partir de la ecuación (25.4.2.4b) en el Código ACI-318-19; y d_b es el diámetro nominal de la barra longitudinal).

En pórticos sometidos a momento por cargas sísmicas, podría producirse una fluencia significativa en ambos extremos de la columna¹. Esta condición se muestra en la Fig. 1 y genera grandes demandas de adherencia a lo largo de la altura de la columna. Estas demandas se agravan en columnas más cortas reforzadas con barras de gran diámetro y alta

resistencia a la fluencia. Para abordar este posible problema, en parte debido a la inclusión de refuerzo de alta calidad en el Código ACI-318-19, se adoptó una nueva disposición para controlar las fallas por separación de adherencia en columnas de pórticos sometidas a momentos especiales en la Sección 18.7.4.3, que exige que el refuerzo longitudinal de la columna se seleccione de manera que $1.25\ell_d \leq \ell_u/2$ sobre la altura libre de la columna, donde ℓ_u es la longitud sin soporte de la columna o la longitud libre de la viga. Esta disposición también podría aplicarse a columnas que no estén designadas como parte del sistema de resistencia a fuerzas sísmicas, ya que la Sección 18.14.3.3 exige que se cumpla con la Sección 18.7.4.3. Sin embargo, dada la gran cantidad de configuraciones (o condiciones) posibles para este tipo de columnas, este tema no se aborda en este artículo.

En algunas aplicaciones (por ejemplo, estructuras de estacionamiento de mediana altura), los ingenieros han descubierto que la única manera de cumplir con esta disposición es usar muchas barras de diámetro pequeño (para reducir ℓ_d), de modo que el uso de pórticos especiales resistentes a momentos ya no es práctico debido a la congestión (particularmente en los puntos donde se empalman las barras de las columnas). Por ejemplo, en una estructura de estacionamiento de ocho pisos, una columna de 45 x 76 cm diseñada según el Código ACI-318-14⁸ requería 18 barras longitudinales N.º 11, Grado 80. Sin embargo, se requerían 30 barras longitudinales N.º 8, Grado 80 según el Código ACI-318-19, Sección 25.4.2.4, para calcular ℓ_d con $(c_b + K_{tr})/d_b = 2.5$. Se observa que es común en pórticos de momento especiales y columnas de gravedad (según la Sección 18.14.3.3) que el término $(c_b + K_{tr})/d_b$ alcance el límite de 2.5, por lo que no se puede aumentar el refuerzo transversal para reducir ℓ_d . Además, aumentar la resistencia del concreto podría no ser una opción,

ya que, en la mayoría de los diseños modernos, son comunes resistencias del concreto de 8 a 10 ksi, ℓ_d es proporcional a $\sqrt{f'_c}$ y la resistencia a la compresión f'_c está limitada a 10 000 psi para el cálculo de ℓ_d .

Finalmente, dado que ℓ_d es significativamente mayor para las barras de Grado 80 y 100, el requisito de ruptura de adherencia de la Sección 18.7.4.3 puede limitar el uso de barras de refuerzo de alta calidad.

Para permitir un estudio exhaustivo de los factores que influyen en el comportamiento de la ruptura de enlaces, se revisó la literatura existente para identificar datos de ensayos relevantes. Con base en esta revisión, se compiló y estudió una base de datos de 79 ensayos de columnas y vigas para desarrollar una disposición alternativa para la ruptura de enlaces, disposición adoptada en la Sección 18.7.4.3 del Código ACI 318-25.9. Los detalles de este estudio se resumen en las siguientes secciones.

Revisión documental y conjunto de datos

Se recopiló un conjunto de datos de 79 especímenes de prueba (15 columnas y 64 vigas). Los datos provinieron principalmente de ensayos realizados en Japón (Ishitobi et al.¹⁰, Senda et al.¹¹, Tanaka et al.¹², Nagai et al.¹³, Takimi y Eto¹⁴, Wakabayashi y Minami¹⁵, y Oribe et al.¹⁶); sin embargo, también se realizaron varios estudios relevantes en Estados Unidos (por ejemplo, Sokoli y Ghannoum³ y Abdullah et al.¹⁷). Las propiedades del material de la muestra de prueba (Fig. 2) generalmente variaron de 60 a 120 ksi para el esfuerzo de fluencia f_y del refuerzo longitudinal y de 3 a 9 ksi para f'_c . Los diámetros de las barras longitudinales para los ensayos variaron del n.º 4 al n.º 10 (0.5 a 1.27 pulg.).

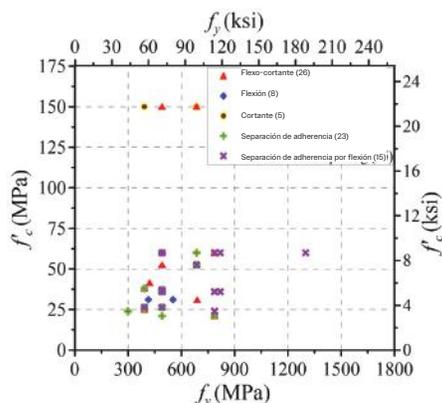


Fig. 2: Distribución del modo de falla, la resistencia del concreto y la resistencia a la fluencia del refuerzo de las probetas de ensayo en la base de datos.

Para las muestras de columna, las razones de carga axial variaron de 0.09 a 0.36 $A_g f'_c$ con una media de 0.23 $A_g f'_c$ donde A_g es el área transversal total de la columna o viga. Todas las muestras se probaron en una configuración de prueba de doble curvatura, con razones de luz de corte ℓ_n/h que variaron de 2.0 a 4.67, con una media de 3.6, donde ℓ_n es la luz libre medida cara a cara de los soportes y h es el espesor, la altura o la profundidad del elemento. La Fig. 2 indica los modos de falla en relación con las resistencias del material. Los modos de falla observados incluyeron: 1) falla por flexión (que implica aplastamiento del concreto, por ejemplo, falla por compresión por flexión); 2) falla por corte (falla por tensión diagonal); 3) falla por flexión-corte (fluencia por flexión seguida de falla por tensión diagonal); 4) separación de la adherencia (sin fluencia por flexión); y 5) rotura por flexión-adherencia (fluencia por flexión seguida de rotura por adherencia).

Análisis y evaluación de datos del Código ACI-318-19, Sección 18.7.4.3

Los datos de los ensayos se utilizaron para evaluar la influencia de $(\ell_u/2)/\ell_d$ en el modo de falla y la capacidad de deformación de la columna, así como para evaluar si se podían utilizar enfoques alternativos (por ejemplo, la cantidad de refuerzo transversal proporcionado) para abordar las preocupaciones relacionadas con la ruptura de la adherencia. Inicialmente, se revisaron los resultados de tres estudios diferentes con ensayos complementarios, y posteriormente se estudiaron las tendencias de todo el conjunto de datos. Los valores de ℓ_d y K_{tr} se calcularon con base en el Código ACI-318-19, Ec. (25.4.2.4a), utilizando resistencias nominales (especificadas) del material, y Ec. (25.4.2.4b), respectivamente.

Probetas complementarias

Se revisaron los resultados de tres ensayos complementarios de Ishitobi et al.¹⁰. En estos ensayos, la variable principal fue la cantidad de refuerzo transversal, cuantificada mediante el término K_{tr} del Código ACI-318-19. Las tres probetas presentaron el mismo valor de $(\ell_u/2)/\ell_d$ de 1.2, ligeramente inferior al valor de 1.25 requerido por el Código ACI-318-19, Sección 18.7.4.3. Los resultados presentados en la Fig. 3 indican que $(c_b + K_{tr})/d_b$ afectó significativamente el modo de falla observado.

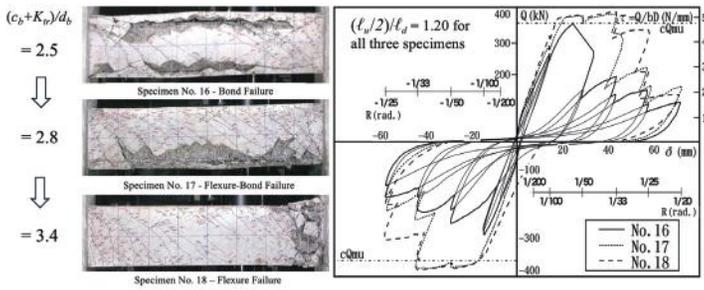


Fig. 3: Modo de falla y comparación carga-deformación de especímenes acompañantes ensayados por Ishitobi et al.¹⁰

Al aumentar $(c_b + K_{tr})/d_b$ de 2.5 a 3.4, el modo de falla de la viga cambió de rotura de la adherencia sin fluencia por flexión, a fluencia por flexión sin fallo de la adherencia, y la rotación del alma de la columna con una pérdida de resistencia del 20 % se duplicó aproximadamente. Los resultados presentados en la Fig. 3 también sugieren que el requisito de la Sección 18.7.4.3 del Código ACI-318-19 podría no prevenir las fallas por ruptura de la adherencia.

Se observaron resultados similares en ensayos complementarios realizados por Tanaka et al.¹² y Nagai et al.¹³, presentados en las Figs. 4 y 5, respectivamente. En ambos estudios, se suprimieron las fallas por ruptura de la adherencia y la capacidad de deformación con pérdida de resistencia aumentó notablemente a medida que $(c_b + K_{tr})/d_b$ aumentó en 0.8. Con base en estas observaciones, se realizaron estudios adicionales para considerar si los requisitos relacionados con $(c_b + K_{tr})/d_b$ podrían utilizarse para abordar las preocupaciones relacionadas con la ruptura de la adherencia.

Datos completos

La Figura 6 presenta los modos de falla para todos los ensayos frente a los valores de $(c_b + K_{tr})/d_b$ y $(\ell_u/2)/\ell_d$, e indica que la ruptura de la adherencia sin fluencia por flexión se produce para valores de $(\ell_u/2)/\ell_d$ de 0.5 a 2.0. Esta observación sugiere que el requisito del Código ACI 318-19 de que $1.25\ell_d \leq \ell_u/2$,

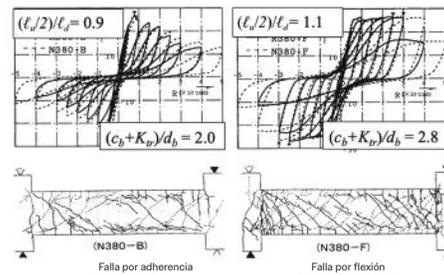


Fig. 4: Modo de falla y comparación carga-deformación de especímenes acompañantes ensayados por Tanaka et al.¹²

por sí solo, no previene las fallas frágiles por ruptura de la adherencia. Los resultados presentados en la Fig. 6 también indican que las fallas por ruptura de la adherencia con fluencia por flexión se producen para valores de $(c_b + K_{tr})/d_b < 3.5$; sin embargo, la fluencia por flexión (con o sin ruptura de la adherencia) se produce para valores de $(c_b + K_{tr})/d_b < 3.5$.

Los valores de rotación del núcleo de la columna de las probetas con una pérdida de resistencia lateral del 20 % (capacidad de rotación) frente a los valores de $(c_b + K_{tr})/d_b$ y $(\ell_u/2)/\ell_d$ indican que existe una fuerte correlación entre la capacidad de rotación y $(c_b + K_{tr})/d_b$ (Fig. 7(a)), pero solo una correlación leve entre la capacidad de rotación y $(\ell_u/2)/\ell_d$ (Fig. 7(b)). Las muestras con $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 3.5$ presentan valores de rotación del alma ≥ 0.03 , lo cual se utiliza comúnmente como el nivel mínimo aceptable de capacidad de rotación para las exigencias de MCE_R, obtenido al multiplicar el límite de deriva de piso ASCE 7-16 de 0.02 para las exigencias de Terremoto de Diseño (DE) por 1.5.¹⁸ Por lo tanto, los resultados presentados en la Fig. 7 sugieren que un enfoque alternativo para suprimir las fallas por separación de adherencia sería requerir $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 3.5$. Cabe destacar que aumentar $(c_b + K_{tr})/d_b$ mediante el aumento de K_{tr} también mejora la capacidad de deformación por flexión al mejorar el confinamiento del concreto, la restricción contra el pandeo del refuerzo longitudinal y la resistencia al corte.

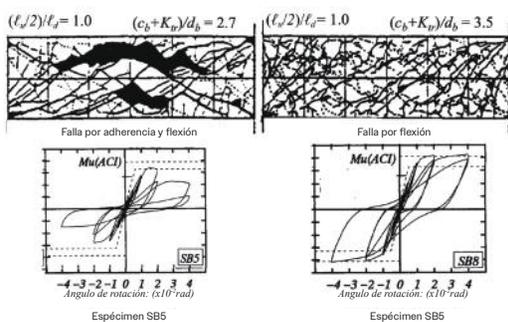


Fig. 5: Modo de falla y comparación carga-deformación de especímenes acompañantes ensayados por Nagai et al.¹³

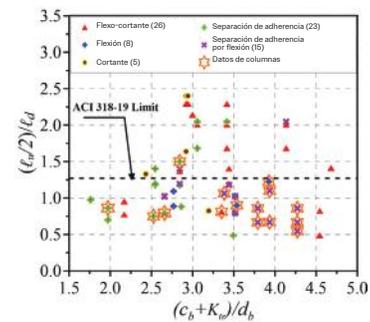


Fig. 6: Variación del modo de falla en función de $(c_b + K_{tr})/d_b$ y $(\ell_u/2)/\ell_d$

Revisión de columnas de edificios existentes

Para evaluar el impacto potencial de requerir un $K_{tr}/d_b \geq 1.2$ para columnas de pórticos resistentes a momentos especiales, se realizó un estudio limitado utilizando tres configuraciones de columna diferentes diseñadas según los Códigos ACI 318-14 y 318-19, Sección 18.7.4.3. Las tres configuraciones de columna fueron proporcionadas por empresas de ingeniería estructural de la Costa Oeste que indicaron que el cumplimiento del Código ACI 318-19 conllevaba problemas de constructibilidad; por ejemplo, al usar un gran número de barras longitudinales de menor diámetro que las requeridas para el diseño del Código ACI 318-14.

Las tres configuraciones de columnas consistieron en: 1) una columna de 40 x 36 pulgadas (con 28 barras No. 11, tirantes No. 5 y $\ell_u = 9.33$ pies) de un edificio residencial de 34 pisos; 2) una columna de 18 x 30 pulgadas (con 18 barras No. 10, tirantes No. 4 y $\ell_u = 9.125$ pies) de una estructura de estacionamiento de ocho pisos; y 3) una columna de 24 x 48 pulgadas (con 14 barras No. 11, tirantes No. 4 y $\ell_u = 6.42$ pies) de una estructura de estacionamiento. El refuerzo transversal para satisfacer los requisitos del Código ACI-318-19, Sección 18.7.5 (confinamiento y pandeo de las barras de refuerzo) y Sección 18.7.6 (resistencia al corte), se evaluó sobre ℓ_o (la longitud, medida desde la cara de la junta a lo largo del eje del elemento, sobre la cual se debe proporcionar un refuerzo transversal especial) y ℓ_u , respectivamente.

Para determinar la demanda de cortante de la columna V_e para la Sección 18.7.6, se seleccionaron varias relaciones de carga axial de columna ($P_u = 0$ a $P_u = P_b$, la carga axial equilibrada) para calcular la capacidad nominal de momento de la columna M_{nc} , mientras que los valores de M_{nb} para las vigas que se integran en la unión en la parte superior e inferior de la columna se seleccionaron de manera que $\sum M_{nb} = (5/6)\sum M_{nc}$ y $\sum M_{nb} = (1.0/1.4)\sum M_{nc}$. El valor de (5/6) se basa en la resistencia mínima requerida a la flexión de la columna (Código ACI-318-19, Sección 18.7.3.2), mientras que el segundo valor (1.0/1.4) se utiliza para considerar vigas más débiles, lo que producirá un valor menor de K_{tr} requerido. Para cada caso, la capacidad de momento probable de la viga $M_{pr,b}$ y la fuerza cortante de diseño para combinaciones de carga que incluyen efectos sísmicos V_e se calculan como $1.25M_{nb}$ y $2M_{pr,b}/\ell_u$, respectivamente, para determinar el refuerzo

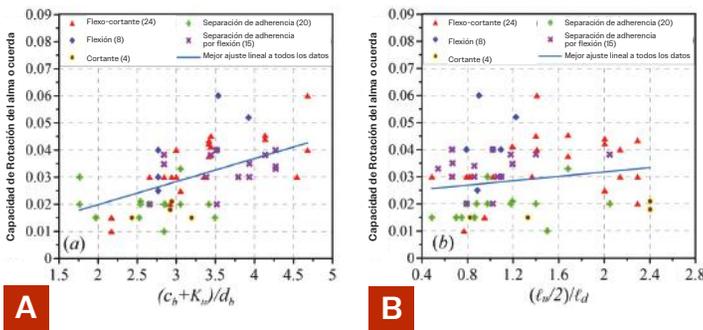


Fig. 7: Impacto de: (a) $(c_b + K_{tr})/d_b$; y (b) $(\ell_u/2)/\ell_d$ en la capacidad de rotación del alma o de la cuerda.

Los valores de c_b/d_b para un recubrimiento mínimo de concreto de 1.5 pulg., Estribos n.º 4 (0.5 pulg. de diámetro) y tamaños de barra del n.º 8 al n.º 11 (1.0 a 1.41 pulg.) oscilan entre 2.50 y 1.92 pulg., respectivamente. Por lo tanto, en algunos casos, se podrían lograr valores de $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 3.5$ con solo aumentos moderados del recubrimiento de concreto. Sin embargo, los resultados presentados en las figuras 3 a 5 indican que se logró una mayor capacidad de rotación al aumentar K_{tr}/d_b (ya que c_b/d_b se mantiene constante en todos los ensayos).

Además, estudios previos^{6,19,20} indican que el refuerzo transversal adicional es más eficaz para prevenir el deterioro de la adherencia bajo grandes demandas inelásticas que un recubrimiento de concreto adicional. Por lo tanto, en el Código ACI CODE-318-25, se adoptó el requisito de que $K_{tr}/d_b \geq 1.2$ en lugar de utilizar el término $(c_b + K_{tr})/d_b$ para suprimir las fallas por separación de la adherencia y lograr capacidades de rotación del alma de aproximadamente 0.03 (Fig. 8).

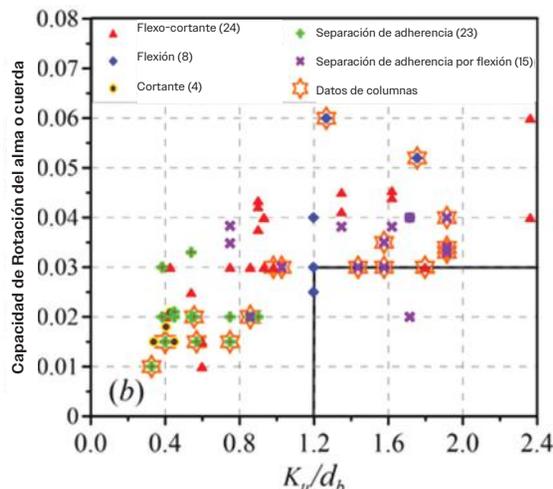


Fig. 8: Correlación de K_{tr}/d_b con $(c_b + K_{tr})/d_b$ y la capacidad de rotación o deriva del alma.

transversal requerido sobre lo (Código ACI 318-19, Sección 18.7.6.2) medido desde la cara de la junta a lo largo del eje del miembro, y entre las regiones lo (Código ACI 318-19, Sección 18.7.6.1) para lograr la resistencia cortante nominal $\phi V_n \geq V_e$ utilizando ACI Código 318-19, Sección 22.5. Posteriormente, se determinó el refuerzo transversal requerido para cumplir con el Código ACI 318-19, Sección 18.7.5 sobre ℓ_o . Los valores resultantes de K_{tr}/d_b se grafican en la Fig. 9 e indican que los valores mínimos de K_{tr}/d_b para las tres configuraciones de columna investigadas satisfacen o casi satisfacen el requisito propuesto de que $K_{tr}/d_b \geq 1.2$. Este estudio limitado indica que lograr un $K_{tr}/d_b \geq 1.2$ probablemente no requiera un refuerzo transversal mayor (o significativamente mayor) que el que ya se proporciona para las columnas de pórticos resistentes a momento.

Conclusiones y recomendaciones

Se revisaron los resultados de los ensayos de vigas y columnas para evaluar los requisitos del Código ACI-318-19, Sección 18.7.4.3, sobre el comportamiento de la ruptura de adherencia en columnas de pórticos de momento especiales, e investigar las variables de ensayo que influyen en dicho comportamiento. Las observaciones y recomendaciones basadas en la revisión y el análisis de datos incluyen:

- El requisito del Código ACI-318-19, Sección 18.7.4.3, generalmente resulta en diseños de columnas con un gran número de barras longitudinales de menor diámetro, lo que podría causar problemas de constructibilidad y limitar el uso de barras de Grado 80 y 100;
- El requisito del Código ACI-318-19, Sección 18.7.4.3, de que $1.25\ell_d \leq \ell_u/2$ no excluye fallas por ruptura de adherencia en vigas y columnas; El término $(c_b + K_{tr})/d_b$ influye significativamente en el comportamiento de la separación de adherencia y, para valores de $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 3.5$, las fallas por separación de adherencia generalmente se suprimen antes de alcanzar valores de rotación del alma de la columna de al menos 0.03. Sin embargo, para priorizar el refuerzo transversal sobre el recubrimiento de concreto o el espaciamiento entre barras, en lugar de requerir $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 3.5$, se utiliza un valor de $K_{tr} \geq 1.2d_b$ en el Código ACI-318-25, Sección 18.7.4.3; y

- Los requisitos existentes en las Secciones 18.7.5 y 18.7.6 para pórticos especiales de momento y de detalle de pórticos de gravedad en la Sección 18.14.3.3 probablemente resulten en valores de $K_{tr} \geq 1.2d_b$.

Actualización de la sección 18.7.4.3

El Código ACI-318-25, Sección 18.7.4.3, establece: “Sobre la altura libre de la columna, se deberá cumplir (a) o (b):

(a) El refuerzo longitudinal se seleccionará de manera que $1.25\ell_d \leq \ell_u/2$.

(b) El refuerzo transversal se seleccionará de manera que $K_{tr} \geq 1.2d_b$ ”.

Mientras que la Sección R18.7.4.3 del Comentario explica:

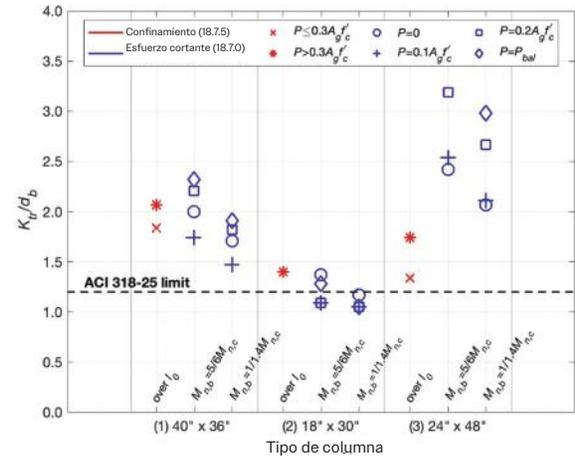


Fig. 9: Comparación de K_{tr}/d_b para tres columnas de edificios existentes

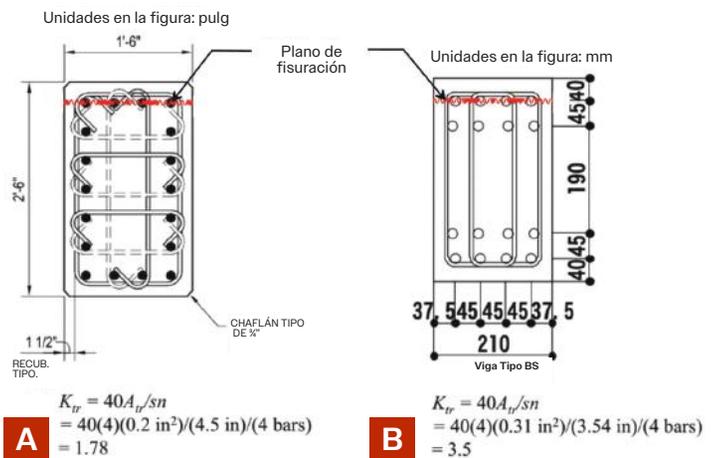


Fig. 10: Cálculos de ejemplo de K_{tr} ; (a) columna de un edificio existente; y (b) espécimen de prueba de viga de Ishitobi et al.¹⁰

“La falla por desprendimiento de adherencia a lo largo de las barras longitudinales dentro de la altura libre de la columna puede ocurrir bajo demandas sísmicas (Ichinose 1995⁵; Sokoli y Ghannoum 2016³).

El desprendimiento se puede controlar restringiendo el tamaño de las barras longitudinales, aumentando la cantidad de refuerzo transversal o aumentando la resistencia del concreto; todo lo cual reduce la longitud de desarrollo de las barras longitudinales (ℓ_d) sobre la altura libre de la columna ℓ_u ”.

Ejemplo del calculo de K_{tr}

El término $(c_b + K_{tr})/d_b$ se introdujo en el Código ACI-318-95²¹ con base en el estudio realizado por Orangun et al.¹⁹. Según Orangun et al.¹⁹, K_{tr} debe calcularse para un plano de división definido por la capa de barras de tracción a flexión más alejada de la fibra de compresión a flexión extrema. Los valores de K_{tr} calculados según el Código ACI-318-19 se muestran en la Fig. 10 para dos ejemplos: una columna de un edificio existente proporcionada por empresas de ingeniería estructural de la Costa Oeste (Fig. 10(a)) y una probeta de viga (Fig. 10(b)) de Ishitobi et al.¹⁰.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros del Subcomité 318-H del ACI, Disposiciones Sísmicas, y del Comité 318 del ACI, Concreto Estructural Código de Edificación, por sus valiosos comentarios sobre el enfoque propuesto. El trabajo aquí presentado se vio influenciado y mejorado gracias a sus comentarios en diversas reuniones del comité.

Referencias

- Haselton, C.B.; Leil, A.B.; Deierlein, G.G.; Dean, B.S.; y Chou, J.H., “Seguridad frente al colapso sísmico de edificios de hormigón armado.
- I: Evaluación de marcos de momento dúctil”, Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 137, n.º 4, septiembre de 2010.
- Elwood, K.J.; Maffei, J.M.; Riederer, K.A.; y Telleen, K., “Mejora del confinamiento de columnas – Parte 2: Nuevas disposiciones propuestas para el Código de Edificación ACI 318”, Concrete International, V. 31, n.º 12, diciembre de 2009, págs. 41-48.
- Sokoli, D., y Ghannoum, J., “Refuerzo de alta resistencia en columnas sometidas a altos esfuerzos cortantes”, ACI Structural Journal, vol. 113, n.º 3, mayo-junio de 2016, págs. 605-614.
- Comité 318 del ACI, “Requisitos del Código de Construcción para Hormigón Estructural (ACI 318-19) y Comentario (ACI 318R-19)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 págs.
- Ichinose, T., “Falla por desprendimiento de adherencia en columnas sometidas a acción sísmica”, ACI Structural Journal, vol. 92, n.º 5, septiembre-octubre de 1995, págs. 535-541.
- Comité 408 del ACI, “Informe sobre la adherencia de las barras de refuerzo de acero bajo cargas cíclicas (ACI PRC-408.2-12)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2012, 35 págs.
- Moehle, J., Diseño sísmico de edificios de concreto reforzado, primera edición, McGraw-Hill Education, 2015, 760 págs.
- Comité 318 del ACI, “Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural (ACI 318-14) y Comentario (ACI 318R-14)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2014, 520 págs.
- Comité 318 del ACI, “Requisitos del Código de Construcción para Hormigón Estructural: Requisitos del Código y Comentarios (ACI CODE-318-25)”, Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 2025, 699 págs.
- Ishitobi, N.; Hirano, N.; Nakano, K.; y Matsuzaki, I., “Estudio experimental sobre el rendimiento estructural de vigas de hormigón armado utilizando áridos artificiales multifuncionales”, Actas del Instituto Japonés de Hormigón, Vol. 25, N.º 2, 2003, págs. 451-456 (en japonés).
- Senda, K.; Ishitobi, N.; Sugiyama, T.; y Matsuzaki, I., “Estudio experimental sobre el rendimiento estructural de vigas de hormigón de ultraalta resistencia (clase de 150 MPa)”, Actas del Instituto Japonés de Hormigón, vol. 26, n.º 2, 2004. (en japonés)
- Tanaka, R.; Hatoyama, N.; Tadaki, Y.; Nishiura, N.; y Ohaga, Y., “Un estudio sobre estructuras de hormigón armado que utilizaron hormigón con áridos reciclados – Parte 1 Experimentos de vigas para detectar fallos por flexión, cortante y adherencia”, Revista de Ingeniería Estructural y de la Construcción del Instituto Japonés de Arquitectura, n.º 518, 1999, págs. 79-86. (en japonés)
- Nagai, S.; Kato, T.; y Bessho, S., “Estudio experimental del código de construcción de hormigón armado de gran altura”, por sus valiosos comentarios sobre el enfoque propuesto. El trabajo presentado aquí se vio influenciado y mejorado gracias a sus comentarios en diversas reuniones del comité.
- Takami, S. y Eto, H., “Experimentos sobre la División de la Adherencia y la Fractura de Vigas Reforzadas Multicapa”, Actas Anuales de la Sociedad de Ingeniería del Hormigón, vol. 22, n.º 3, 2000 (en japonés).
- Wakabayashi, M. y Minami, K., “Comportamientos Elástico-Plásticos de Columnas y Pórticos de Hormigón Reforzados Diagonalmente” (Parte 3)”, Informe Anual del Instituto de Investigación para la Prevención de Desastres, V. 26, N.º B-1, 1983, págs. 263-275. (en japonés)
- Oribe, Y.; Hibino, Y.; Ichinose, T.; Miyata, H.; Kaneko, K.; y Kusuhashi, F., “Evaluación de la resistencia última al corte de elementos de hormigón armado con refuerzo de corte de alta resistencia basada en la condición de establecimiento del mecanismo de celosía”, Actas de la Conferencia de Investigación Arquitectónica AIJ Chugoku, N.º 44, 2021, págs. 81-84. (en japonés)
- Abdullah, S.A.; Aswegan, K.; Klemencic, R.; y Wallace, J.W., “Rendimiento sísmico de vigas de acoplamiento de hormigón sometidas a demandas de viento no lineales previas”, Engineering Structures, vol. 268, octubre de 2022.
- ASCE/SE 7-16, “Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras”, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2017, 800 págs.

19. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; y Breen, J.E., “Reevaluación de los datos de prueba sobre longitud de desarrollo y empalmes”, ACI Journal Proceedings, vol. 74, n.º 3, marzo de 1977, págs. 114-122.
20. Eligehausen, R., “Adherencia en empalmes traslapados de tracción de barras acanaladas con anclajes rectos”, Publicación 301, Instituto Alemán de Hormigón Armado, Berlín, Alemania, 1979, 118 págs. (en alemán)
21. Comité ACI 318, “Requisitos del Código de Construcción para Hormigón Estructural (ACI 318-95) y Comentario (ACI 318R-95)”, Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 1995, 369 págs.

Saman A. Abdullah, Miembro del ACI, es Profesor en el Departamento de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de Sulaimani, en Sulaymaniyah, Kurdistán, Irak. Es miembro del Comité 374 de ACI, Diseño Sísmico Basado en Desempeño de Edificios de Concreto, y de los Subcomités 318-H, Disposiciones Sísmicas, y 369-F, Rehabilitación. También ha participado en el Subcomité 318-1W, Disposiciones sobre Viento. Sus intereses de investigación incluyen el diseño sísmico y por viento de estructuras de concreto, así como las pruebas de laboratorio.



Miki Mori, Miembro del ACI, es estudiante de doctorado en Ingeniería Estructural/Sísmica en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA), Los Ángeles, CA, EE. UU. Obtuvo su licenciatura en la Universidad de Keio, Yokohama, Japón, y su maestría en la Universidad de Tokio, Tokio, Japón. Sus intereses de investigación incluyen el diseño para recuperación funcional, la evaluación de daños posteriores a sismos y el monitoreo de salud estructural.



John W. Wallace, FACI, es Profesor Distinguido de Ingeniería Civil en UCLA. Fue presidente del Subcomité 318-H de ACI, Disposiciones Sísmicas, y es miembro de los Comités 318, Código de Edificación de Concreto Estructural; 369, Reparación y Rehabilitación Sísmica; y 374, Diseño Sísmico Basado en Desempeño de Edificios de Concreto. Sus intereses de investigación incluyen la respuesta y diseño de edificios y puentes ante acciones sísmicas, las pruebas de laboratorio y de campo de componentes y sistemas estructurales, y el monitoreo sísmico de la salud estructural.



Título original en inglés:
Column Bond-Splitting Failures.
Updates to ACI CODE-318-25, Section
18.7.4.3

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



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

Comentarios adicionales sobre el acondicionamiento por humedad de las muestras de núcleos de concreto

P. En la sección de Preguntas y Respuestas del mes de febrero de 2025 de la revista *Concrete International (CI)*, se habla sobre la importancia del acondicionamiento apropiado de humedad para las muestras de los núcleos de concreto. Sin embargo, todavía me confunden saber cuáles son los requerimientos actuales de la norma ASTM C42/C42M² en cuanto a la perforación, transportación, preparación final (exposición al agua) y duración del acondicionamiento de humedad. ¿Podría profundizar en el tema? Asimismo, la norma permite otros tipos de acondicionamiento de humedad. ¿Podría explicar cuándo y por qué un especificador debería cambiar los requerimientos de acondicionamiento de humedad? Además le comento que Adam Neville en su artículo “Core Tests: Easy to Perform, Not Easy to Interpret”³ [Pruebas de núcleos de concreto: fácil de realizar, no fáciles de interpretar] publicado en el número de noviembre de 2001 de la misma revista *Concrete International* favorece las pruebas de núcleos después de inmersión en agua durante un período suficientemente prolongado para evitar la presencia de gradientes de humedad. ¿Bajo qué circunstancias sería ésta una opción viable de acondicionamiento de humedad para una muestra de núcleos de concreto?

R. Para responder a estas preguntas, quizás sería mejor regresar casi 25 años cuando Neville escribió su artículo³. En ese tiempo, estaban teniendo lugar cambios significativos con los requerimientos de acondicionamiento de núcleos tanto en la norma ASTM C42/C42M como en el código ACI-318 entre sus versiones de 1999^{4,5} y sus actualizaciones de principios de 2000. Antes de 2002, los núcleos podían acondicionarse humedeciéndolos en agua o secándolos con aire en el laboratorio y la duración del acondicionamiento podía variar entre 2 y 7 días.

El código ACI-318-99, Sección 5.6.5.3, indica que los núcleos de concreto deben:

- Estar sumergidos en agua durante por lo menos 40 horas antes de la prueba y deben probarse mojados si los núcleos son del tipo de concreto que estará más que superficialmente mojado bajo condiciones de servicio; o
- Probarse secos después de 7 días se secase con aire de 60 a 80°F (16 a 27°C) y a una humedad relativa inferior al 60% si el concreto estará seco bajo condiciones de servicio.

En tanto que la norma ASTM C42/C42M-99, Sección 7.3, indicaba que:

- Los núcleos deberán acondicionarse de la forma más representativa a las condiciones de servicio; y
- Si las condiciones de servicio son secas, entonces los núcleos se prueban en la “condición en la que se recibieron”, o en una “condición seca”, de la siguiente forma:
 - “Condición en la que se recibieron”: Después de la perforación, transporte los núcleos al laboratorio de pruebas dentro de las siguientes 24 horas posteriores, seque los núcleos durante 12 a 24 horas de 60 a 80°F y a una humedad relativa menor a 50% y pruébelos dentro de las 48 horas siguientes a su recepción.
 - “Condición Seca”: Pruebe los núcleos después de 7 días de secar al aire de 60 a 80°F y a una humedad relativa inferior a 60%.

En esa época, empezaba a ser evidente que las mismas muestras de concreto probadas bajo diferentes condiciones de humedad durante periodos variables producían resistencias a la compresión significativamente distintas. La investigación realizada por Bartlett y MacGregor⁶ identificó que podría haber una diferencia de hasta 14% en la resistencia entre núcleos que se secan con aire y núcleos sumergidos, de conformidad con Código ACI-318-89⁷ y la norma ASTM C42/C42M-90⁸, siendo los núcleos secados al aire los que presentaban valores más altos. También se encontró que los núcleos sumergidos estaban 9% más abajo que los núcleos probados en una condición de “tal como se recibieron”. Los investigadores identificaron que las diferencias observadas en resistencias medidas fueron atribuibles a un efecto de gradiente de humedad inducido en la muestra por la elección y duración del acondicionamiento de la humedad entre la perforación y la prueba. Se determinó que los períodos de secado y humedad recomendados por la norma ASTM C42/C42M-90 y el ACI-318-89 no fueron lo suficientemente prolongados para

promover una condición de humedad uniforme dentro de las muestras del núcleo antes de la prueba. El efecto de estos tratamientos realmente creó un gradiente de humedad artificial que sesga los resultados de la prueba.

Como seguimiento a los hallazgos de Bartlett y MacGregor⁶, Fiorato et al. condujeron un estudio similar entre 1999 y el año 2000⁹. En ese estudio, los paneles de muro colados del mismo lote de concreto se extrajeron a los 28 días. Las muestras de prueba se acondicionaron sumergiéndolas, secándolas al aire o secándolas con telas y colocándolas en bolsas de plástico. Las muestras de cada método de acondicionamiento se probaron a 1 día y a los 2, 7, 14, 28 y 56 días. Las muestras cilíndricas moldeadas del mismo lote de concreto se utilizaron como controles para comparación con los núcleos acondicionados. La Figura 1 muestra la variación significativa que puede ocurrir debido a gradientes de humedad inducidos artificialmente en etapas tempranas. Estos resultados fueron congruentes con los de Bartlett y MacGregor⁶, ya que los núcleos secados al aire produjeron los resultados más altos, seguidos por las muestras embolsadas (tal como se recibieron), y las sumergidas. Ambos estudios identificaron que las variaciones en la resistencia fueron particularmente significativas durante los primeros 7 días después de la extracción. Los núcleos sumergidos por menos de 28 días produjeron resistencias artificialmente bajas en comparación con los cilindros de control.

Respecto al período de acondicionamiento suficientemente prolongado para evitar la presencia de gradientes de humedad, los datos de Fiorato et al. indican que las muestras secadas al aire, embolsadas y sumergidas no son casi equivalentes entre sí sino hasta que se acondicionan durante por lo menos 28 días⁹. Desafortunadamente, en la industria de la construcción no resulta práctico esperar 28 días para obtener resultados cuando existe una preocupación por la resistencia. Observe que las muestras embolsadas, que tuvieron el gradiente de humedad más uniforme de las muestras acondicionadas, fueron las que se rastrearón bien y más rápido con las muestras cilíndricas de control (dentro de los 7 días). Esta es la razón por la que en los últimos 20 años o más el acondicionamiento de los núcleos embolsándolos o colocándolos en contenedores sellados se ha recomendado más que los métodos de acondicionamiento por humedecimiento y secado al aire.

Antes de 2002, los documentos de la industria no abordaban el concepto de gradientes de humedad interna que impactaba los resultados de pruebas de núcleos medidos. Los hallazgos de Bartlett y MacGregor⁶ respecto al gradiente de humedad se adoptaron por primera vez en Código ACI-318-02¹⁰ seguidos de la norma ASTM C42/C42M-03¹¹.

El Código ACI-318-02, Sección de Comentarios R5.6.5 estipuló: “Un núcleo obtenido mediante el uso de una broca enfriada con agua da por resultado un gradiente de humedad entre el exterior y el interior del núcleo que se crea durante la perforación. Esto afecta de manera adversa la resistencia a la compresión del núcleo⁶. La restricción al inicio de la prueba del núcleo proporciona un tiempo mínimo para que el gradiente de humedad se disipe”.¹⁰

A su vez la norma ASTM C42/C42M-03, Sección 7.3, explicó:

“Los procedimientos de acondicionamiento de la humedad que se especifican en este método de prueba tienen el propósito de conservar la humedad del núcleo perforado y proporcionan una condición de humedad reproducible que minimiza los efectos de los gradientes de humedad introducidos por el humedecimiento durante la perforación y preparación de los testigos”.¹¹

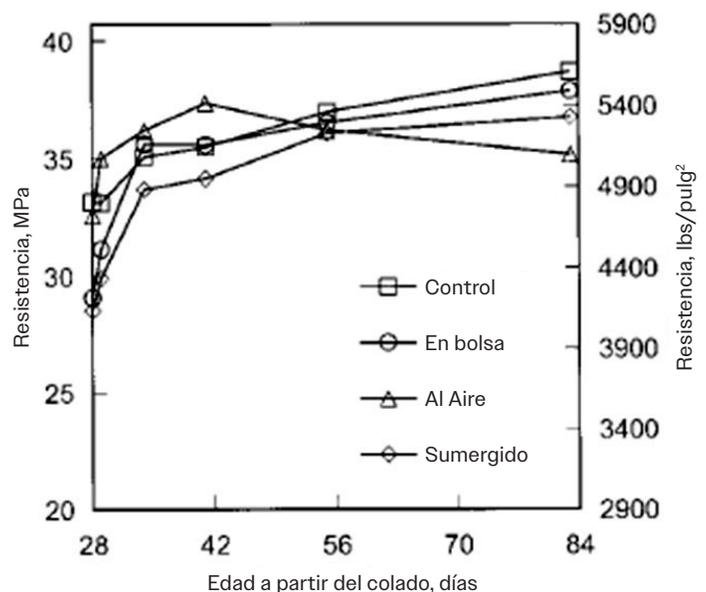


Fig. 1: Influencia de los métodos y duración del acondicionamiento en la resistencia a la compresión de los núcleos de concreto. El eje X representa el tiempo desde el colado. Debido a que los núcleos se extraen en el día 28, esto representa el tiempo cero de acondicionamiento (Fig. 6 en Referencia 9).

A partir de este momento, ambos documentos han requerido que los núcleos de concreto se acondicionen en bolsas o contenedores sellados en lugar de secarse con aire o sumergirse en agua antes de la prueba. Empezando con la actualización de 2003, la norma ASTM C42/C42M también estandarizó la duración del acondicionamiento de la humedad debido a que la investigación mostró que el impacto más significativo sobre la resistencia medida ocurrió durante los primeros días. Desde entonces, la norma ASTM C42/C42M ha requerido que los núcleos se perforen, preparen y prueben dentro de un período total de 7 días. Deberá minimizar la exposición al agua durante la preparación final y completarla dentro de las 48 horas siguientes a la extracción del núcleo. Los núcleos deben acondicionarse por lo menos 5 días después de ser humedecidos y antes de la prueba.

Tal como se determina en las secciones de Preguntas y Respuestas anteriores¹, el error más común e importante que observamos en las pruebas de núcleos de concreto es confundir el concepto de curado con el de acondicionamiento de humedad. Con frecuencia vemos que los núcleos están mojados adentro de las bolsas y/o que hay exceso de agua presente en las bolsas durante el almacenamiento para promover el curado. Es contradictorio, pero esta exposición al agua disminuirá de forma adversa las resistencias debido a los gradientes de humedad inducidos a corto plazo. Esta es la razón por la que se recomienda que los núcleos embolsados se almacenen al aire del laboratorio en lugar de en una sala húmeda para minimizar las probabilidades de que el agua entre en contacto con las muestras debido al acondicionamiento. No obstante, tanto Código ACI-318-25¹² como la norma ASTM C42/C42M-20 permiten que el especificador invalide los requerimientos estándar de acondicionamiento de humedad. Una circunstancia apropiada para hacer eso podría ser sumergir los núcleos en agua antes de probarlos cuando los núcleos tomados de una estructura estén más que superficialmente mojados en el servicio.

Referencias

1. "Concrete Q&A: Moisture Conditioning of Core Samples," Concrete International, V.47, No. 2, Feb. 2025, pp. 66-68. (Este artículo fue publicado en español en la revista Digital Concreto Latinoamerica en el número correspondiente a Febrero de 2025. Para mayor información ver <https://www.acilatinoamerica.com/post/2025-no-02>)
2. 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.

3. Neville, A., "Core Tests: Easy to Perform, Not Easy to Interpret," Concrete International, V. 23, No. 11, Nov. 2001, pp. 59-68.
4. ASTM C42/C42M-99, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 1999, 4 pp.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 392 pp.
6. Bartlett, F.M., and MacGregor, J.G., "Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths," ACI Materials Journal, V. 91, No. 3, May-June 1994, pp. 227-236.
7. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-89) and Commentary (ACI 318R-89)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 392 pp.
8. ASTM C42/C42M-90, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 1990, 4 pp.
9. Fiorato, A.E.; Burg, R.G.; and Gaynor, R.D., "Effects of Conditioning on Measured Compressive Strength of Concrete Cores," Concrete Technology Today, V.21, No. 3, Dec. 2000, pp. 1-3.
10. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 443 pp.
11. ASTM C42/C42M-03, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA 2003, 5 pp.
12. ACI Committee 318, "Building Code for Structural Concrete – Code Requirements and Commentary (ACI CODE-318-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 pp.

Agradecimiento a Ron L. Kozikowski, North S. Tarr Concrete Consulting, PC, Dover, NH, USA, por proporcionar la respuesta a esta pregunta.

Título original en inglés:
Concrete Q&A.
Further Discussion
on Moisture Conditioning
of Core Samples

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



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



Revisora Técnica:
**Ing. Karla Elizabeth
de la Fuente
Monforte**



ENLACE

ENCUENTRO LATINOAMERICANO DE
CAPÍTULOS ESTUDIANTILES ACI 2025

ING. ONÉSIMO RAMÍREZ CÓRDOVA

PROGRAMA GENERAL

HOTEL CROWNE PLAZA

Monterrey, Nuevo León, México

24 - 27 SEPTIEMBRE, 2025



MIÉRCOLES 24 DE SEPTIEMBRE

HORA	MODERADOR:
08:00 - 09:00	REGISTRO
09:00 - 10:00	INAUGURACIÓN
10:00 - 11:00	CONFERENCIA "AJUSTAR LA REACTIVIDAD DEL MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO PARA UNA REDUCCIÓN ÓPTIMA DEL CARBONO EN EL CONCRETO". DRA. MARIA JUENGER - PRESIDENTA DEL ACI INTERNACIONAL
11:00 - 11:35	COFFEE BREAK
11:35 - 11:45	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN
11:45 - 12:30	CONFERENCIA "NO HAY SUSTENTABILIDAD O DURABILIDAD SIN RESILIENCIA". ING. JOSÉ MIGUEL IZQUIERDO ENCARNACIÓN - EXPRESIDENTE DEL ACI INTERNACIONAL
12:30 - 14:00	COMIDA
14:00 - 14:10	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN
14:10 - 14:55	CONFERENCIA "EVALUACIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE LA PETROGRAFÍA". GEOL. GERARD MOULZOLF - PRESIDENTE DEL ICRI INTERNACIONAL
14:55 - 15:40	CONFERENCIA "AMPLIA TU RED PROFESIONAL Y TUS CONOCIMIENTOS A TRAVÉS DE LA AFILIACIÓN A ASOCIACIONES TÉCNICAS". GEOL. ERIC HAUTH - DIRECTOR EJECUTIVO ICRI INTERNACIONAL
15:40 - 16:30	TIEMPO PARA TRASLADOS A LAS SEDES DE LOS TALLERES
16:30 - 20:00	TALLERES SIMULTÁNEOS:
	1.- TALLER DE MADUREZ - EXACT
	2.- EVALUACIÓN DEL CONCRETO - DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO IIC - UANL
	3.- CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: MATERIALES, DISEÑO Y PRUEBAS - EUCOMEX
NOTA: TODOS LOS TALLERES SE REALIZARÁN FUERA DEL HOTEL SEDE CROWNE PLAZA	

JUEVES 25 DE SEPTIEMBRE

HORA	MODERADOR:
08:50 - 09:00	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN
09:00 - 09:45	CONFERENCIA "¿POR QUÉ LAS ESTRUCTURAS DEBEN SER RESILIENTES Y NO NADA MÁS RESISTENTES Y DURABLES?" DR. SERGIO MANUEL ALCOGER MARTÍNEZ DE CASTRO - PROFESOR E INVESTIGADOR - INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM
09:45 - 10:30	CONFERENCIA "ASPECTOS DE DURABILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO POR VIDA ÚTIL PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA". ING. OSCAR AN TOMMATTEI - DIRECTOR DE INGENIERÍA EN MATERIALES - KIEWIT CORPORATION
10:30 - 11:05	COFFEE BREAK
11:05 - 11:15	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN
11:15 - 12:00	CONFERENCIA "EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO CON EL TIEMPO". DR. ROBERTO STARK - DISEÑADOR ESTRUCTURAL
12:00 - 12:45	CONFERENCIA "BENEFICIOS DE LOS CONCRETOS CON BAJA VISCOSIDAD". MC. JULISSA HIDALGO - DIRECTORA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO PARA LAS AMÉRICAS - SIKA CORPORATION
12:45 - 14:15	COMIDA
14:15 - 14:25	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN
14:25 - 15:10	CONFERENCIA "EL SOPORTE DEL CONCRETO: LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LA CONSTRUCCIÓN". ING. ANDRÉS MATOS - DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - MILLENNIA PROFESSIONAL SERVICES
15:10 - 15:40	ENTREGA DE MEDALLA
15:40 - 16:30	TIEMPO PARA TRASLADOS A LAS SEDES DE LOS TALLERES
16:30 - 18:30	PANEL DE MUJERES
16:30 - 20:00	TALLERES SIMULTÁNEOS:
	1.- PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO "La clave del éxito" - ICCE RENTAS Y SERVICIOS
	2.- TALLER DE FIBRAS SINTÉTICAS - BARCHIP
	3.- ADITIVOS REDUCTORES DE LA CONTRACCIÓN - EUCOMEX
NOTA: TODOS LOS TALLERES SE REALIZARÁN FUERA DEL HOTEL SEDE CROWNE PLAZA	

VIERNES 26 DE SEPTIEMBRE

HORA	MODERADOR:	
08:50 - 09:00	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN	
09:00 - 09:45	CONFERENCIA "RESILIENCIA: EL NUEVO ESTÁNDAR EN LA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE". DR. CESAR CONSTANTINO - DIRECTOR SÉNIOR DE I+D+i Y DE CALIDAD - CHRYSO NORTEAMERICA	CONCURSO DE CILINDROS DE CONCRETO LIGERO FIBRO-REFORZADO
09:45 - 10:30	CONFERENCIA "TORRE RISE: UN ICONO CONCRETO EN EL HORIZONTE REGIONMONTANO". DR. ESTEBAN ASTUDILLO - DISEÑADOR ESTRUCTURAL	
10:30 - 11:05	COFFEE BREAK	
11:05 - 11:15	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN	
11:15 - 13:15	PANEL DE PROFESIONISTAS	
13:15 - 14:45	COMIDA	
14:45 - 14:55	RIFA DE PATROCINADORES CON STAND EN EL ÁREA DE EXHIBICIÓN	
14:55 - 15:40	CONFERENCIA "DURABILIDAD DEL CONCRETO REFORZADO EN ZONAS COSTERAS: RETOS Y SOLUCIONES". DRA. MARGARETH DUGARTE - PROFESORA ASOCIADA - UNIVERSIDAD DEL NORTE, BARRANQUILLA COLOMBIA	
15:40 - 16:30	TIEMPO PARA TRASLADOS A LAS SEDES DE LOS TALLERES	
16:30 - 20:00	TALLERES SIMULTÁNEOS: 1.- NON-DESTRUCTIVE TESTING (NDT) 2.- TALLER INTERNATIONAL CONCRETE REPAIR INSTITUTE (ICRI) 3.- IMPERMEABILIZACIÓN POR CRISTALIZACIÓN - EUCOMEX	
20:00 - 23:00	CENA CLAUSURA	
NOTA: TODOS LOS TALLERES SE REALIZARÁN FUERA DEL HOTEL SEDE CROWNE PLAZA		

SÁBADO 27 DE SEPTIEMBRE

HORA	
09:00 - 10:30	FORO DE PRESIDENTES
10:30 - 18:00	VISITAS TÉCNICAS Y TURÍSTICAS

Visita la página oficial del evento

Conoce todos los detalles

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



[INICIO](#) [SEDE](#) [PROGRAMA](#) [CONCURSOS](#) [TALLERES](#) [REGISTRO](#) [CONTACTO](#)



**ENLACE
2025**

ENCUENTRO LATINOAMERICANO DE CAPITULOS ESTUDIANTILES DEL ACI 2025

MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO
24 - 27 SEPTIEMBRE, 2025
HOTEL CROWN PLAZA

EVENTO EN HOMENAJE AL
ING. ONÉSIMO RAMÍREZ CÓRDOVA (†)
Universidad Popular de la Chontalpa

Colocación con los tiempos

Cómo las colocaciones monolíticas pueden impulsar la eficiencia para los contratistas del presente

Por Seth Ulmer

En una industria de la construcción en constante evolución, los contratistas innovan a través de los equipos que compran y los procesos que implementan. Procesos nuevos –incluso los que eliminan un paso– a menudo generan aumentos dramáticos en productividad y eficiencia. Cuando se trata de concreto, las colocaciones monolíticas son procesos utilizados por contratistas para generar eficiencia. Las colocaciones monolíticas de concreto agilizan los trabajos de bordillo y drenaje de manera simultánea con el pavimento, reemplazando las colocaciones de estos elementos por separado. Si se implementan los equipos y consideraciones correctas, los contratistas pueden cosechar los frutos sin sacrificar la calidad.

Ahorros significativos

Las colocaciones tradicionales con frecuencia requieren que el bordillo y drenaje estén colocados, terminados y curados para delinear el área de pavimentación. Luego, la brigada vuelve para colocar y completar la pavimentación. Una colocación monolítica, o una colocación todo-en-uno, mejora la eficiencia completando el bordillo y drenaje de manera simultánea al pavimento. La obra se completa con una colocación en lugar de dos, ahorrando una cantidad considerable de tiempo, impulsando la productividad y mejorando la rentabilidad.

Buscando nuevas maneras de seguir el paso de la creciente demanda, más contratistas están observando los beneficios de colados monolíticos, especialmente para estacionamientos y calles. Los contratistas que simplifican los rubros más laboriosos, tales como la terminación manual de bordillos y drenajes, perciben el incremento más significativo en eficiencia y a menudo el doble de producción.



Los procesos de colocación monolíticas mejoran la eficiencia completando el pavimentado y perfilado de bordillo y drenaje al mismo tiempo (todas las fotografías son cortesía de Curb Roller Manufacturing)

Siguiendo el rito del progreso

A medida que los contratistas buscan opciones para maximizar la eficiencia, muchos optan por maestras láser para mejorar las capacidades de pavimentación. Su implementación en los mercados ha acelerado notablemente el proceso de nivelación y acabado de grandes superficies de pavimentos. Pero para colados monolíticos, los contratistas pierden eficiencia obtenida con maestras láser si el rubro de bordillo se retrasa. Las brigadas encargadas de la formación y acabado del bordillo manualmente operan a menudo a un ritmo más lento que la nivelación y acabado con láser. La operación completa se desacelera mientras esperan la culminación del bordillo para proseguir en la siguiente sección. Mientras perfiladoras deslizantes pueden ser una opción, su gran tamaño complica los procesos en obras ajetreadas y a menudo son ineficientes para áreas de bordillo relativamente complejas asociadas con colocaciones monolíticas.

Las máquinas de perfilado de bordillo guiadas a pie mantienen el ritmo de producción de maestras láser mientras eliminan la labor física extrema y la necesidad de maquinarias de gran tamaño para bordillos. Estos equipos consisten en un mango acoplado a un tambor metálico que está conectado a una unidad hidráulica. Los equipos manejados por un operador, reducen la intensidad de labor manual de perfilado de bordillo y drenaje, mientras produce resultados consistentes y de alta calidad incluso siendo operado con mínima experiencia. Mientras estos equipos fueron originalmente desarrollados para completar los trabajos de bordillos y drenaje para colocaciones tradicionales, muchos pueden ser modificados para su uso durante colocados monolíticos.



Máquinas de perfilado guiadas a pie con kits monolíticos y equipo de perfilado operado a batería son dos opciones que los contratistas pueden considerar para procesos más eficientes que los realizados de forma manual.

Modelos recientes en esta clase de equipos incorporan energía por batería y diseños creados específicamente para colocaciones monolíticas. Estos equipos combinan los beneficios de máquinas de perfilado de bordillo guiadas a pie con la portabilidad ligera para transportarlo a través de la obra. Las máquinas de perfilado guiadas a pie energizadas por baterías ofrecen fácil maniobrabilidad y transporte gracias a su pequeño tamaño relativo y la falta de cables y mangueras.

Considera un contratista quien fue contratado para instalar un estacionamiento de gran tamaño para una compañía privada. La brigada usó una maestra láser debido al enorme tamaño del proyecto. Trabajaron en turnos nocturnos para limitar la interferencia de tránsito y lograron colocar 1 530 m³ (2 000 yd³) de pavimento por noche. A pesar de esto, la operación fue limitada por la reducida brigada encargada de dar forma al bordillo manualmente entre 91 y 122 m (300 a 400 ft) por noche. Cuando el contratista invirtió en una perfiladora de bordillos guiada a pie con baterías, cubrieron alrededor de 213 m (700 ft) por jornada así alcanzando su objetivo de eficiencia.

Poniendo en marcha los resultados

Las máquinas de maestras láser y perfilado de bordillo guiadas a pie son ideales para proyectos como estacionamientos con grandes cantidades de pavimento y múltiples áreas de bordillo. Sin embargo, una sola máquina que sea capaz de dar forma al bordillo y drenaje de manera simultánea con el pavimentado es ideal para algunas aplicaciones como construcciones o reemplazo de calles. Tradicionalmente, máquinas deslizantes costosas y de gran tamaño son la solución más eficiente si el proyecto coincide con los parámetros de diseño del equipo y tiene suficiente volumen para justificar sus operaciones y costos generales.

Algunos fabricantes ofrecen tambores a la medida para perfiladoras hidráulicas. Estos tambores típicamente alcanzan 5 m (16 ft) de largo, son diseñados para coincidir con formas específicas como media calle incluyendo bordillo y drenaje. Tambores a la medida reemplazan el tubo en los rodillos de perfilado hidráulicos y usan un movimiento rotatorio para dar forma al concreto.

Este método de colocación monolítica es ideal para calles debido a la homogénea y larga forma del pavimento. Es especialmente conveniente para el reemplazo de calles gracias a que permite mantener un carril abierto al tránsito. Después de que la brigada haya terminado una sección de la calle, pueden cambiar el flujo de tránsito para completar el segundo carril. En el pasado, este proceso era solo posible con grandes y costosas perfiladoras deslizantes o con labor manual, pero los tambores personalizados con perfiladoras hidráulicas pueden completar el trabajo por una fracción del costo.

Considera la calidad

Un malentendido común es que las colocaciones monolíticas producen terminaciones de bordillos de baja calidad. Esto puede ocurrir si la brigada enfocada en el pavimentado está dando terminación a mano del bordillo. Estos pueden tener poca experiencia en labores de bordillos y drenaje y podrían priorizar el pavimentado, lo cual es una gran porción del trabajo.

Sin embargo, una ventaja clave de una colocación monolítica es la mayor calidad general si los contratistas utilizan el equipo adecuado. Al reemplazar las labores de bordillos manuales por los sistemas motorizados permiten alcanzar consistencia, resultados cumpliendo especificaciones, incluso con brigadas sin experiencia. El equipo es amigable para el usuario y les permite a los contratistas lograr más con menos trabajo, una ventaja clave en un ambiente de empleo complejo.

“Clima” monolítico es mejor

El clima es una consideración clave al determinar si una colocación monolítica es la solución correcta. Las colocaciones monolíticas se destacan en condiciones climáticas adversas. Como conocerá un experimentado operador de concreto, el clima impone cuándo o cómo colocar concreto de manera eficiente. Gestionar una ventana de colocación pequeña se vuelve menos problemático con un número menor de colocaciones. Con el equipo adecuado, las colocaciones monolíticas pueden duplicar o incluso triplicar la producción y ayudan la maximización del trabajo que las brigadas pueden completar antes del cierre de la duración de la jornada.

A pesar de las ventajas, existen algunos casos donde una colocación monolítica no sería la mejor solución. Por ejemplo, si un proyecto utiliza asfalto como pavimento, el bordillo de concreto y drenaje deben colocarse aparte. Adicionalmente, la colocación monolítica no es ideal cuando el bordillo y el drenaje se deben colocar de manera separada al pavimento. Por ejemplo, en regiones frías donde soluciones salinas se acumulan en el bordillo, los ciclos de congelamiento y descongelamiento degrada el concreto y reduce la vida útil del concreto del bordillo, drenaje y el pavimento.

Colocaciones monolíticas, no monobeneficios

Los contratistas pueden maximizar su inversión en equipos de concreto al adquirir máquinas que incrementan la productividad para una variedad de aplicaciones. Más allá de tambores personalizados para las colocaciones monolíticas, los perfiladores hidráulicos también se pueden acompañar con tuberías estándar para perfilar el pavimento para proyectos como calles y andenes. Las máquinas de perfilado guiadas a pie tienen múltiples opciones de tambores y pueden completar el bordillo y drenaje para colocaciones tradicionales. Además, las máquinas perfiladoras guiadas a pie con baterías pueden completar de manera efectiva trabajos de reparación y complementan equipos deslizantes completando esquinas y radios cerrados.

Los requerimientos de la industria de la construcción están cambiando rápidamente. Existe una gran demanda de trabajo y los contratistas pueden capitalizarlas al mejorar sus procesos e incrementarsucapacidadimplementandosoluciones innovadoras. Las colocaciones monolíticas no son la solución correcta para todos los proyectos de concreto. Pero contando con el equipo correcto y la aplicación adecuada, las colocaciones monolíticas podrían conducir una operación a máxima eficiencia.
-Curb Roller Manufacturing, www.curbroller.com



Para colocaciones de concreto monolítico los contratistas se benefician al usar una máquina de manera simultánea para dar forma al bordillo, drenaje y pavimento. Esta capacidad se presenta en forma de un tambor personalizado con una regla hidráulica.

Seth Ulmer es un gerente de ventas en Curb Roller Manufacturing, LLC, y es un líder en concretos de pisos rodados Ulmer se unió a Curb Roller Manufacturing después de una década trabajando en la industria del concreto y construcción.



Título original en inglés:
TechSpotlight.
Placing with the Times.
How monolithic placements can drive
efficiency for today's contractors

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
República Dominicana**



*Traductor y
Revisor Técnico:*
Ing. Piero Caputo

Concreto curado internamente: Apoyando al personal, los ingredientes y al País

Por Daron Brown

En 2020, la Autoridad del Valle de Tennessee (TVA, por sus siglas en inglés) inició reparaciones en las losas del puente de la Represa Wilson en Muscle Shoals, Alabama, EE. UU., un sitio histórico y la única represa hidroeléctrica neoclásica construida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. dentro del sistema de la TVA. Según Ben Byard, director del Programa de Puentes de TVA y Gerente de Activos e Instalaciones, el objetivo era proporcionar una losa de puente con una vida útil de 100 años, y el concreto curado internamente fue “una excelente manera de lograrlo”¹.

Si bien el curado interno proporciona varios beneficios de desempeño al concreto tras el curado convencional, también puede favorecer la colocación en obra al mitigar condiciones no óptimas como el calor extremo, la baja humedad y la luz solar directa, que pueden acelerar la evaporación del agua y dar lugar a una estructura de concreto deficiente. La losa del puente de la Represa Wilson presenta un alto riesgo en este sentido. Está sin cubierta y sujeta al calor de Alabama, donde los promedios mensuales superan las temperaturas ideales de curado durante más de la mitad del año. Tanto la losa de puente a construir como su proceso de construcción apuntan al curado interno no solo como una alternativa viable, sino como una que según Byard, brinda “más valor por tu dinero en términos de desempeño”¹.

Pero antes de meternos en como el curado interno apoya a proyectos de concreto en cada paso del proceso, es importante mencionar el qué es y cómo se puede lograr.

¿Qué diferencia al concreto curado internamente?

El curado interno no es un concepto nuevo en el diseño de concreto. La primera observación moderna fue documentada por Paul Klieger en la década de 1950, quien afirmó que “los agregados livianos absorben una cantidad considerable de

agua durante el mezclado, la cual aparentemente puede transferirse a la pasta durante la hidratación”². Esto fue confirmado por Campbell y Tobin en un artículo de 1967, en el que demostraron que el curado interno producía un concreto más tolerante y menos sensible a condiciones deficientes de curado en sitio^{3,4}.

En general, el curado interno es el proceso de curado del concreto tanto desde su superficie como desde el interior de la matriz del concreto. Esto difiere de los métodos tradicionales, que curan desde la superficie hacia abajo. Cuando el concreto se cura internamente, tiende a presentar menor retracción autógena, menos agrietamiento y mejoras significativas en durabilidad. Como resultado, el concreto curado internamente suele tener una vida útil más larga que el curado de forma convencional, como lo documenta la Administración Federal de Carreteras (FHWA por sus siglas en inglés) en su revisión de procesos y sus beneficios de 2023⁵.

Mientras los beneficios del curado interno pueden ser variados y complejos, preparar una mezcla para que cure internamente es relativamente simple. Esto es porque facilitar el curado interno solo requiere el uso extra de agua distribuida extendidamente en la mezcla. ACI define el curado interno como “un proceso por el cual continúa la hidratación del cemento gracias a la disponibilidad de agua interna que no forma parte del agua de mezclado”⁶ y ha establecido recomendaciones específicas en el informe ACI PRC-308-213-13(22)⁷.

Los productores de concreto curado internamente pueden reemplazar un porcentaje de la arena por un volumen equivalente de agregado fino liviano de esquisto, arcilla o pizarra expandida (ESCS) previamente saturado. Este material almacena agua extra en su red interna de poros y la libera lentamente durante el proceso de curado, facilitando una hidratación continua en la matriz del concreto.



El concreto curado internamente ayudó al TVA a alcanzar las metas de resiliencia de la Represa Wilson (foto cortesía de la Autoridad del Valle de Tennessee de los Estados Unidos).



Agregado ligero prehumedecido listo para mezclado (foto de cortesía del Instituto de Agregados Livianos de Esquisto, Arcilla y Pizarra Expandida).

Agua adicional que extiende el curado del concreto

En cuanto a la colocación, la hidratación continua puede contrarrestar condiciones desfavorables de curado en obra. La baja humedad, el calor intenso, la luz solar directa y las malas prácticas de curado pueden acelerar la evaporación del agua, afectando negativamente la calidad del concreto. Esto puede aumentar el agrietamiento a temprana edad, mayor retracción, deformaciones más pronunciadas y una menor resistencia general, todo lo cual impacta la vida útil de la estructura. Con una fuente continua de agua, los agregados livianos prehumedecidos pueden mitigar el impacto de estas condiciones no ideales en las obras y que puedan reducir la calidad del concreto.

Un estudio de 2011 documentó que las mezclas curadas internamente presentaron un 16 % más de hidratación que sus contrapartes curadas superficialmente⁸. Esta hidratación adicional permite una tasa constante y óptima incluso en condiciones que cause la evaporación rápida del agua. El estudio reporta que cuando fue impráctico conseguir el ambiente ideal para el curado, "... el curado interno fue capaz de mantener mejores condiciones de curado para la pasta de cemento."

En un estudio de 2020, investigadores encontraron que el curado interno puede potencialmente reducir el tiempo requerido de curado en obra, hasta un 50 % según algunas estimaciones.⁹ Como resultado, el concreto curado internamente puede ser favorable en localizaciones y temporadas que experimentan cambios rápidos en las condiciones del clima como también en proyectos en cual métodos convencionales no son óptimos. Es importante recalcar que ambos estudios encontraron que el concreto curado internamente exhibe mayor resistencia a compresión (aproximadamente 19 %) y menor permeabilidad (alrededor del 30 %) que el concreto con curado tradicional.

Menor permeabilidad y mayor vida de servicio

Como se mencionó anteriormente, el curado interno hace más que solo extender el curado en colocaciones del concreto in situ. En un artículo de 2012, Weiss et al.¹⁰ explica como el curado interno puede soportar mezclas más robustas de concreto, como lo confirman estudios posteriores. Los autores identificaron dos formas en que el curado interno con ESCS prehumedecido resulta en un concreto menos permeable:

Primero, el agua almacenada en el agregado prehumedecido puede reponer el agua de exudación. Esto puede reducir o eliminar el estrés capilar para mitigar el agrietamiento por retracción plástica. En caso de formarse grietas en esta etapa, estas tienden a ser más delgadas que aquellas formadas en el curado superficial. Segundo, el curado interno también puede reducir el agrietamiento por retracción autógena o por secado. El agua adicional proveniente del agregado prehumedecido retrasa estos efectos hasta que el concreto tenga suficiente resistencia para soportar el agrietamiento debido al estrés que viene con el curado. Datos del estudio de Schlitter et al.¹¹ en 2010, mostraron que al aumentar el volumen de agregado prehumedecido, el agrietamiento se retrasa hasta alcanzar una asíntota.

Esta reducción en el agrietamiento permite que el concreto de curado interno limite la penetración de cloruros y otros agentes corrosivos. Debido a que el ataque por cloruros es responsable de alrededor del 40 % de las fallas del concreto, reducir la manera en que los cloruros penetran el concreto puede llevar a estructuras de concreto más durables y con mayor vida útil¹². La FHWA estima que losas de puente, pavimentos y otras estructuras curadas internamente podrían durar más de 75 años.



El curado interno contribuye a las bases de puentes con un ciclo de vida de más de 75 años. (foto cortesía del Instituto de Agregados Livianos de Esquisto, Arcilla y Pizarra Expandida)

Estos beneficios fueron demostrados en varios proyectos de reparación de puentes en Nueva York, EE. UU. Estos proyectos usaron agregados finos livianos prehumedecidos ESCS en sustitución del 30 % de la arena convencional para facilitar el curado interno. Después de una evaluación inicial, el Departamento de Transporte del estado de Nueva York observó una reducción del 70 % en el agrietamiento en las losas de puentes. Mas adelante, en 2023, la FHWA estimó que la mayor vida útil representa una reducción de costos del 30 % al 70 % durante el ciclo de vida de la estructura¹³.



El concreto ligero aumenta el área de colocación mediante la hidratación continua. (foto cortesía Instituto de Agregados Livianos de Esquistó, Arcilla y Pizarra Expandida)

Selección de agregados

Una buena selección de agregados puede ayudar a las estructuras a soportar mejor los elementos, así como reducir el costo del ciclo de vida al reducir la cantidad de mantenimientos, reparaciones y reemplazos a largo plazo.

Además de facilitar un curado interno, los agregados ESCS proveen una mejor adherencia entre los agregados y la pasta: física y químicamente¹⁴. Dadas sus superficies irregulares, los agregados ESCS tienen más área de adherencia para el cemento. El agua adicional dentro de los agregados ligeros continúa hidratando el cemento y mejorando la zona de transición interfacial (ITZ), incrementando así la resistencia y disminuyendo la permeabilidad total del concreto. La superficie de los agregados ESCS es considerada también puzolánica. Como se ha demostrado en diversas investigaciones, el concreto con puzolanas típicamente desarrolla resistencias más altas a edades avanzadas, proporciona baja permeabilidad, reduce la reactividad álcali-agregado y mejora la durabilidad frente a sulfatos¹⁵.

Beneficios a largo plazo del curado interno

Reducir los costos de reparaciones y reemplazos a lo largo de la vida útil de una estructura maximiza el retorno de inversión para los inversionistas del proyecto. Para los departamentos de transporte u otras agencias de infraestructura, como en el caso de la TVA en el puente de la Represa Wilson, un mayor retorno de inversión se traduce en el incremento de mejoras a la infraestructura sin necesidad de aumentar impuestos.

Esto es crucial, ya que el informe 2025 de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) indica que carreteras y puentes mantienen calificaciones casi estáticas en los últimos 4 años, recibiendo grado D+ y C, respectivamente¹⁶. En el informe ejecutivo la ASCE recomienda priorizar la resiliencia, afirmando: “Cada dólar invertido en resiliencia y preparación ahorra 13 dólares a las comunidades en costos posteriores a desastres”¹⁶.

Además de estos beneficios a largo plazo, la ampliación de los parámetros de colocación en campo y la reducción de los periodos de curado podrían llevar potencialmente a una disminución en los tiempos de cierre de carreteras y en las afectaciones al tránsito. En ese mismo reporte, la ASCE también señala que las carreteras deterioradas y congestionadas cuestan al conductor promedio más de 1 400 USD anuales en costos de operación y tiempo perdido¹⁶. Por lo tanto, hacer el esfuerzo de ofrecer concreto durable con la mínima afectación a las operaciones cotidianas, también podría contribuir a una mayor satisfacción de los usuarios.

Para conocer más sobre los agregados ligeros y su uso, visite <https://arcosalightweight.com>.

Referencias

1. Speck, J., “La TVA utiliza el curado interno para una represa hidroeléctrica histórica,” Instituto del Esquistó Expandido, Arcilla y Pizarra (ESCSI), Chicago, IL, [en línea] disponible en: www.escsi.org/e-newsletter/tva-utilizes-internal-curing-for-historic-hydroelectric-dam, consultado el 30 de junio de 2025.
2. Klieger, P., “Concreto de alta resistencia temprana para preesfuerzo,” RX091, Asociación Americana del Cemento, Washington, DC, marzo de 1958, pp. A5-1 a A5-14.
3. Campbell, R.H., y Tobin, R.E., “Resistencia a compresión de núcleos y cilindros de concreto natural y liviano,” ACI Journal Proceedings, Vol. 64, No. 4, abril de 1967, pp. 190-195.
4. “Curado interno: ayudando al concreto a alcanzar su máximo potencial,” Instituto del ESCSI, Chicago, IL, 2012, 8 pp., disponible en: www.escsi.org/wp-content/uploads/2017/10/ESCSI-IC-Brochure-4362.1.pdf.

5. “Mejora del desempeño con concreto curado internamente (EPIC²),” Administración Federal de Carreteras (FHWA), Washington, DC, 6 de octubre de 2023, www.fhwa.dot.gov/innovation/everydaycounts/edc_7/enhancing_epic.cfm.
6. “Terminología del concreto del ACI (ACI CT-23),” Instituto Americano del Concreto (ACI), Farmington Hills, MI, 2023, 78 pp.
7. Comités ACI 308 y 213, “Informe sobre concreto curado internamente usando agregado liviano absorbente previamente humedecido (ACI PRC-308-213-13) (Reaprobado 2022),” Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2013, 16 pp.
8. Espinosa-Hijazin, G., y López, M., “Extensión del curado interno a mezclas de concreto con relación a/c mayor a 0.42,” *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No. 3, marzo de 2011, pp. 1236-1242.
9. Abdigaliyev, A.; Kim, Y.-R.; y Hu, J., “Aplicación del curado interno para mejorar el desempeño de losas de puente de concreto,” Informe No. SPR-PI(19) M083, Departamento de Transporte de Nebraska, Lincoln, NE, abril de 2020, 89 pp.
10. Weiss, J.; Bentz, D.; Schindler, A.; y Lura, P., “Curado Interno,” *Revista STRUCTURE*, enero de 2012, pp. 10-13.
11. Schlitter, J.; Henkensiefken, R.; Castro, J.; Raoufi, K.; Weiss, J.; y Nantung, T., “Desarrollo de concreto curado internamente para mayor vida útil,” Informe No. FHWA/IN/JTRP-2010/10, Departamento de Transporte de Indiana, Indianápolis, IN, octubre de 2010, 285 pp.
12. Verma, S.K.; Bhadauria, S.S.; y Akhtar, S., “Evaluación del efecto del ataque por cloruros y del recubrimiento del concreto sobre la probabilidad de corrosión,” *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, Vol. 7, No. 4, diciembre de 2013, pp. 379-390.
13. “El curado interno del concreto produce **resultados** EPIC²,” *FHWA Innovator*, Vol. 17, No. 98, septiembre/octubre de 2023, www.fhwa.dot.gov/innovation/innovator/issue98/page_01.html.
14. “Curado interno: uso de agregado liviano de esquisto expandido, arcilla y pizarra,” Instituto del ESCSI, Chicago, IL, julio de 2006, 4 pp.
15. Mather, B., “La sustitución parcial del cemento Portland en el concreto,” *Cement and Concrete*, STP-205, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1958, pp. 37-73.
16. ASCE, “Boleta de calificaciones 2025 para la infraestructura de Estados Unidos,” Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, Reston, VA, 2025, 24 pp.

El miembro del ACI **Daron Brown** es Gerente Regional de Ventas en Arcosa Lightweight. Tiene más de 20 años de experiencia trabajando con productos de concreto y ha dedicado los últimos 15 años a la industria de los agregados livianos. Actualmente es presidente del Subcomité 308-C del ACI, Guía sobre el Curado Interno del Concreto; secretario del Comité 213 del ACI, Agregados Livianos y Concreto; y miembro del Comité 308 del ACI, Curado del Concreto, así como del Grupo de Trabajo 308-TG1, Grupo de Notas Técnicas. También es presidente del Comité de Curado Interno del Instituto del Esquisto, Arcilla y Pizarra Expandida (ESCSI) y miembro de su Comité Estructural.



Título original en inglés:
TechSpotlight.
Internally Cured Concrete:
Supporting Crews,
Constituents, and Country

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



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



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



CONCRETO
LATINOAMERICA