

CONCRETO LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VII | NÚMERO 1 | ENERO 2026



La presa La Libertad

La presa La Libertad gana
el premio ACI Members' Choice

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

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina

Dr. Raúl Bertero

Colombia

Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabián Augusto Lamus Báez

Costa Rica

Ing. Minor Murillo Chacón

Ecuador Centro y Sur

Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín

Guatemala

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Luis Álvarez Valencia

México Noreste

Dr. Alejandro Durán Herrera

México Noroeste

Ing. Raúl Alvarado Barbachano

México Centro y Sur

Mtro. Sergio Valdés Constantino

México Sureste

Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala

República Dominicana

Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



La presa La Libertad, ubicada en los municipios de Linares y Montemorelos, en el estado de Nuevo León, México, ha sido seleccionada como ganadora del premio ACI Members' Choice 2025. La cortina, construida con concreto compactado con rodillo, tiene 45 m (148 pies) de altura y 1 950 m (6 398 pies) de longitud, y abastece agua potable, agua para riego y flujo ecológico a la ciudad de Monterrey y zonas aledañas.

El proyecto destaca por sus prácticas sustentables de construcción mediante el uso de concreto de bajas emisiones ECOPact, lo que permitió evitar aproximadamente 80 000 toneladas de emisiones de CO₂.

El ACI Members' Choice Award es un reconocimiento en el que la comunidad de profesionales del American Concrete Institute (ACI) elige directamente el proyecto que merece una distinción especial entre los participantes de los Premios a la Excelencia en Construcción con Concreto, presentados en cada edición de la Gala. Más información en el artículo 6 de este número de la revista Concreto Latinoamérica.

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Enero de 2026. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

COMITÉ EDITORIAL

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

Presidente del Comité Editorial:

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

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editores Asociados:

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

Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

Diseño Gráfico y Marketing:

LDI. Hannia Annett Molina Frías
LDG. Fabiola Nohemi Durán Mata
LMGI. Tiffany Paulina Olvera Martínez

REVISORES EDITORIALES

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

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez
Dr. Lucio Guillermo López Yépez

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



American Concrete Institute
Always advancing

¡Únete hoy!

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



CONTENIDO

E

Editorial Enero 2026

Llevando el conocimiento del concreto a casa

4

Automatización de la colocación del concreto lanzado

Un efecto de rebote único

Por Maxime Monfort, Julien Schaeffer, Jongbeom Kim y Marc Jolin

1

Enfoque Tecnológico

Un Estudio sobre Circularidad

El primer edificio de concreto reciclable del mundo promete un futuro sostenible en las construcciones de concreto

Por Deborah R. Huso

5

Preguntas y Respuestas

Pruebas de aceptación de cilindros curados en campo

2

Novedades en Tecnología

Mezclado del concreto para el desempeño

Como los aditivos impulsan mejores resultados para el concreto

Por Jennifer Mizer

6

Noticias de la Industria en Concrete International

La presa La Libertad

La presa La Libertad gana el premio ACI Members' Choice

3

Optimizando el Concreto con Reactividad Puzolánica

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.

Llevando el conocimiento del concreto a casa

Cada año que sirvo en la Junta Directiva y el Comité Ejecutivo de ACI, aprendo un poco más sobre lo que ACI aporta a la comunidad del concreto y sobre lo que la gente aprecia de ACI. Lo que personalmente valoro más de ACI es su capacidad de reunir a las personas para aprender, compartir conocimiento y construir sus carreras profesionales. Un gran lugar para ver esto en acción son las Convenciones de Concreto de ACI que se realizan dos veces al año, como la reciente Convención ACI – Otoño 2025 en Baltimore, Maryland, EE. UU.

Las Convenciones de ACI son un torbellino de actividad en salas de reuniones, salones de eventos, actividades sociales, pasillos, cafeterías, bares y restaurantes. Sin embargo, ACI cuenta con casi 40,000 miembros en 120 países, y solo una pequeña fracción de ellos puede asistir. Recientemente, tuve la oportunidad de ver lo que puede hacerse a nivel local para llevar a casa esa energía y el conocimiento sobre el concreto que se vive en las Convenciones de ACI.

En septiembre de 2025, el Vicepresidente Ejecutivo de ACI, Frederick Grubbe, y yo viajamos a Monterrey, México, para el Encuentro Latinoamericano de Capítulos Estudiantiles del ACI (ENLACE-ACI), que es una reunión latinoamericana de capítulos estudiantiles de ACI. El evento es organizado y dirigido por estudiantes, con el apoyo de capítulos locales de ACI y de sus miembros. Asistieron más de 425 estudiantes de 23 capítulos estudiantiles de ACI en México, Puerto Rico y Perú, junto con más de 75 profesionales del concreto.

El evento de este año fue liderado por Víctor Manuel Pedraza Almaguer, estudiante de posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y presidente del Capítulo Estudiantil ACI FIC-UANL, con el apoyo y la orientación de la miembro de ACI Elissa Narro Aguirre y de Alejandro Durán Herrera, FACI.



Elissa Narro Aguirre y Maria Juenger (al centro) con miembros del Capítulo Estudiantil ACI Arquitectura de la Universidad Americana del Noreste (UANE) en Monterrey, México.

Los estudiantes participaron en talleres prácticos, asistieron a conferencias y paneles, y compitieron en equipos por financiamiento para asistir a la Competencia Estudiantil de Compuestos FRP de ACI, que se llevará a cabo el 29 de marzo durante la Convención ACI – Primavera 2026 en Rosemont/Chicago, Illinois, EE. UU.

El evento atrajo a miembros de ACI de todo el continente americano, motivados a apoyar e impulsar a la próxima generación de entusiastas del concreto. Las empresas instalaron stands para atraer talento de este grupo de estudiantes altamente comprometidos y enérgicos. Este evento demostró cómo los encuentros regionales pueden acercar las actividades de ACI a las comunidades locales para ampliar la participación y el involucramiento.

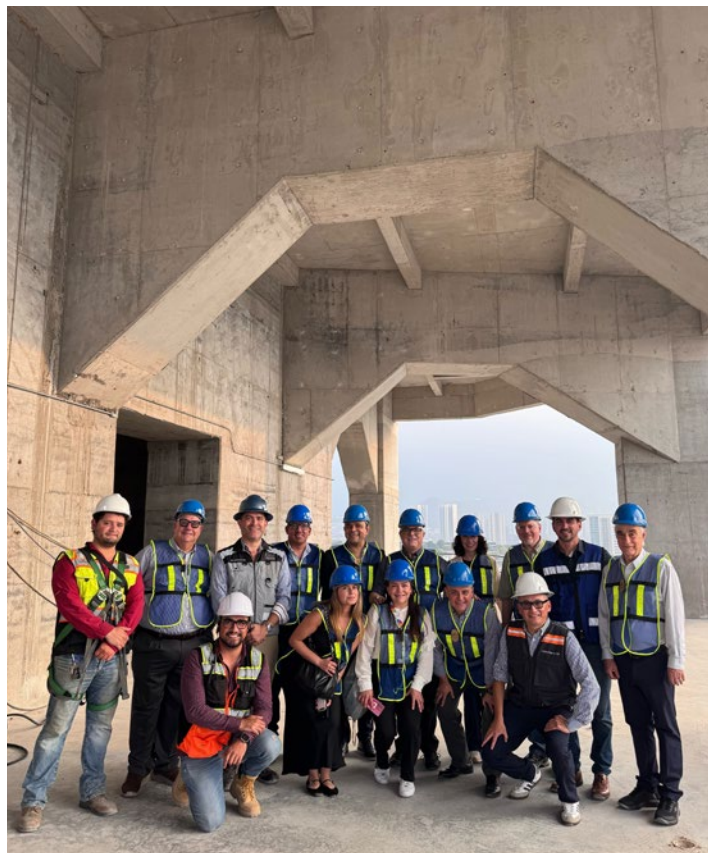
Otra forma de llevar ACI a casa es aplicar el conocimiento sobre concreto desarrollado por ACI en proyectos de ingeniería y construcción. Durante nuestra visita a Monterrey, conocimos los edificios altos de la ciudad diseñados por el Miembro Honorario de ACI Roberto Stark y el miembro de ACI Esteban Astudillo de la Vega. Visitamos la obra de Torre Rise gracias a la guía y atención de Abelardo Leal, Gerente de Construcción de POSTENSA, la empresa encargada de la construcción del edificio.

Torre Rise es notable por muchas razones. Este edificio completamente de concreto será el segundo más alto de América, después del One World Trade Center en Nueva York, EE. UU. Mientras que históricamente los edificios emblemáticos en México han recurrido a equipos de diseño internacionales, Torre Rise es producto del talento local, con un arquitecto y diseñador mexicano: Esteban Astudillo de la Vega. Él reconoce a ACI como un recurso vital para su crecimiento y desarrollo profesional, ya que lo ha conectado con una comunidad internacional de ingenieros afines, permitiéndole aprender nuevas habilidades y colaborar con otros.

“Las interacciones constantes con capítulos locales de ACI y con destacados miembros de ACI en comités técnicos ayudan a que este proyecto cumpla plenamente con las normas, criterios y códigos de ACI, tanto en los materiales como en la estructura”, explicó.

Torre Rise está planeada para tener 484 m (1,588 pies) de altura. La construcción avanza rápidamente a un ritmo de un nivel por semana. ¡Esperamos celebrar su finalización en 2027!

Siempre es valioso recordar cuán amplio es el impacto de ACI: desde ayudar a que los estudiantes se desarrollen como profesionales con un interés de por vida en el concreto, hasta apoyar a ingenieros en la implementación de mejores prácticas en materiales, diseño y construcción. Esto es algo que ACI hace bien tanto en Estados Unidos como en todo el mundo, gracias a sus miembros, quienes llevan a casa a ACI y el conocimiento del concreto.



Miembros de ACI visitan la obra de construcción de Torre Rise en Monterrey, México.

Maria C. G. Juenger
Mensaje del Presidente

Pregúntele al Presidente

¿Tiene alguna pregunta para la presidenta de ACI? Puede enviar sus consultas por correo electrónico a: askthepresident@concrete.org

Un Estudio sobre Circularidad

El primer edificio de concreto reciclable del mundo promete un futuro sostenible en las construcciones de concreto.

Por Deborah R. Huso

El químico francés del siglo XVIII Antoine Lavoisier una vez proclamó, “Nada se pierde, nada se crea, todo se transforma.” Un nuevo complejo de apartamentos construido a las afueras de París, Francia, hecho con concreto 100% reciclado ejemplifica este principio.

Mientras muchas estructuras de concreto han comenzado a utilizar en cierta medida concreto reciclado en su construcción, el primer edificio hecho totalmente con concreto reciclado en el mundo, ha llevado estos esfuerzos a un nuevo nivel. Como resultado de la alianza entre el fabricante de materiales Holcim, con base en Zug, Suiza, y Seqens un proveedor francés de viviendas públicas en Francia, Recygénie experimenta las posibilidades del uso de concreto reciclado y pronto será el hogar de residentes que ocuparán 220 unidades de viviendas, 76 de estas dirigidas a viviendas de interés social. Esta estructura está compuesta exclusivamente de concreto reciclado desde la cimentación hasta el techo.

Edelio Bermejo, Director de Investigación y Desarrollo Global de Holcim dijo: “Nuestro enfoque en todo lo que hacemos es encontrar un proyecto muy icónico y ejecutarlo retando los límites, para demostrar que todo es posible.” “Nosotros aspiramos a producir un concreto 100% reciclado.” Holcim, un proveedor de cemento líder en el mundo, comenzó a conducir ensayos para confirmar, que no solo un concreto 100% reciclado era posible de fabricar, sino también aceptable para uso estructural.

El Centro de Innovación de Holcim desarrolló un concreto en el que todos sus componentes — cemento, agregados y agua — son compuestos por material reciclado. Todos estos fueron implementados en la construcción de Recygénie, el primer edificio del mundo compuesto por concreto reciclado para uso estructural. Localizado en Gennevilliers, un suburbio de París, el complejo multifamiliar de bajo costo representa un hito en construcción circular.

Investigación y Desarrollo de Materiales de Construcción Reciclados

El proyecto Recygénie evolucionó gracias a la producción de Holcim en junio del 2022 del primer clinker de material 100% reciclado del mundo. El clinker, como ingrediente principal del cemento, típicamente está compuesto por caliza de cantera y otros materiales. Como alternativa, Holcim utilizó materiales 100% reciclados incluyendo ceniza de madera, productos derivados de papel, arena y caliza reciclada y escoria de hierro de fuentes locales. Estos materiales fueron mezclados con componentes adicionales para producir un polvillo semejante al cemento convencional. Por una semana Holcim produjo 2 000 toneladas de clinker completamente reciclado en una pequeña planta en Alsace, Francia.

De acuerdo con Bermejo, el clinker completamente reciclado experimental ahorra 3 000 toneladas de recursos naturales que habrían sido extraídos de canteras. Él dijo “cada pieza de éste fue un derivado de otra industria.”

Los ingenieros de Holcim finalmente utilizaron ese clinker para producir el cemento completamente reciclado el cual se convirtió en el elemento fundamental del concreto usado para la construcción de Recygénie. Pero previo a la idealización de Recygénie, Holcim decidió llevar su experimento de clinker completamente reciclado a un nuevo nivel al desarrollar un concreto 100% reciclado.

Los agregados reciclados que cumplen con las demandas estructurales para el uso de concreto no son fáciles de crear. El Centro de innovación de Holcim desarrolló un concreto con arena, agregado grueso, cemento e incluso agua 100% reciclados. Ellos usaron agua reciclada de sus propias operaciones de concreto, esto generó una dificultad propia ya que el agua reciclada contiene ciertos compuestos en esta. Esto requirió ajustes a la fórmula para la producción de concreto 100 % reciclado.

Bermejo dijo que la formulación para la producción de concreto completamente reciclado es un poco diferente a las proporciones de concreto convencional. Él explicó “había mucha pasta en él, lo cual aumentó la demanda de agua.” “Por esto, debimos incrementar un poco el contenido de reductor de agua.”

Bermejo dijo “el producto [final] es similar al concreto convencional, excepto que es reciclado.”

Un Experimento de Estándares de Construcción

Previo a refinar el concreto para el uso comercial, Holcim decidió encontrar un cliente para éste. Seqens fue la combinación natural. Holcim ya tenía una relación con el desarrollador estatal de viviendas sociales del gobierno francés y encontró en ellos la apertura para promover soluciones innovadoras para la construcción. Seqens propuso el complejo de apartamentos de 4 700 m² (50 590 ft²) mismo que proveía la oportunidad ideal para el experimento.

Olivier Parissier, ingeniero de proyectos estructurales en INGÉ-A Environmental Engineering en París explicó: “Este nuevo concreto no estaba considerado por las regulaciones Eurocode 2^[1] en ambos temas de resistencia estática y resistencia al fuego.”

El Scientific and Technical Centre for Building (CSTB) tendría que certificar la estructura, esto incluso si los estándares solo consideran que la estructura este compuesta por 15% de concreto reciclado. Pero, gracias a los siguientes resultados de ensayos y estudios, el CSTB emitió “una opinión favorable del proceso,” de acuerdo con Parissier.

INGÉ-A junto a ALTAÏS Ingénierie, desarrolló un análisis técnico experimental a someter al CSTB para resolver las dudas y consideraciones técnicas de la institución sobre responsabilidad civil. Según Parissier, ciertas partes de la edificación, incluyendo las cimentaciones, sótanos y losas de pisos, deberían ser construidas con concreto convencional para cumplir las características mecánicas críticas no alcanzables con concreto reciclado.

Parissier observó que las propiedades mecánicas del concreto 100% reciclado de Holcim son semejante al concreto convencional con una resistencia a la compresión de 25 MPa (3 626 psi). Y añadió: “sin embargo, otras propiedades físicas fueron muy diferentes, como el módulo de elasticidad el cual resultó en, aproximadamente, un 35% menor al concreto convencional.” Esto significa que el concreto reciclado exhibió mayor flujo plástico, menor adherencia al refuerzo y retracción de fraguado 2.5 veces mayor. Para adaptarse a estas características, el equipo de construcción debería incrementar el espesor de las losas de piso. “Debido a los límites de alturas de entrepiso urbanos, decidimos no construir las losas de piso con concreto 100% reciclado.” Para garantizar la seguridad y viabilidad del uso de concreto

reciclado en miembros estructurales, INGÉ-A y ALTAÏS Ingénierie realizó ensayos para confirmar la estabilidad de elementos de concreto, evaluando el pandeo de muros y la deformación de elementos horizontales delgados como losas. Parissier añadió: “tuvimos que desarrollar herramientas de cálculos especializadas para estos elementos debido a la imposibilidad de programas comerciales de cambiar las propiedades del concreto 100% reciclado.”

Bermejo explicó que “hay un costo adicional [al proyecto], porque fue la primera vez que producimos clinker reciclado para uso comercial y debido al componente de investigación y desarrollo involucrado.” Como resultado, Holcim y el desarrollador dividieron los costos de construcción.

Bermejo dijo: “el papel del CSTB ha sido extremadamente útil. Cambiar las normas es un largo proceso cuando se trata de entidades certificadoras.”



Fig. 1: Construcción de edificio para el proyecto Recygénie fabricado con concreto 100% reciclado. (foto cortesía de INGÉ-A)

Los desafíos en la Construcción Circular

Los preparativos para la construcción iniciaron en 2022. El primer paso fue la demolición de las estructuras construidas en la era de los 60 ubicadas en la propiedad donde Recygénie sería construido. Holcim utilizó los residuos de construcción y demolición (CDW, por sus siglas en inglés) de edificios viejos para el desarrollo de los agregados reciclados de la nueva estructura. Los CDW de la estructura preexistente no fueron suficientes, por esto parte del agregado completamente reciclado provino de otros lugares. Bermejo acentuó: “nuestro centro de reciclaje está ubicado en la misma ciudad. Por esto el transporte fue afortunadamente mínimo.”

Holcim utilizó agua reciclada y pluvial para producir el cemento. El agua reciclada fue tomada de residuos de la planta de concreto en Gennevilliers.

El primer colado de concreto inició en abril del 2023 y la superestructura del edificio fue completada en el verano del 2024.

Parissier dijo: “uno de los principales desafíos de este proyecto fue mantenerse lo más similar posible a los procesos de construcción convencionales para conservar un presupuesto razonable. La estructura del edificio fue compuesta completamente por concreto desde la cimentación hasta el techo.” Todos los componentes estructurales fueron cimbrados y colados in situ.

Los muros estructurales de concreto, con espesor de 160 mm (6.3 pulg.), del edificio están revestidas de varios tipos de fachadas. Entre estas incluyen revestimientos de una capa y tableros de terracota. Otros muros fueron terminados con estampados y concreto pigmentado.

El concreto reciclado utilizado en la construcción de Recygénie permitió el ahorro de más de 6 000 toneladas de recursos naturales. CSTB va a monitorear la integridad estructural a largo plazo del complejo multifamiliar.

Bermejo dijo que en la actualidad, la construcción con concreto 100% reciclado es aproximadamente del 5 al 10% más costoso. Bermejo también explicó “nuestra meta es establecer este concepto como la norma y promover la revisión de los estándares europeos (EN).”



Fig. 2: Solo la cimentación, sótano y losas de piso fueron construidos con concreto convencional para cumplir con propiedades mecánicas requeridas que no se lograban con concreto reciclado (foto cortesía de INGÉ-A)

Él ve dos beneficios principales del proyecto Recygénie: primero, convencer a la industria de la construcción que no se compromete la calidad al usar concreto completamente reciclado, y segundo, inspirar a la industria para que aprecie el valor de los materiales de demolición de la construcción. “En el presente, todos estamos trabajando para la circularidad,” añadió. “Nosotros deseamos centros de reciclaje en todas partes”. Bermejo indicó que Holcim está “invirtiendo masivamente en tecnologías del reciclaje.”

“Nosotros utilizamos CDW convencional en el caso de Recygénie,” Bermejo explico, “pero estamos promoviendo el desarrollo de procesos de triturado de agregado inteligentes. Se necesita un CDW saneado y es imprescindible la proximidad de la planta a los proyectos construidos para cumplir con criterios de sostenibilidad”.

“Mi sueño es lograr separar los agregados gruesos de la arena y la pasta de cemento para obtener un agregado grueso limpio.” Esto significaría que éste podría ser utilizado inmediatamente para la producción de clinker. Bermejo añadió: “sabemos que hay una escasez mundial de arena.” Él identificó que la escasez podría solucionarse al desarrollarse maquinarias de triturado avanzadas para separar los agregados gruesos de la arena. Holcim actualmente está desarrollando tecnologías para lograr esta meta.

Bermejo admitió que mientras la meta a largo plazo sería la aplicación de concreto reciclado para cualquier proyecto, “al aumentar la resistencia incrementarán los desafíos.” Él dijo que, mientras la categoría del concreto sea menor al C40, (40 MPa [5 800 psi]), no habrá problemas al utilizar concreto reciclado con las tecnologías disponibles.

Parissier dijo que prevé que la vida útil del concreto reciclado se asemeje al convencional: “Los ensayos de desempeño fueron realizados bajo los estándares del NF EN 206-1, el estándar europeo de concreto^[2] para verificar que este posea suficiente resistencia al ambiente, como exposición al congelamiento y deshielo, y la carbonatación natural.” Parissier indicó que el concreto reciclado demostró una durabilidad a largo plazo adecuada. “Todos los resultados presentados de los ensayos realizados indicaron cumplimiento con los estándares de construcción convencionales.” Estos ensayos hicieron posible la comprobación de la similitud de vida útil comparado con un concreto convencional.



Fig. 3: Los muros de carga fueron revestidos con una variedad de terminados, incluyendo tableros de terracota (foto cortesía de INGÉ-A)

Referencias

1. BS EN 1992-1-1:2023, "Eurocode 2: Design of Concrete Structures. General Rules and Rules for Buildings, Bridges and Civil Engineering Structures," British Standards Institution, London, UK, 2023, 408 pp.
2. BS EN 206:2013+A2:2021, "Concrete. Specification, Performance, Production and Conformity," British Standards Institution, London, UK, 2021, 108 pp.

"Recygénie es un logro técnico que contribuye a la preservación de recursos naturales y, sobre todo, un éxito de la colaboración de todos los involucrados en el proyecto." Reportó Parissier.

Holcim está planificando replicar el desarrollo de concreto completamente reciclado en todos los mercados de Europa, adaptando esta solución a normativas de construcción y a disponibilidad de materiales locales. Bermejo dijo "no podemos producirlo diariamente ya que no contamos con suficientes materiales reciclados en esa planta."

"Debemos cambiar el curso de la economía de lineal 'extraer-producir-desechar' a circular," él añadió. Destacó que la meta debe ser "mejorar la calidad de vida para todos considerando los límites de nuestro planeta." Y finalizó diciendo que los métodos de construcción circular deben convertirse en "la norma y no la excepción" y ser accesible para todos.

Deborah R. Huso es la Directora Creativa y Socia Fundadora de WWM, Farmington, Nuevo México, EE. UU. Ha escrito para una variedad de publicaciones comerciales y de consumo, tales como Ascent, U.S. News & World Report, Concrete Construction y Construction Business Owner. Ella ha proporcionado servicios de desarrollo de sitios web y estrategia de contenido para diversas empresas de productos para la construcción, incluidas Cultured Stone y Trex Company, Inc.



Título original en inglés:
**TechSpotlight.
A Study in Circularity**

The world's first recycled concrete building promises a future of sustainable concrete construction

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



*Traductor y
Revisor Técnico:
Ing. Piero Caputo*

Mezclado del concreto para el desempeño

Como los aditivos impulsan mejores resultados para el concreto

Por Jennifer Mizer

El concreto es uno de los materiales de construcción más versátiles en el mundo. Sin embargo, eso no quiere decir que tiene el mismo desempeño en todas las obras y aplicaciones. Cualquier contratista o ingeniero puede explicar que lo que funciona en un proyecto puede causar problemas en otro. Mezclas que se ven bien en teoría, pueden causar problemas en la obra debido a varias razones, como el cambio de clima, cronogramas justos, o las demandas únicas de cada estructura.

Ya sea que se esté colando el tablero de un puente de una carretera en el calor del verano, o la losa de una bodega durante el invierno, los aditivos ayudan a afinar el desempeño del concreto para abordar las variables. Los aditivos no solo adicionan, son potenciadores del rendimiento que pueden mejorar la trabajabilidad, acelerar o reducir tiempos de fraguado, prevenir fisuras, mejorar la durabilidad, y extender la vida de servicio.

Ingeniería de Aditivos para el Desempeño y la Predictibilidad

La base del desempeño del concreto radica en una mezcla bien proporcionada. Sin embargo, un diseño de mezcla de libro puede no alcanzar las expectativas de las limitaciones del mundo real, como las variaciones en temperatura, horarios acelerados, o la colocación en geometrías complejas. Aquí es donde los aditivos hacen un impacto decisivo. Los aditivos son soluciones diseñadas precisamente para mejorar casi cada aspecto del desempeño del concreto, desde propiedades frescas hasta la durabilidad a largo plazo.

Los reductores de agua, convencionales y de alto rango, juegan un papel fundamental en el control de la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua. Al permitir una menor relación de agua/cemento (w/c), se mejora la resistencia a compresión, se reduce la permeabilidad, y se mitiga el riesgo de agrietamiento

por contracción. En elementos estructurales largos o zonas de refuerzo congestionados donde el flujo del concreto en las formas es vital, un reductor de agua de alto rango asegura eficiencia de colocación sin comprometer las propiedades mecánicas.

Navegando los Desafíos de Colocación y Fraguado

Los aditivos controladores de fraguado permiten a los contratistas navegar las exigencias a medida que los cronogramas de construcción se vuelven más estrictos y la variabilidad ambiental sigue siendo un desafío. Los aditivos retardadores retrasan la hidratación, extendiendo el tiempo de trabajabilidad en climas cálidos o durante colocaciones masivas donde los tiempos para finalizar son críticos. Por el contrario, los aditivos acelerantes promueven el desarrollo temprano de la resistencia, permitiendo un descimbrado más rápido, una carga de tráfico más temprana y una reducción del tiempo de inactividad en climas fríos o aplicaciones con plazos críticos.

Los aditivos inclusores de aire son indispensables en pavimentos exteriores e infraestructura expuesta a ciclos de congelación y deshielo. Al distribuir uniformemente vacíos de aire microscópicos en toda la matriz del concreto, estos aditivos proporcionan una resistencia crucial al congelamiento y deshielo, protegiendo contra las presiones internas causadas por la formación de hielo y mitigando el desprendimiento superficial, particularmente cuando hay productos químicos descongelantes presentes.

Protegiendo el Desempeño del Concreto de adentro hacia afuera

El desempeño a largo plazo del concreto está ligado a su capacidad para resistir efectos ambientales y esfuerzos internos. Los aditivos reductores de contracción están específicamente diseñados para mitigar los cambios volumétricos durante el secado, abordando el agrietamiento por retracción a temprana edad. Estos aditivos ayudan a preservar la integridad estética y estructural al controlar la contracción restringida, particularmente en losas sobre terreno, sobrecapas y otras colocaciones de concreto de grandes superficies, donde las juntas son limitadas.

Los materiales puzolánicos y cementantes suplementarios (SCM), como la microsilíce, el *fly ash* y

la escoria de alto horno, mejoran aún más la durabilidad al refinar la microestructura del concreto endurecido. La microsilíce en particular, reduce la permeabilidad y mejora la resistencia a la abrasión, lo que lo convierte en una opción ideal para pisos industriales, tableros de puentes y otras aplicaciones de alto desempeño donde el ingreso de cloruros y el desgaste son una preocupación.

En entornos corrosivos, los aditivos inhibidores de corrosión añaden otra capa de protección. Estos productos forman películas protectoras sobre el acero de refuerzo o interfieren químicamente con el proceso de corrosión, extendiendo la vida útil de las estructuras de concreto expuestas a cloruros o a la carbonatación.

Adaptando los Aditivos a las Demandas Específicas de cada Aplicación

Cada aplicación del concreto presenta sus propias prioridades de desempeño. En colocaciones de concreto masivo como cimentaciones, presas o vigas de gran peralte, el control de la temperatura es crítico. En estas aplicaciones, los aditivos de control de hidratación y moderadores de temperatura pueden ayudar a prevenir el agrietamiento térmico al reducir la tasa de evolución de calor y facilitar un fraguado por etapas.

Para aplicaciones de bombeo, los aditivos modificadores de viscosidad ayudan a mantener un flujo cohesivo sin segregación. Estos aditivos estabilizan la mezcla, permitiendo largas distancias de bombeo y colocaciones elevadas, mientras se reduce el riesgo de bloqueos o la acumulación de agua de exudación en la superficie.

En aplicaciones verticales o arquitectónicas, la calidad del acabado del concreto en contacto con las cimbras y los detalles superficiales son cruciales. Los aditivos que mejoran el acabado al potenciar el desarrollo de la “crema” de cemento o reducir los poros superficiales (*bug holes*) ayudan a lograr resultados estéticos consistentes, minimizando la necesidad de reparaciones o retoques superficiales.

Pruebas, Compatibilidad y Control de Calidad

Ningún aditivo para concreto opera en el vacío. El desempeño de cada aditivo depende de una integración cuidadosa con otros componentes de la mezcla, especialmente la química del cemento, los SCM y los agregados. Por ello, la realización de mezclas de prueba

es indispensable para validar la compatibilidad del aditivo y las dosis antes de la producción a gran escala.

Factores como la temperatura ambiente, la humedad relativa y los métodos de curado influyen en el comportamiento del aditivo en el sitio. Por ejemplo, un aditivo retardante que actúa de forma predecible en condiciones de laboratorio a 21°C (70°F) puede requerir ajustes de dosificación bajo las condiciones de un sitio de obra en verano. Realizar pruebas de campo bajo condiciones representativas ayuda a identificar y resolver estas variables antes de que afecten el trabajo de producción.

Los productores de concreto premezclado y los contratistas también deben mantenerse informados sobre los cambios en los aditivos, ya que incluso pequeñas variaciones en la formulación pueden afectar el tiempo de fraguado, la retención del revenimiento o el contenido de aire, lo que hace que la comunicación regular con los proveedores sea esencial para un desempeño constante.

La Sostenibilidad de los Aditivos Impulsa el Valor a Largo Plazo

Aunque los aditivos para el concreto pueden parecer un costo discrecional, su valor a largo plazo puede superar la inversión inicial. Los aditivos pueden reducir el uso de materiales, especialmente el cemento, mediante la reducción de agua y la mejora de la eficiencia. Esto disminuye las emisiones de carbono y respalda los objetivos de sostenibilidad tanto en infraestructura como en proyectos comerciales.

El control de la contracción y la reducción de la permeabilidad proporcionados por los aditivos se traducen en menos grietas, una vida útil más larga y un mantenimiento reducido. Los aditivos inclusores de aire previenen fallas prematuras por daños de congelación y deshielo, mientras que los inhibidores de corrosión retrasan el deterioro de las varillas de refuerzo. Cada uno de estos factores contribuye a menores costos en el ciclo de vida y a un mejor desempeño de los activos a largo plazo.

Además, muchos aditivos modernos están formulados con la sostenibilidad en mente. Actualmente se dispone de formulaciones de base biológica, productos con contenido reciclado y aditivos que permiten el uso de agua recuperada en las operaciones de dosificación. Para los equipos de proyecto que buscan certificaciones LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés), Envision u otras, los aditivos pueden hacer una contribución medible a los estándares de edificación verde.

Satisfaciendo las Exigencias de la Construcción Moderna

A medida que los proyectos de construcción crecen en complejidad y aumentan las expectativas de rapidez y longevidad, los contratistas y especificadores necesitan materiales que puedan adaptarse sin comprometer la calidad. Los aditivos hacen esto posible incluso cuando las condiciones de la obra no son ideales, ofreciendo el control necesario para abordar desafíos como la colocación en clima cálido, los objetivos de resistencia temprana, la retracción y la durabilidad.

Al colaborar con proveedores de materiales confiables y mantenerse informados sobre los avances en la tecnología de aditivos, los equipos de proyecto pueden desarrollar diseños de mezcla adaptados a las condiciones del sitio. Cuando se aplican estratégicamente, los aditivos ayudan a que el concreto se desempeñe según lo previsto: de manera eficiente y predecible.

Para aprender más sobre varios aditivos de concreto, visite **www.euclidchemical.com**

Jennifer Mizer es directora de Servicios de Marketing en The Euclid Chemical Company, un fabricante líder de soluciones especiales para la construcción de concreto y mampostería. Con más de 20 años de experiencia en la industria, Mizer gestiona las actividades de comunicación de marketing para los aditivos, refuerzos de fibra, productos de reparación de concreto, materiales para suelos y sistemas decorativos de concreto de Euclid.



GI Germann Instruments

The Pioneer of Innovative Nondestructive Test Systems for Concrete

ICAR PLUS

El reómetro ICAR Plus es un instrumento portátil y práctico para medir las propiedades fundamentales de flujo del concreto fresco bajo el modelo reológico de Bingham: tensión de fluencia y viscosidad plástica.



Stress Grow Test:

Realiza un ensayo controlado de crecimiento de esfuerzo a velocidad lenta constante, determinando la tensión de fluencia estática a partir del par máximo medido con alta precisión.

Flow Curve Test

Caracteriza la tensión de fluencia dinámica y la viscosidad plástica para una evaluación precisa del comportamiento reológico del material.



Contáctanos



Productos

Título original en inglés:

TechSpotlight. Mixing for Performance

How admixtures drive better concrete outcomes

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



Traductor:

***Est. Emiliano
Martínez Villalobos***



Revisor Técnico:

***Ing. Oscar Ramírez
Arvizu***

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

AQUÍ ENCUENTRAS...

PUBLICACIONES PASADAS

DIRECTORIO CAPÍTULOS ACI

NOTICIAS

EVENTOS



Optimizando el Concreto con Reactividad Puzolánica

Durante más de 25 años, la Fundación ACI ha organizado foros para apoyar la aceptación de la innovación en la industria del concreto. Estos eventos brindan oportunidades educativas y de Networking y ofrecen presentaciones de investigadores, de representantes del comité de ACI y de desarrolladores de nuevas tecnologías. Este artículo destaca una presentación del 2025 Concrete Innovation Forum, “Uso de la Reactividad Puzolánica para Optimizar las Mezclas de Concreto con propósitos de Desempeño, Costo y Sustentabilidad”, desarrollado por W. Jason Weiss, FACI, Cátedra Distinguida Edwards en Ingeniería, Universidad Estatal de Oregon (OSU [por sus iniciales en inglés]) y Burkan Isgor, FCI, Catedrático de Ingeniería Civil y Ciencia de Materiales, OSU. Weiss hizo esta presentación que se centra en combinar pruebas basadas en ciencia con modelos de cómputo rigurosos para ayudar a diseñar mezclas de concreto para el futuro.

Cambiar el Enfoque en el Concreto con Menos Clinker

La presentación empezó con un mensaje de Weiss: para lograr mezclas de concreto con potencial de bajo calentamiento global (GWP [por sus iniciales en inglés]), la industria básicamente debe examinar muchos de sus métodos de prueba, centrarse en las prácticas de colocación y curado y actualizar sus especificaciones. Demostró que el mayor contribuyente del GWP del concreto son los materiales cementicios. Están surgiendo nuevas y prometedoras tecnologías de cemento; no obstante, la industria sigue dependiendo de sistemas que en esencia se fundamentan en Clinker de cemento portland y es probable que así lo sigan haciendo durante las próximas décadas. Pasar a soluciones diferentes a

escala industrial es una tarea monumental debido al volumen que se requiere y a las altas inversiones ya hechas en infraestructura existente basada en clinker.

Sostuvo que el enfoque actual de la industria en Declaraciones Ambientales de Producto (EPDs [por sus iniciales en inglés]), que sólo dan cuenta de GWP A1-A3 (desde el suministro de materia prima hasta la manufactura), a menudo pasan por alto el desempeño del ciclo de vida. Weiss dio un ejemplo respecto a un puente diseñado para durar 90 años en lugar de 22 años, lo cual ofrece un profundo beneficio de sustentabilidad aunque su GWP inicial sea igual o ligeramente más alto que el de una estructura convencional. Al enfocarse sólo en los valores GWP A1-A3 se pasa por alto la imagen más amplia, ya que la durabilidad del concreto es uno de sus mayores atributos.

Otra clave para la sustentabilidad es optimizar los diseños de mezclas. Weiss señaló que muchas mezclas de concreto están “sobre cementadas” por razones históricas, incluyendo el deseo de un diseño de mezcla que se adapte a todo y una prevención del riesgo del productor de tener menor resistencia a la compresión. Eliminar de las especificaciones los requerimientos de un contenido mínimo de cemento ha sido un paso crítico que muchos grupos han tomado en las últimas dos décadas para lograr un concreto más eficiente y sustentable.

Entender y Utilizar Correctamente los SCMs

La presentación se enfocó principalmente en reducir el contenido del clinker utilizando materiales cementicios suplementarios alternativos (SCMs [por sus iniciales en inglés]), incluyendo arcillas calcinadas y puzolanas naturales. Weiss enfatizó que éstos no son materiales nuevos ni no comprobados, ya que las estructuras construidas con ellos hace 80 años todavía funcionan bien.

Para utilizar con eficacia los SCMs, identificó cinco propiedades importantes que deben entenderse:

- Química: Conocer la composición química exacta posibilita las reacciones predecibles;
- Reactividad: Cuantificar qué tan reactivo es un SCM utilizando la prueba de reactividad puzolánica (PRT [por sus iniciales en inglés]) proporciona un número científico con el cual trabajar, pasando más allá de índices subjetivos;

- **Absorción de Agua:** Muchos SCMs son porosos y absorben agua. Esta absorción no debe contarse en la relación de agua-materiales cementicios (w/cm), siendo éste un error común que impacta de forma negativa la trabajabilidad y que debe explicarse en muchas especificaciones;
- **Gravedad Específica:** Reemplazar el cemento por masa en lugar de volumen altera la mezcla y puede afectar de manera negativa la trabajabilidad. Un reemplazo volumétrico conserva una relación consistente líquido a sólido, lo que da por resultado una mezcla trabajable; y
- **Distribución del Tamaño de la Partícula:** Optimizar las proporciones de la mezcla para predecir la demanda de agua y reducir la cantidad de pasta necesaria.

Weiss demostró que la trabajabilidad y comportamiento del concreto con SCMs alternativos se hace más predecible y consistente cuando estos factores se explican correctamente, lo que hace que coincidan más estrechamente con los sistemas de cemento tradicionales.

También destacó que los lotes de prueba son esenciales para entender la forma en que los cambios en los componentes cementicios pueden impactar la trabajabilidad, terminado y propiedades de endurecimiento del concreto.

Una Nueva Era en las Herramientas de Cómputo

Se han utilizado modelos matemáticos en las ciencias del cemento y concreto durante más de un siglo. Una parte significativa de la charla la dedicó a una herramienta de cómputo desarrollada en OSU en la última década. Esta herramienta utiliza modelado cinético, termodinámico y de partición de poros para predecir el desempeño de la mezcla de concreto con prácticamente cualquier tipo de SCM. Al introducir la química y reactividad de los materiales, el modelo puede simular los productos de hidratación y predecir propiedades tales como resistencia, porosidad, módulo elástico y diversos indicadores de durabilidad (por ejemplo, reacción álcali-sílice [ASR], resistencia al congelamiento y descongelamiento y ataque de sulfatos).

Este abordaje de cómputo permite que se corran pruebas de miles de lotes virtuales de la noche a la mañana, proporcionando cálculos de datos de 90 y de hasta 365 días casi de manera instantánea. Esto permite optimización, no sólo del desempeño, sino también del costo, disponibilidad del material y huella de carbono. La herramienta puede identificar una “zona de mezclas factibles” que cumple con múltiples criterios, lo que les brinda a los ingenieros un punto de inicio ideal para las pruebas lotes físicos.

Al utilizar el modelo, Weiss habló sobre un malentendido común. Si bien muchos creen que los SCMs reducen la porosidad, sus simulaciones muestran que a menudo la porosidad aumenta ligeramente. No obstante, las propiedades del transporte de sustancias dentro del concreto, (tales como resistencia a cloruros) mejoran de forma importante. Esto se debe a que los SCMs afinan la estructura de los poros, creando una trayectoria más compleja y tortuosa que desacelera el ingreso de sustancias dañinas. Esta es una distinción decisiva entre el “refinamiento del poro” y una simple “reducción de la porosidad”.

Un Llamado a la Investigación Coordinada y Mejores Normas

Weiss concluyó con una visión para el futuro. Hizo un llamado a un esfuerzo de investigación más coordinado para evitar pruebas redundantes, estado por estado de los mismos materiales. Enfatizó la necesidad de actualizar las especificaciones para que se alineen con mezclas de concreto modernas. El uso de especificaciones existentes para cementos y concretos modernos puede ser semejante a utilizar el manual de un teléfono de disco para operar un smartphone moderno.

Las áreas principales que requieren atención inmediata son:

- **Propiedades Nuevas:** Desarrollar un mejor entendimiento científico de la trabajabilidad, sangrado y factibilidad de terminado de mezclas de concreto modernas;
- **Mejores Pruebas:** Proporcionar a los contratistas mejores pruebas para que entiendan el material con el que estén trabajando y expongan mejor sus necesidades además de las simples mediciones de revenimiento;

- Bases de Datos para Modeladores: Crear bases de datos compartidas para poder validar los modelos de cómputo contra sistemas del mundo real; y
- Retroalimentación del Contratista: Incorporar retroalimentación de campo para garantizar que las pruebas de laboratorio y simulaciones reflejen con exactitud el desempeño in situ.

La presentación de Weiss fue un llamado a la acción para que la industria del concreto adopte especificaciones basadas en la ciencia, apalanque el poder del cómputo moderno y entienda los materiales que se están utilizando para construir un futuro más durable y sustentable.

2026 Concrete Innovation Forum

Reserve la fecha, 18-20 de agosto de 2026 para asistir al 2026 Concrete Innovation Forum en el Hyatt Regency en Columbus, OH, Estados Unidos de Norteamérica. En este evento, los líderes de la industria, investigadores e innovadores compartirán más avances y soluciones prácticas para el futuro del concreto. Esta es una oportunidad para conectar, aprender e inspirarse. Mientras tanto, la Fundación ACI brindará más artículos en números subsecuentes de *Concrete International* para poner de relieve las presentaciones y reflexiones del 2025 Concrete Innovation Forum.

Reconocimientos

El personal de la Fundación ACI redactó este artículo a partir de la presentación que hizo W. Jason Weiss el 13 de agosto de 2025, en el 2025 Concrete Innovation Forum. El personal de la Fundación ACI utilizó Jasper.ai que ayudó a resumir la presentación y posteriormente revisó con todo detalle el resumen para redactar este artículo. La Fundación ACI asume toda la responsabilidad del contenido del artículo.

Prueba de la Galleta Oreo

Weiss propuso una alternativa a la prueba de revenimiento para determinar la reología de una mezcla de concreto que se ha utilizado en las ciencias de cemento durante varias décadas. “¿Cuál es la forma correcta de comer una galleta Oreo?” Todos saben que no se parte a la mitad; sino que se busca el relleno cremoso. Se aplica una fuerza de torsión que excederá el esfuerzo de cedencia entre el relleno cremoso y la cubierta. Lo mismo se puede hacer con la pasta de cemento. Puede colocar la pasta entre dos placas dentadas y empieza a girarlas. A la resistencia medida al giro se le llama resistencia a la cedencia. La resistencia al flujo de la pasta es la viscosidad. La primera medición nos dice qué tan duro se pondrá el flujo del material y el segundo número indica qué tan duro se pondrá el material para que siga fluyendo, como si estuviera pasando a través de una tubería. Medir la resistencia a la cedencia y la viscosidad proporciona una imagen mucho más clara de las propiedades frescas de una mezcla”.



Título original en inglés:
**Optimizing Concrete with
Pozzolan Reactivity**

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



Traductor:
**Lic. Ana P. Garcia
Medina**



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

Automatización de la colocación del concreto lanzado

Un efecto de rebote único

Por Maxime Monfort, Julien Schaeffer, Jongbeom Kim y Marc Jolin

El método de colocación del concreto lanzado existe desde hace más de 115 años¹. Consiste en proyectar concreto a altas velocidades (alrededor de 25 a 30 m/s [82 a 98 pies/s]^{2,3}), lo que permite que el material se consolide en superficies verticales y elevadas y permanezca en su lugar durante su fase de endurecimiento. La colocación del concreto lanzado utiliza el proceso de mezcla húmeda o seca. Cuando se comparan, cada proceso tiene ventajas y desventajas⁴. Este artículo se centra en el proceso de concreto lanzado de mezcla seca.

Una oportunidad para mejorar el proceso de concreto lanzado es reducir el rebote, que puede ser una pérdida directa significativa de material, en particular para el proceso de concreto lanzado de mezcla seca. El rebote consiste principalmente de agregados y fibras que no se han adherido a la superficie pulverizada. No puede reutilizarse y, por lo general, no se recicla. Este rebote puede representar hasta el 20% de la masa de concreto utilizada en el proceso de mezcla seca, y hasta el 10% en el proceso de mezcla húmeda. Sin embargo, puede variar en función del tipo de aplicación, el diseño de la mezcla, el equipo y la experiencia del lanzador de concreto. Las buenas prácticas revelan que un porcentaje significativo de estas pérdidas puede evitarse con procedimientos adecuados de colocación del concreto lanzado⁵.

Las tareas del lanzador de concreto consisten en lograr con seguridad una proyección de alta calidad con un encajonamiento adecuado de las varillas de refuerzo y una óptima consolidación. Esto se consigue mediante una consistencia adecuada del concreto y la velocidad del material, la distancia y el ángulo correctos de la boquilla con respecto a la superficie receptora, y el movimiento adecuado de la boquilla⁵. Para facilitar la tarea del lanzador

de concreto, resulta interesante la automatización parcial o total del proceso de colocación, razón por la cual el Laboratorio de Concreto Lanzado de la Université Laval (ULaval), Québec, QC, Canadá, adquirió un brazo robótico de seis ejes en 2019. El brazo puede repetir patrones de pulverizado predefinidos con una precisión prácticamente impecable (Fig. 1).

Este robot, combinado con un sistema de adquisición de datos que mide el rebote durante una sesión de pulverizado estandarizada^{6,7}, es el punto de partida de un gran proyecto de investigación, “SPARO - Shotcrete Placement Automated by Robot”, que consiste principalmente en proyectos de investigación exploratoria y pruebas de concepto. Obtener mediciones exactas y precisas en campo puede resultar difícil, por lo que esta investigación de laboratorio con equipos a escala real es única.

Investigación sobre la colocación robotizada de concreto lanzado

El robot utilizado en esta investigación es el ABB IRB-4600, que ofrece un alcance total de 2.05 m (6.7 pies) y una carga útil del brazo de 60 kg (132 lb). Para ver más de cerca lo que podía ofrecer, Germain aisló el efecto de la distancia y el ángulo de la boquilla con respecto a la superficie receptora, la velocidad de desplazamiento de la boquilla y su movimiento en el ensayo⁶. Dado que se pueden programar con precisión las trayectorias globales y los movimientos locales de las boquillas, fue posible observar los efectos de cada uno de estos parámetros en el rebote y la colocación por separado⁸.

La combinación de ángulo y movimiento propia de un brazo robótico cobró interés tras los trabajos de Pastorelli sobre la encapsulación de refuerzos⁹. El trabajo de Schaeffer se centró en la reducción del rebote⁷. Schaeffer observó sesiones de pulverizado en el laboratorio durante anteriores investigaciones sobre concreto lanzado. Más tarde ideó un movimiento que eliminaría los cambios bruscos de dirección o los cambios significativos en la velocidad de la boquilla. Denominado “movimiento planetario”, imita la movilidad de un pequeño engranaje en una caja de cambios epicicloidial, lo que da lugar a una trayectoria global circular con un movimiento local circular (Fig. 2). Utilizando el movimiento planetario, la colocación nunca se detiene, sin variación en la velocidad de la boquilla ni cambios bruscos de

dirección, al tiempo que permite que la superficie receptora se construya uniformemente debido al comportamiento plástico natural del concreto durante la colocación del concreto lanzado. Este enfoque de colocación se inspira en el movimiento de la boquilla de un lanzador de concreto en pequeños círculos concéntricos mientras rellena una sección⁵. Sin embargo, el movimiento del brazo del robot mantiene un ángulo perpendicular constante entre el eje de la boquilla y la superficie receptora.

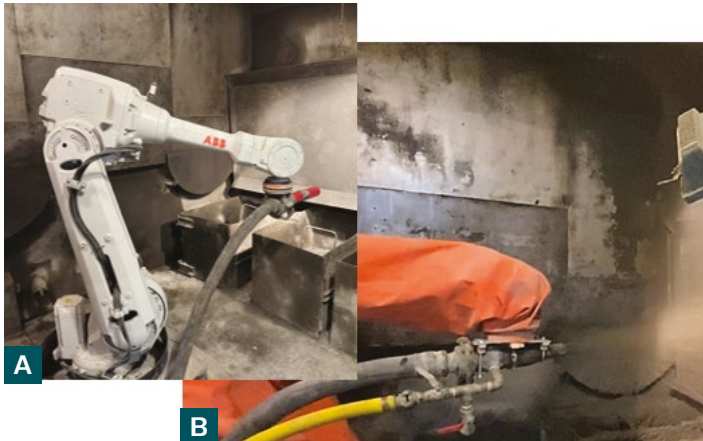


Fig. 1: Robot industrial ABB IRB-4600 en el laboratorio de concreto lanzado de la ULaval: (a) robot sin su funda protectora; y (b) robot pulverizando un gran panel de prueba de acero (2 m de ancho x 1 m de alto [6.6 x 3.3 pies]).

Schaeffer investigó inicialmente distintos parámetros geométricos del movimiento planetario, ajustando (véase la Fig. 2) el radio tanto del movimiento local (R_{co}) como de la trayectoria global (R_{global}) y la distancia entre dos círculos locales consecutivos (D). En la Fig. 2, las líneas continuas representan el movimiento del centro de la boquilla, mientras que el círculo verde ilustra la huella del chorro de material (R_{spray}). Los parámetros que dieron algunas de las pérdidas de rebote más bajas y que representaban en gran medida lo que se ve en la práctica con la colocación de concreto lanzado de mezcla seca fueron los siguientes: $R_{co} = D = R_{spray} = 110$ mm (4.3 pulg.). Para obtener una superficie relativamente plana al final de la pulverización, el movimiento global se ajustó de modo que $R_{co} + R_{spray} = R_{global} = 220$ mm (8.7 pulg.). La Fig. 3 es una foto tomada durante la pulverización de una prueba con el movimiento global superpuesto del centro de la boquilla, tal y como lo indica el sistema de control del robot.

Usando este movimiento de pulverización constante y reproducible, Schaeffer pulverizó el mismo diseño de mezcla de concreto seco preenvasado (ACI Grading n.º 2² con microsílíce y cemento) con una única variación: el caudal de agua en la boquilla aumentó en un rango de consistencias.

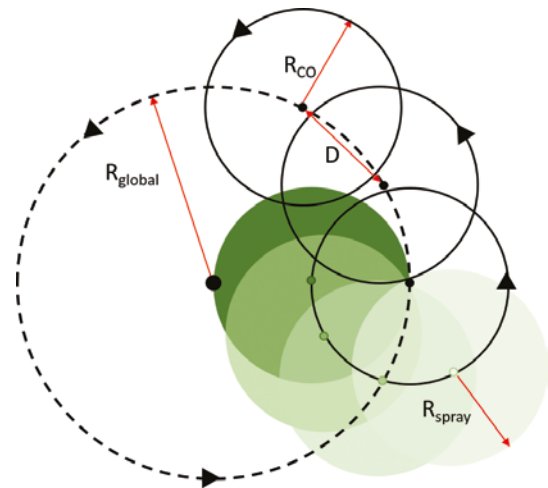


Fig. 2: Posición del centro de la boquilla (línea continua) y huella del chorro de material (círculo verde) durante el pulverizado con movimiento planetario

La consistencia del concreto fresco en sitio se midió utilizando un penetrómetro estático¹⁰. Estas sesiones de pulverizado tuvieron lugar en el Laboratorio de Concreto Lanzado de la ULaval utilizando equipos de tamaño real. Una máquina de pulverizado de concreto lanzado de mezcla seca alimentaba el material en seco con una manguera flexible de 37.5 mm (1.5 pulg.) de diámetro conectada a un conjunto de boquillas Hydromix en el que el anillo de agua se colocaba 2 m (6.6 pies) antes de una punta de boquilla tipo espiroleta (en la Referencia 11 se detalla una configuración similar). Para cada ensayo, la cantidad de rebote se midió con precisión utilizando un sistema en el que el peso de la máquina de mezcla seca, el caudal de agua en la boquilla y el peso del panel de ensayo se controlaron durante toda la sesión de pulverización¹¹.

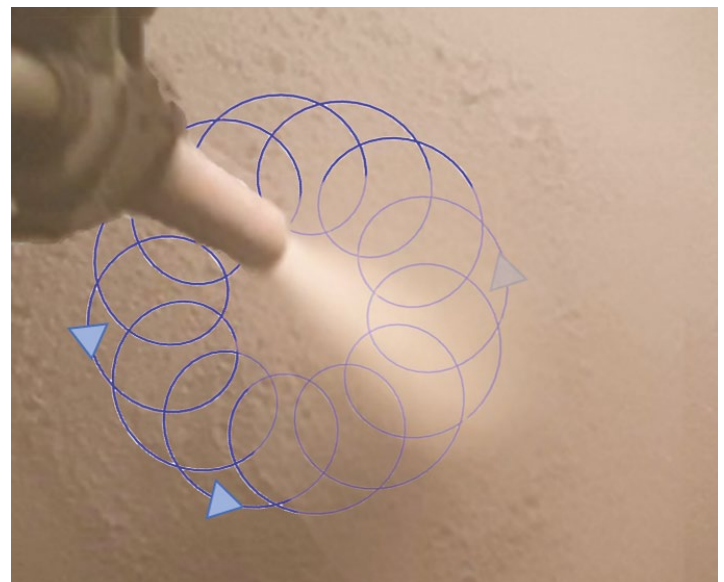


Fig. 3: Foto tomada durante el pulverizado de una prueba con el movimiento superpuesto del centro de la boquilla (contorno azul).

Los resultados del rebote, la consistencia y el caudal de agua en la boquilla se presentan en las Fig. 4 y 5. Se observó una fuerte correlación entre la consistencia y el flujo de agua en la boquilla. Los valores de rebote observados para esta colocación de mezcla seca fueron significativamente inferiores a los experimentados en investigaciones anteriores o en la práctica. Años de experiencia con este diseño de mezcla de concreto lanzado en seco en el Laboratorio de Concreto Lanzado de la ULaval han dado como resultado un rebote de entre el 18 y el 25% para la boquilla manual cuando se proyecta en un panel de acero vertical, como el que se utilizó. Aquí, la cantidad de rebote se redujo drásticamente utilizando el brazo robótico y el movimiento planetario, resultando tan bajo como el 8% para las consistencias más húmedas. La forma de las relaciones propuestas en la Fig. 5 sugiere que se obtuvo un valor mínimo, ya que las curvas se aplanan al aumentar el contenido de agua. Las buenas correlaciones obtenidas experimentalmente son el resultado de una instalación de lanzamiento que permite un control riguroso en tiempo real de los parámetros de pulverización (flujo de aire, flujo de agua, masa suministrada y masa acumulada en el panel).

Debe tenerse en cuenta que los valores típicos de consistencia encontrados en la práctica con la colocación de concreto lanzado de mezcla seca para reparaciones estructurales de concreto serían alrededor de 0.8 a 1.2 MPa (115 a 175 psi) y alrededor de 1.5 a 2.5 MPa (220 a 365 psi) para una aplicación en minería. La consistencia muy “seca” de ≈ 4.1 MPa (595 psi) reportada no sería aceptable en la práctica, sin embargo, se mantuvo aquí para servir como ilustración de la tendencia general. Una discusión más avanzada sobre la noción de consistencia y especialmente la consistencia estable más húmeda para la colocación de mezcla seca se puede encontrar en la Referencia 10.

¿Un valor “intrínseco” de rebote?

Los valores de rebote obtenidos en este proyecto utilizando el brazo robótico y su movimiento de boquilla específico son tan bajos que se asemejan a lo que puede verse en la colocación de mezcla húmeda. La forma de las relaciones propuestas en la Fig. 5 sugiere que se obtuvo un valor mínimo, ya que las curvas se aplanan con el aumento del contenido de agua. Incluso si este movimiento planetario aún

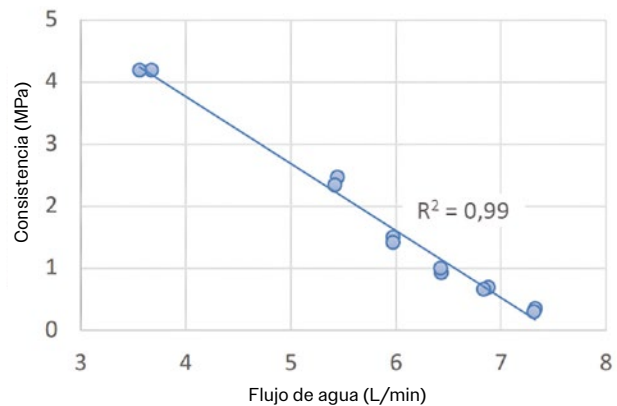


Fig. 4: Relación experimental obtenida entre la consistencia del concreto lanzado fresco de mezcla seca y el flujo de agua medido en la boquilla (Nota: 1 MPa = 145 psi; 1 L = 0.3 gal.)

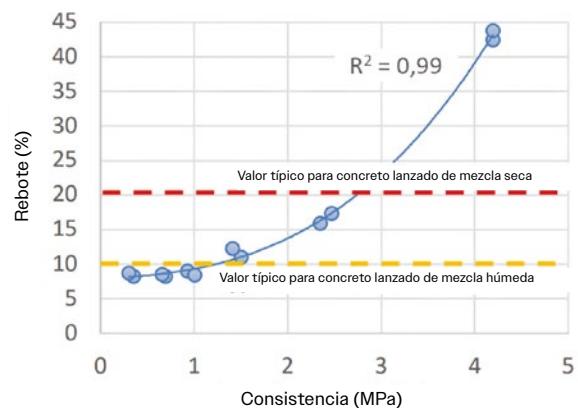


Fig. 5: Relación experimental obtenida entre las pérdidas por rebote y la consistencia del shotcrete de mezcla seca en estado fresco (Nota: 1 MPa = 145 psi)

puede perfeccionarse, la precisión y repetibilidad que proporciona el brazo robótico es un gran aliado para formular la hipótesis de que se ha alcanzado un valor de rebote “fundamental” o “intrínseco” para este particular diseño de mezcla seca de concreto lanzado. Como se observa en las Fig. 2 y 3, la colocación del concreto lanzado utiliza un patrón de deposición muy regular y constante: velocidad constante de la boquilla, ángulo perpendicular constante entre la boquilla y el sustrato, sin cambios bruscos de dirección y sin esquinas ni laterales del panel. En opinión del autor, este rebote remanente de la colocación del concreto lanzado, o rebote intrínseco, se caracteriza únicamente por el propio diseño de la mezcla. Además, se puede proponer que cada diseño de mezcla pueda ser probado para este rebote intrínseco, abriendo un nuevo enfoque para que los proveedores de materiales de concreto mejoren sus formulaciones.

Este rebote intrínseco no es la única observación realizada en el laboratorio. Debido al movimiento planetario, en el laboratorio durante la pulverización, se observó fácilmente lo que parece ser una zona “más blanda” inmediatamente debajo del chorro

pulverizado. Esa zona blanda se comporta de forma diferente al resto del sustrato cuando los agregados impactan contra ella, lo que ha dado lugar a que se la denomine zona fluida o zona favorable al rebote. Esto ha llevado a otros a investigar la zona situada directamente bajo el pulverizado de material durante el lanzado de concreto¹²⁻¹⁴. En términos más científicos, las propiedades reológicas de un determinado espesor del concreto lanzado recién aplicado frente a la boquilla, que se encuentra inmediatamente debajo de la corriente de material entrante, se modifican de forma similar al efecto de la vibración en el concreto. En esta zona fluida, los agregados entrantes se incrustan más fácilmente en el concreto recién lanzado, dando lugar a una zona en la que se reduce el rebote.

Se cree que el movimiento planetario de la boquilla facilita la creación de esta zona más blanda de sustrato durante la colocación, causando los bajos valores de rebote obtenidos durante los ensayos. Este análisis debe realizarse en el contexto del equipo de pulverización específico utilizado, junto con el flujo de aire, la salida de material seco seleccionada y el diseño de la mezcla analizada. La elección adecuada y los ajustes correctos del material y de los parámetros de pulverización deben seguir siendo realizados por un experto lanzador de concreto.

¿Qué sigue?

Estos dos conceptos expuestos, la zona fluida y el rebote intrínseco, son clave para comprender los mecanismos implicados en la colocación del concreto lanzado. Por otra parte, es necesario seguir estudiando la relación aparente entre el movimiento de la boquilla y la noción de esta zona fluida, así como el efecto resultante en las pérdidas por rebote. Es necesario esforzarse por caracterizar y definir mejor el movimiento de la boquilla y la trayectoria general. Un entorno de simulación por computadora podría ser un primer paso interesante para explorar e identificar las variables más significativas antes de pasar a la validación a escala real. Es importante investigar las propiedades de esta zona fluida e identificar medios que faciliten su presencia durante la colocación del concreto lanzado para reducir aún más y mantener bajos los valores de rebote. En el Laboratorio de Concreto Lanzado de la ULaval se está trabajando en la evaluación de las propiedades de esta zona fluida en la colocación

de mezcla seca. Un enfoque que incluye el balance de energía y los esfuerzos de contacto estáticos y dinámicos, junto con la medición experimental de los cambios en esta zona fluida durante la colocación, ya ha proporcionado resultados para avanzar en la comprensión de este método de colocación¹⁵.

Resumen

Este programa de investigación demuestra que es posible seguir mejorando y optimizando el proceso de colocación del concreto proyectado. El uso de un brazo robótico totalmente programable produjo unas condiciones de ensayo únicas y óptimas que condujeron a unos valores de rebote excepcionalmente bajos en el lanzado de concreto de mezcla seca, permitiendo al mismo tiempo la observación de la zona de fluido. El impacto en la industria es una reducción del rebote basada en la mejora del movimiento y los trazados de las boquillas para favorecer esta zona de fluido. Paralelamente, ofrece nuevas vías para la optimización del diseño de las mezclas y de los equipos de suministro, especialmente en el campo de la geometría de las boquillas³ y para la automatización de los movimientos de éstas.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias al Centro de Investigación sobre Infraestructuras de Concreto (CRIB, por sus siglas en inglés) de la Universidad Laval por facilitar las instalaciones y el equipo necesarios para llevar a cabo este proyecto. También agradecen el apoyo financiero ofrecido por la Asociación Americana de Concreto Lanzado (ASA, por sus siglas en inglés), a Dome Technologies y a Kajima Corporation.

Referencias

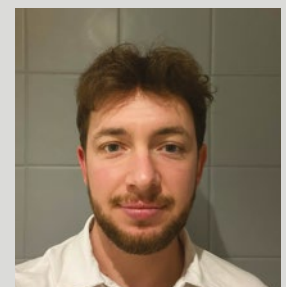
1. Morgan, D.R., and Jolin, M., Shotcrete: Materials, Performance and Use, first edition, CRC Press, United Kingdom, 2022, 510 pp.
2. Ginouse, N.; Jolin, M.; and Bissonnette, B., "Effect of Equipment on Spray Velocity Distribution in Shotcrete Applications," Construction and Building Materials, V. 70, Nov. 2014, pp. 362-369. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.07.116

3. Siccardi, P.; Laradh, A.; Bérubé, S.; and Jolin, M., "The Influence of the Nozzle Tip on Shotcrete Spray Performance," Shotcrete, Spring 2020, pp. 16-19.
4. ACI Committee 506, "Shotcrete—Guide (ACI PRC-506-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 52 pp.
5. CP-60(15), "Craftsman Workbook for ACI Certification of Shotcrete Nozzlemen," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 92 pp.
6. Germain, T., "Automatisation et optimisation des techniques de mise en place du béton projeté," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2021, 107 pp.
7. Schaeffer, J., "Automatisation du procédé de béton projeté: Contrôle du rebond et vision numérique," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2022, 112 pp.
8. Monfort, M.; Kim, J.; Schaeffer, J.; Pastorelli, F.; Germain, T.; and Jolin, M., "Sprayed Concrete Automation: A Unique and Complete Digital Fabrication Method," Digital Concrete 2024 – Supplementary Proceedings, D. Lowke, N. Freund, D. Böhler, and F. Herding, eds., 9 pp.
9. Pastorelli, F., "Automatisation du procédé de béton projeté: Robotisation et optimisation," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2021, 112 pp.
10. Jolin, M.; Beaupré, D.; and Mindess, S., "Test to Characterise Properties of Fresh Dry-Mix Shotcrete," Cement and Concrete Research, V. 29, No. 5, May 1999, pp. 753-760. doi:10.1016/S0008-8846(99)00071-X.
11. Lemay, J.-D.; Jolin, M.; and Gagné, R., "Ultra Rapid Strength Development in Dry-Mix Shotcrete for Ultra Rapid Support in Challenging Mining Conditions," Shotcrete, V. 16, No. 4, Fall 2014, pp. 14-19.
12. Laradh, A., "Mise en place, énergie et rebond dans le béton projeté," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2020, 106 pp.
13. Paquet, S., "Caractérisation du béton projeté par voie sèche: Une approche rhéologique et énergétique," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2021, 109 pp.
14. Dionne-Jacques, S.-I., "Le rebond en béton projeté par voie sèche: Influence de la rhéologie et de l'énergie sur le comportement de la surface réceptrice," MS thesis, Université Laval, Québec, QC, Canada, 2024, 190 pp.
15. Kim, J.B.; Monfort, M.; and Jolin, M., "Shotcrete Placement – Report on Recent Research from Rheology to Robotics," Shotcrete Convention & Technology Conference, Austin, TX, March 3, 2024.

Maxime Monfort, estudiante miembro de ACI, es licenciado por la École nationale supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM, por sus siglas en inglés) de París, Francia. Obtuvo un máster en ingeniería civil en la Université Laval, Québec, QC, Canadá, y está cursando un doctorado. Sus intereses de investigación incluyen el uso de tecnologías para medir el espesor de un muro de un área local que se está pulverizando, y la automatización del proceso de lanzamiento de concreto. Ha sido presidente de la Sección de Estudiantes del ACI Université Laval durante los dos últimos años. Es miembro del Subcomité 238-A del ACI, Student Workability.



Julien Schaeffer es licenciado por la escuela francesa de ingeniería ENSAM de París. Obtuvo su máster en ingeniería civil en la Université Laval en 2023, donde estudió la automatización del concreto lanzado y la optimización del rebote. Tras un puesto en WSP Canadá, actualmente trabaja para el grupo EGIS en Marsella, Francia, como ingeniero estructural involucrado en el diseño de grandes proyectos de construcción en acero, concreto y madera.



Jongbeom Kim, estudiante miembro de ACI, es candidato a doctor en ingeniería civil e hidráulica por la Universidad Laval. Su investigación doctoral, " Colocación de Concreto Lanzado de Mezcla Seca: Pruebas, modelos y simulación de procesos para minimizar el rebote", explora diseños de mezcla optimizados y dinámicas de colocación para minimizar el rebote. Mediante la combinación de automatización, modelización computacional y ensayos a escala real, busca un concreto lanzado sostenible y de alto comportamiento para la rehabilitación de infraestructuras. Kim obtuvo su licenciatura y maestría en la Universidad Nacional de Kangwon, en Gangwon (Corea del Sur), donde investigó los sistemas de vacíos de aire y la durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto reforzado con fibras mediante el proceso de lanzado de concreto de mezcla húmeda.



Marc Jolin, FACI, es Catedrático del Departamento de Ingeniería Civil e Hidráulica de la Universidad Laval. Se doctoró en la Universidad de Columbia Británica, Vancouver, BC, Canadá, en 1999. Miembro activo del Centre de Recherche sur les Infrastructures en Béton (CRIB), sus investigaciones se centran en el concreto lanzado y el concreto fresco. Reconocido investigador y docente, Jolin es presidente del Comité C661 del ACI, del Comité de Certificación de Inspectores de Concreto Lanzado, así como miembro de otros comités del ACI y de la Asociación Americana de Concreto Lanzado (ASA).



Título original en inglés:
Shotcrete Placement Automation
A unique effect on rebound

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



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



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

Pruebas de aceptación de cilindros curados en campo

P. *Somos una empresa contratista especializada en grandes proyectos de concreto para construcciones de varios pisos. La agencia de pruebas del propietario fabrica y ensaya cilindros curados en campo antes del postensado o de la retirada de encofrados y apuntalamiento. En proyectos anteriores, se utilizó el valor promedio de las pruebas de los cilindros curados en campo para confirmar el cumplimiento de la resistencia a la compresión in situ requerida. Esto ha sido aceptable para el ingeniero responsable, pero ahora la agencia de pruebas afirma que no se aplica el promedio, sino el valor más bajo de la resistencia individual del cilindro. Preguntamos a la agencia de pruebas de dónde obtienen este requisito y nos dicen que proviene del Código ACI 318-25.¹ ¿Podría explicarlo?*

R. La agencia de pruebas se refiere a los nuevos requisitos de cumplimiento para los criterios de aceptación de muestras curadas en campo en el Código ACI-318-25: Código de Construcción para Concreto Estructural: Requisitos del Código y Comentarios. Este se publicó en enero de 2025 y aún no se ha incorporado al Código Internacional de la Construcción (IBC). Por lo tanto, nos sorprende que esto sea aplicable a su proyecto actual, pero es un asunto de los documentos contractuales que debe tenerse en cuenta.

El IBC 2024, Capítulo 17: Inspecciones y Ensayos Especiales, Tabla 1705.3: Inspecciones y Ensayos Especiales Requeridas para la Construcción con Concreto, punto 13, establece: “Verificar in situ la resistencia del concreto antes de someter a esfuerzo los tendones en concreto postensado y antes de retirar los puntales y encofrados de las vigas y losas estructurales”.² El IBC señala que se trata de una inspección especial periódica y hace referencia a la Sección 26.11.2 en ACI 318-19.³

Cabe destacar que la Sección 26.11.2 establece los requisitos de cumplimiento para el retiro del encofrado; sin embargo, el IBC 2024 indica que dichos requisitos también se aplican al tensado de tendones en concreto postensado. El Código ACI-318-25, Sección 26.10.2(j), establece los requisitos de cumplimiento para el concreto postensado: “La estimación de la resistencia del concreto in situ se basará en ensayos de cilindros curados en campo, preparados de acuerdo con la sección 26.5.3.2(d). Alternativamente, puede basarse en otros procedimientos aprobados por el profesional de diseño autorizado.”¹ Se espera que la próxima versión del Código Internacional de Construcción (IBC) haga referencia tanto a la Sección 26.11.2 para el desencofrado como a la Sección 26.10.2 para el concreto postensado.

El Código ACI-318-25, Sección de Comentarios R26.12.4.1, justifica los nuevos requisitos de cumplimiento para las muestras curadas en obra, indicando: “Normalmente, las resistencias a la compresión in situ requeridas en las etapas de construcción designadas son valores mínimos. Por lo tanto, la resistencia de todos los cilindros curados en obra fabricados a partir de la misma muestra de concreto debe ser igual o superior a la resistencia requerida, en lugar de utilizar la resistencia promedio”.¹ La Sección 26.12.4.1(a) establece además: “Antes de aplicar fuerzas de pretensado o retirar el apuntalamiento y el encofrado que soportan vigas y losas, la resistencia a la compresión de los cilindros curados en obra será aceptable si la resistencia de todos los cilindros fabricados a partir de la misma muestra y ensayados de acuerdo con la norma ASTM C39^[4] es igual o superior a la resistencia requerida para esa etapa de construcción, a menos que el profesional de diseño autorizado apruebe lo contrario”.¹

El Código ACI-318-25, Sección 26.12.3.1(a), establece los criterios de aceptación para las muestras de curado estándar: “(1) Cada promedio de tres ensayos de resistencia consecutivos iguala o excede f'_c ” y “(2) Ningún ensayo de resistencia se reporta por debajo de f'_c en más de 500 psi si f'_c es 5 000 psi o menos; o en más de 0.10 f'_c si f'_c excede 5 000 psi”.¹ Sin embargo, el Comentario advierte que estas disposiciones para las muestras de curado estándar no son aplicables a los cilindros curados en campo. La Sección R26.12.1.1(a) del Comentario establece que “el término ‘ensayo de resistencia’ no se aplica a los resultados de los cilindros curados en campo dentro o sobre la estructura”.¹

Probetas Curadas en Campo vs. Resistencia del concreto In Situ

El Código ACI-318-25 reconoce que las probetas curadas en campo pueden no ser el indicador más fiable de la resistencia del concreto in situ debido a las diferencias en el historial de temperatura.

La Sección R26.5.3(d) del Comentario sobre el curado señala: “Al evaluar los resultados de las pruebas de cilindros curados en campo, debe tenerse en cuenta que, incluso si los cilindros están protegidos de la misma manera que la estructura, es posible que no experimenten el mismo historial de temperatura que el concreto de la estructura. El calor de hidratación puede disiparse de forma diferente en los cilindros que en el elemento estructural”.¹

Otro documento del ACI también cuestiona la fiabilidad de las probetas curadas en campo para evaluar la resistencia del concreto in situ. ACI 306R-16: Guía para la colocación del concreto en clima frío, Sección 8.2, sobre cilindros curados en obra, establece: “Los cilindros curados en obra, proyectados para ser curados con la estructura, fueron ampliamente aceptados en el pasado como representativos de la resistencia más baja probable del concreto. Los cilindros curados en obra pueden causar confusión y retrasos innecesarios en la construcción. El uso de cilindros curados en obra es inapropiado y no debe permitirse en la colocación del concreto en clima frío. Esto se debe principalmente a la dificultad de mantener los cilindros en cualquier aproximación al estado de la estructura. En su lugar, se deben utilizar pruebas in situ, pruebas de madurez o ambas.”⁵

ACI 228.1R-19: Informe sobre Métodos para Estimar la Resistencia del concreto In situ, Sección 1.2, indica que tradicionalmente se ha obtenido una medida de la resistencia del concreto en la estructura utilizando cilindros curados en obra, pero que estas resistencias medidas “pueden ser significativamente diferentes de las resistencias del concreto in situ”.⁶ ACI 228.1R-19, ACI 301-20,⁷ y ACI 325.11R-19⁸ proporcionan orientación al utilizar métodos distintos de las muestras curadas en campo para evaluar la resistencia del concreto in situ. ACI 228.1R-19, Sección 8.2.3, recomienda los siguientes requisitos para calificar la aceptabilidad del concreto in situ: “(1) la resistencia a la compresión promedio estimada, in situ, con base en un procedimiento de prueba in situ estándar de ASTM sea igual al menos al 85% de f'_c ; y (2) ningún resultado de prueba estime que la resistencia a la compresión sea inferior al 75% de f'_c .”⁶ Por lo tanto, la práctica industrial estándar para evaluar la resistencia del concreto in situ mediante “procedimientos alternativos” se basa en el promedio.

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

Tiempo en Horas	Equivalencia de temperatura, psi.	Curados en campo, psi.	Diferencia, psi.	En campo / equivalencia, %
19	522	232	290	44
26	1 030	566	464	55
67	2 437	1 929	508	79

Resultados de las pruebas de curado por equivalencia y curado en campo

El Código ACI-318-25, Sección R26.11.2.1(e), sobre el retiro del encofrado, permite el curado por equivalencia de temperatura de cilindros según la norma AASHTO R 72-22⁹ como un procedimiento alternativo al uso de especímenes curados en campo. Los especímenes curados por equivalencia de temperatura no están sujetos a los mismos criterios de aceptación que los especímenes curados en campo. La norma AASHTO R 72-22 describe los procedimientos para la fabricación y el curado de especímenes de concreto a la misma temperatura medida en un elemento de concreto. Los resultados de la prueba de “curado por equivalencia” se consideran un indicador más confiable de la resistencia del concreto in situ que los especímenes cúbicos y cilíndricos curados en campo. Los datos de las pruebas de Williams¹⁰ y Roller et al.¹¹ se muestran en las Tablas 1 y 2.

Las pruebas de Williams ilustran diferencias en la resistencia del concreto a una edad temprana, de aproximadamente 500 psi, entre cubos curados por igual y curados en campo.¹⁰ Roller et al.¹¹ mostraron una diferencia de resistencia de más de 1 000 psi entre cilindros curados por igual y curados en campo. Algunos profesionales de diseño con licencia utilizan los “resultados promedio de las pruebas de muestras curadas en campo”, reconociendo inherentemente que las resistencias a partir de curado en campo suelen ser artificialmente bajas debido a las diferencias en el historial de temperatura.

Impacto de los Criterios de Aceptación del Código ACI-318-25 para Probetas Curadas en Campo

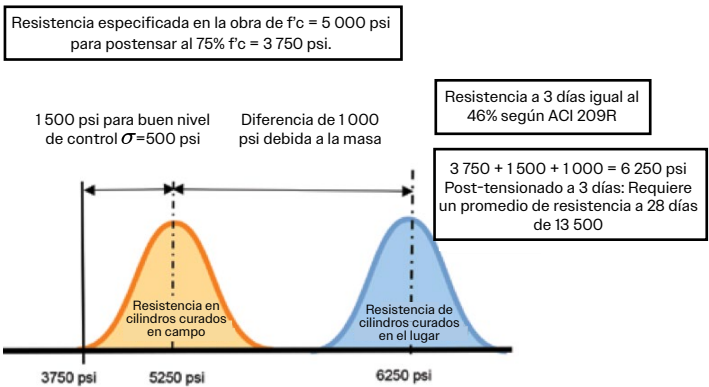
La Figura 1 ilustra los criterios de aceptación del Código ACI-318-25 y su impacto en la resistencia a la compresión del concreto requerida para iniciar labores de tensado o desencofrado. Estas operaciones suelen

Tabla 2:
Comparación de la resistencia a compresión entre cilindros curados en el campo y los curados por equivalencia de temperatura. (De la referencia 11)

	Al soltar			A los 7 días.		
Viga postensada	Equivalencia de temperatura, psi.	Curados en campo, psi.	Diferencia, psi.	Equivalencia de temperatura, psi.	Curados en campo, psi.	Diferencia, psi.
A	9 110	6 470	2 640	8 910	8 360	550
B	8 210	6 840	1 370	9 850	8 590	1 260
C	8 510	7 790	720	9 100	8 000	1 100
D	7 630	7 000	630	9 140	8 140	1 000
Promedio	8 360	7 020	1 340	9 250	8 270	980

realizarse a los 3 días para cumplir con el cronograma del propietario. En muchos proyectos, se utiliza el f'_c especificado de 5 000 psi para losas suspendidas, con un requisito común que permite el tesado o desencofrado al 75% de f'_c o 3 750 psi.

La norma ACI 214R-11, Sección 4.5,¹² recomienda desviaciones estándar para las pruebas de construcción basadas en patrones de control; para este ejemplo, considere un patrón de control “bueno” con una desviación estándar de 500 psi. Dado que ninguna muestra curada en campo puede tener una resistencia inferior a 3 750 psi, añadir 1 500 psi (tres veces la desviación estándar) para evitar cualquier retraso a los 3 días proporciona una resistencia a la compresión promedio de 5 250 psi. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la muestra curada en campo es menor que la resistencia real en obra, y para este ejemplo, utilizamos 1 000 psi como diferencia de resistencia. Esto significa que la resistencia del concreto debe promediar 6 250 psi a los 3 días. La norma ACI 209R-92, Tabla 2.2.1,¹³ indica que la resistencia a los 3 días es aproximadamente el 46 % de la resistencia a los 28 días. Por lo tanto, para evitar resultados bajos en las pruebas de muestras curadas en campo que retrasarían el cronograma, se requiere una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de aproximadamente 13 500 psi, lo que representa un f'_c de aproximadamente 12 000 psi. Tradicionalmente, los contratistas de concreto utilizan una resistencia del concreto de aproximadamente 7 000 psi para proporcionar valores de resistencia a los 3 días que cumplan con los requisitos para las etapas de construcción. Los criterios de aceptación del Código ACI 318-25 para muestras curadas en campo incrementan la resistencia requerida para las operaciones de construcción.



Otros procedimientos aprobados por el profesional de diseño autorizado

Se pueden utilizar otros procedimientos en lugar de las muestras curadas en obra. El Código ACI-318-25, Sección 26.11.2.1(e), establece los requisitos de cumplimiento que indican: “La estimación de la resistencia del concreto in situ se basará en ensayos de cilindros curados en obra o en otros procedimientos para evaluar la resistencia del concreto, aprobados por el profesional de diseño autorizado y, cuando se solicite, por la autoridad competente en materia de construcción”. Los procedimientos alternativos para estimar la resistencia a la compresión in situ, según la Sección R26.11.2.1(e), incluyen los puntos (a) hasta (e):

- (a) Ensayos de cilindros colados in situ de acuerdo con la norma ASTM C873/C873M¹⁴;
- (b) Resistencia a la penetración de acuerdo con la norma ASTM C803/C803M¹⁵;
- (c) Resistencia a la extracción de acuerdo con la norma ASTM C900¹⁶;

(d) Mediciones del índice de madurez y correlación de acuerdo con la norma ASTM C1074¹⁷; y

(e) Curado de cilindros por equivalencia de temperatura de acuerdo con la norma AASHTO R 72.

Los procedimientos (b), (c) y (d) requieren datos suficientes sobre los materiales utilizados en la obra para demostrar la correlación entre las mediciones de la estructura y la resistencia a la compresión de los cilindros moldeados o de los núcleos perforados. El procedimiento (e), curado de cilindros por equivalencia de temperatura de acuerdo con la norma AASHTO R 72, puede utilizarse para representar con mayor precisión la temperatura del elemento de concreto durante el curado. Dado que el curado por equivalencia de temperatura se considera un “procedimiento alternativo”, los criterios de aceptación del código ACI 318-25 para especímenes curados en campo no resultan aplicables.

Sin embargo, el profesional de diseño certificado debe proporcionar los criterios de aceptación para el curado de especímenes mediante equivalencia de temperatura. Un método alternativo común en muchos proyectos de construcción es el método de madurez, según la norma ASTM C1074. Esta norma internacional de ASTM exige el uso de otras pruebas para verificar el índice de madurez antes de realizar operaciones críticas, como el desencofrado o el postensado.¹⁷ Otra opción de prueba incluye pruebas de edad temprana de cilindros moldeados en campo, instrumentados con sensores de madurez. Las resistencias medidas se comparan con las estimadas a partir de la relación resistencia-madurez establecida y del índice de madurez de los cilindros de prueba. Si la diferencia supera constantemente el 10 %, se debe desarrollar una nueva relación entre resistencia y madurez. No creemos que estas pruebas de cilindros deban evaluarse con base en los criterios de aceptación para especímenes curados en campo, ya que el método de madurez es un procedimiento alternativo.

Frecuencia de Pruebas

Los requisitos de cumplimiento del Código ACI-318-25, Sección 26.12.2.1, sobre la frecuencia de las pruebas son solo para concreto evaluado y aceptado con base en cilindros de curado estándar.¹ ¿Cuál es la frecuencia de las pruebas de las muestras curadas en campo? Normalmente, las muestras de curado en campo se fabrican al mismo tiempo y a partir de la misma muestra de concreto que las muestras de

curado estándar. Para una colocación de concreto de losa suspendida de 350 yd³, el Código ACI-318-25, Sección 26.12.2.1, requiere muestras de concreto de al menos tres camiones, cada una por 150 yd³ de concreto. Esto proporciona tres grupos de muestras: curado estándar y curado en campo. El número de muestras de curado en campo de cada concreto se determina en la reunión de preconstrucción. La Sección 26.5.3.1 exige que, para las muestras curadas en obra, utilizadas para verificar la idoneidad del curado y la protección, se incluya en los documentos contractuales la información de diseño que indique el número, el tamaño y la frecuencia de las pruebas. Esto también aplica a las muestras curadas en obra utilizadas para verificar la resistencia del concreto para el postensado y el desencofrado.

Número de muestras a ensayar

El Código ACI-318-25, Sección 26.12.1(a), establece que la evaluación del concreto endurecido debe basarse en ensayos de resistencia, definidos como el promedio de las resistencias a la compresión de al menos dos cilindros de 4 x 8 pulgadas o dos de 6 x 12 pulgadas fabricados a partir de la misma muestra de concreto, curado de acuerdo con la norma ASTM C31/C31M¹⁸ y ensayado de acuerdo con la norma ASTM C39/C39M a los 28 días o a la edad de ensayo designada para f'_c . Con base en esto, la evaluación del hormigón endurecido en las etapas de construcción no constituye un “ensayo de resistencia” según la definición del Código ACI-318-25. La Sección R26.12.1(a) del Comentario establece que “el término ‘ensayo de resistencia’ no se aplica a los resultados de cilindros curados en campo dentro o sobre la estructura”.¹

Por lo tanto, el profesional de diseño con licencia debe determinar y especificar cuántas muestras curadas en campo deben fabricarse y ensayarse. La Sección R26.12.4.1 del Comentario establece que “todos los cilindros curados en campo fabricados a partir de la misma muestra de concreto deben tener la resistencia requerida o superior”.¹

¿Requiere esto que se ensayen todas las muestras curadas en campo o solo algunas? Si se ensaya un cilindro y la resistencia excede la requerida, ¿es necesario ensayar otras muestras? Si la primera muestra curada en campo presenta una resistencia inferior a la requerida, ¿deberían ensayarse otras muestras curadas en campo? Si la primera muestra curada en campo presenta una resistencia inferior, ¿cuál es el tiempo de espera adecuado para ensayar

otra muestra curada en campo para aprovechar el curado adicional que reemplaza el resultado de la prueba anterior? Si hay tres conjuntos de especímenes curados en campo, cada uno de una muestra de concreto diferente, ¿debería haber un espécimen de prueba de cada conjunto? El profesional de diseño certificado debe proporcionar instrucciones, preferiblemente en los documentos del contrato, pero al menos en la reunión de pre-construcción.

Núcleos de Concreto

En algunas ocasiones, no se dispone de cilindros curados en obra para realizar pruebas. En ocasiones, los cilindros están dañados, no se fabrican o no se fabrican o curan correctamente. En estas situaciones extremas, se pueden realizar pruebas de núcleos para determinar si la resistencia del concreto in situ cumple con la especificada para la etapa de construcción. El Código ACI-318-25, Sección 26.12.7.1(d), establece que el concreto en el área representada por las pruebas de núcleos se considerará estructuralmente adecuado si “(1) El promedio de tres núcleos es igual al menos al 85% de f'_c ” y “(2) Ningún núcleo es inferior al 75% de f'_c ”. El Código ACI-318-25 establece que los núcleos pueden utilizarse para investigar resultados bajos en pruebas de resistencia cuando no se cumplen los criterios de aceptación de las muestras de concreto curado estándar y del concreto proyectado (Secciones 26.12.3.1(c) y 26.12.5.1(d), respectivamente). El Código no contempla esta opción cuando no se cumplen los criterios de aceptación de las muestras curadas en campo. Si se utilizaran núcleos, ¿se aplicaría el promedio de tres núcleos o el requisito sería el valor de núcleo más bajo?

Reunión de pre-construcción del concreto

Si no se estipula en los documentos contractuales, se debe celebrar una reunión obligatoria de pre construcción del concreto para discutir:

- Criterios de aceptación para especímenes curados en campo (Código ACI-318 o a menos que el profesional de diseño autorizado lo permita);
- Frecuencia de las pruebas para especímenes curados en campo;
- Número de especímenes curados en campo a fabricar;
- Número de especímenes a ensayar;
- Selección de especímenes curados en campo de cada muestra de concreto a ensayar;

- Tiempo entre pruebas cuando la siguiente prueba de curado en campo invalida los resultados de las pruebas anteriores, como 2, 4, 12 o 24 horas;
- Procedimientos alternativos que pueden utilizarse en lugar de especímenes curados en campo;
- Permitir el curado por equivalencia de temperatura reportada que incluya criterios de aceptación; y
- Aplicabilidad de las pruebas de núcleo y de sus criterios de aceptación en lugar de las muestras curadas en campo.

Referencias

1. Comité ACI 318, “Código de Construcción para Hormigón Estructural: Requisitos del Código y Comentarios (ACI CODE-318-25)”, Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 2025, 702 págs.
2. ICC, “Código Internacional de Construcción (IBC) 2024”, Consejo Internacional de Códigos, Washington, D.C., 2024, 753 págs.
3. Comité ACI 318, “Requisitos del Código de Construcción para Hormigón Estructural (ACI 318-19) y Comentarios (ACI 318R-19)”, Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 2019, 624 págs.
4. ASTM C39/C39M-24, “Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 8 págs.
5. Comité 306 del ACI, “Guía para el hormigonado en clima frío (ACI 306R-16)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2016, 23 págs.
6. Comité 228 del ACI, “Informe sobre métodos para estimar la resistencia del hormigón in situ (ACI 228.1R-19)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2019, 48 págs.
7. Comité 301 del ACI, “Especificaciones para la construcción con hormigón (ACI 301-20)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2020, 69 págs.
8. Comité 325 del ACI, “Informe sobre técnicas aceleradas para la pavimentación de hormigón (ACI 325.11R-19)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2019, 28 págs.
9. AASHTO R 72-22, “Práctica estándar para el curado por igualación de especímenes de prueba de concreto”, Asociación Estadounidense de funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte, Washington, D.C., 2022, 5 págs.
10. Williams, A., “Sistemas de curado por igualación de temperatura”, Propiedades del concreto a edades tempranas, SP-95, J.F. Young y T.C. Holland, eds., Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 1986, págs. 1-16. doi: 10.14359/6269

11. Roller, J.J.; Russell, H.G.; Bruce, R.N.; y Hassett, B., "Efecto de las temperaturas de curado en vigas de puentes de concreto de alta resistencia", PCI Journal, V. 48, n.º 2, marzo-abril. 2003, págs. 72-79. doi: 10.15554/pci.03012003.72.79
12. Comité ACI 214, "Guía para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del hormigón (ACI 214R-11) (Reaprobado en 2019)", Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 2011, 16 págs.
13. Comité ACI 209, "Predicción de la fluencia, la contracción y los efectos de la temperatura en estructuras de hormigón (ACI 209R-92) (Reaprobado en 2008)", Instituto Americano del Hormigón, Farmington Hills, MI, 1992, 47 págs.
14. ASTM C873/C873M-23, "Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón colados in situ en moldes cilíndricos", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 4 págs.
15. ASTM C803/C803M-25, "Método de prueba estándar para la resistencia a la penetración del hormigón endurecido", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2025, 5 págs.
16. ASTM C900-23, "Método de prueba estándar para la resistencia a la extracción del hormigón endurecido", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 10 págs.
17. ASTM C1074-19, "Práctica estándar para la estimación de la resistencia del hormigón por el método de madurez", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 11 págs.
18. ASTM C31/C31M-25, "Práctica estándar para la fabricación y el curado de especímenes de hormigón en el campo", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2025, 7 págs.

Agradecimientos a Bruce A. Suprenant, Consultor de Concreto, Tucson, Arizona, EE. UU.; James E. Klinger, Consultor de Concreto, Antioch, California, EE. UU.; y a Eamonn Connolly, McHugh Engineering Group, LLC, Chicago, Illinois, EE. UU., por proporcionar la respuesta a esta pregunta.

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos de ACI y respondidas por el personal de ACI o por uno o más miembros de sus comités técnicos. Las respuestas no representan la postura oficial de ningún comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a lacey.stachel@concrete.org.

Título original en inglés:

Concrete Q&A:

Acceptance testing of field-cured cylinders

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



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

La Presa Libertad.

La presa La Libertad gana el premio ACI Members' Choice

La presa La Libertad, ubicada en los municipios de Linares y Montemorelos, México, ha sido seleccionada como ganadora del premio ACI Members' Choice 2025. La presa de concreto compactado con rodillo tiene 45 m (148 pies) de altura y 1 950 m (6 398 pies) de longitud, y abastece agua potable, riego y flujo ecológico para la región de Monterrey, en México.

El proyecto destaca prácticas de construcción sostenible mediante el uso de concreto de bajas emisiones ECOPact, lo que permitió reducir aproximadamente 80 000 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

El éxito de la presa no habría sido posible sin el esfuerzo, la dedicación y el compromiso de cada persona involucrada en el proyecto. Su profesionalismo, innovación y compromiso con la sostenibilidad han sido fundamentales para completar una infraestructura que garantizará el suministro de agua para Monterrey y dejará un legado positivo para las futuras generaciones.



Fig. 1: La Presa Libertad



CONCRETO
LATINOAMÉRICA