

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

VOLUMEN V | NÚMERO 11 | NOVIEMBRE 2024



Ganadores de los Décimos
Premios Anuales a la Excelencia en
Construcción con Concreto del ACI

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

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina

Dr. Raúl Bertero

Colombia

Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabián Augusto Lamus Báez

Costa Rica

Ing. Minor Murillo Chacón

Ecuador Centro y Sur

Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín

Guatemala

Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón Roldán

México Noreste

Dr. Jorge Maurilio Rivera Torres

México Noroeste

Ing. Óscar Ramírez Arvizu

México Centro y Sur

Ing. José Alfredo Rodríguez Campos

México Sureste

Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala

República Dominicana

Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



Complejo Cultural y Deportivo Sangareddy, en Telegana, India. Ganador del segundo lugar en la Categoría de Estructuras de Baja Altura en los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI 2024, que se entregaron el pasado 4 de noviembre en la Convención de Otoño del ACI en Filadelfia, Pensilvania, EE.UU. La estructura cubre la arena principal, una sub-arena, gimnasio, centro cultural, alberca, anfiteatro, campos de foot ball y cricket así como una pista para correr, todos ellos acordes a los estándares internacionales para cada caso. La losa de cubierta es como una placa doblada con claros de diferentes tamaños según el área que cubren, y fue fabricada con concreto autocompactable (SCC) con una curvatura tridimensional única y cambios continuos de sus ángulos a lo largo de los claros. En este innovador complejo se utilizó concreto de 40 MPa (5,800 PSI) de resistencia, fabricado con fly ash y usando un diseño sustentable que reduce el impacto en su huella de carbono, consumo de energía y agua. Esta edificación enfatiza la sustentabilidad, el involucramiento de la comunidad y una alta calidad en su medio ambiente.

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Noviembre del 2024. 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. Jorge Maurilio Rivera Torres
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI.(2022-2024)

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editores Asociados:

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

Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

Diseño Gráfico:

LDI. Hannia Annett Molina Frías
LDG. Anakaren Lozano González

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

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

REVISORES EDITORIALES

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


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

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



¡Únete hoy!

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



CONTENIDO

1 | Remodelación del TSX Broadway – Palace Theater

Ganador del Reconocimiento Excelencia en
Construcción en Concreto ACI 2024

5 | Exceso de Sobre diseño en Mezclas de Concreto para Resistencia: Causas y Soluciones

Por Luke M. Snell, Karthik H. Obla, y Nicholas J. Carino

2 | Ganadores de los Décimos Premios Anuales a la Excelencia en Construcción con Concreto del ACI

6 | Punto de Vista. Alejándose de la Confusión de la Neutralidad de Carbono

Por Koji Sakai y Takeju Matsuka

3 | Evolución de Reglamentos y Reglas: El Viaje de las Ideas a la Práctica

Por David G. Tepke y Stephen S. Szoke

7 | Preguntas y Respuestas. Estrategias para Obtener Mezclas de Concreto de Bajo Carbono para Pavimentación

4 | Convirtiendo Resistencia de Núcleos en Resistencias Especificadas Equivalentes del Concreto

Por Charles C. Thiel Jr. y K. Dirk Bondy

CONVOCATORIA

CONCRETO LATINOAMÉRICA

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

*Descarga la Guía
de Publicación*



¡Escanea para
conocer los
requisitos!

*Llena la Carta
de Solicitud*



¡Escanea para
completar tus
datos!

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

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

01

Remodelación del TSX Broadway – Palace Theater

Ganador del Reconocimiento Excelencia en Construcción en Concreto ACI 2024

Con 48 pisos, el TSX Broadway brinda luz y entretenimiento a los visitantes en el corazón de Times Square en Nueva York, NY, Estados Unidos. El edificio de 660,000 ft² (61,300 m²) está construido alrededor del histórico Palace Theater, que ahora se encuentra dos pisos arriba de su ubicación original. La pantalla LED de 18,000 ft² (1,670 m²) de la torre, una de las más grandes de Times Square, se abre para revelar un escenario en voladizo que se proyecta 30 ft (9 m) sobre el nivel de la calle para servir como un recinto para conciertos al aire libre. El proyecto de remodelación que es igualmente impresionante es un aporte significativo a un futuro sostenible por la reutilización a gran escala de la instalación existente.

TSX Broadway se terminó en 2023 y fue creado cambiando y reensamblando partes de una estructura existente que incluyó el teatro de 111 años de antigüedad. La estructura original se combinó con elementos nuevos para producir un complejo revitalizado de entretenimiento, tiendas minoristas y un complejo hotelero. El teatro fue renovado para incluir amenidades modernas y se elevó 31 ft (9.4 m) desde su ubicación a nivel de la calle para hacer espacio para el hotel y para las tiendas minoristas en la parte de abajo.

“Mi faceta favorita del proyecto de remodelación fue la gran confianza en el concreto y en la reutilización de la estructura existente, junto con la adición de una construcción nueva,” dijo el jurado David Millar, CEO del Instituto de Concreto de Australia. “Me encanta que se haya utilizado concreto porque fue suficientemente flexible para colocarlo en un área tan congestionada, y su resistencia y tenacidad aseguró que el edificio sería capaz de alcanzar grandes alturas y que el concreto daría por resultado una solución sustentable con impacto mínimo en el ambiente.”



TSX Broadway ubicado en Times Square Ciudad de Nueva York

Fue entregado por el contratista Pavarini McGovern con el contratista de concreto Sorbara Construction, el equipo del proyecto incluyó al desarrollador L&L Holding Company, el diseño arquitectónico fue de la firma Mancini Duffy y de la firma de ingeniería Severud Associate, junto con el ingeniero de cimientos y levantamiento del teatro Urban Foundation/Engineering, LLC; los arquitectos de preservación fueron PBDW Architects; la mecánica, electricidad y plomería (MEP) estuvo a cargo del consultor Cosentini Associates; y el ingeniero civil/geotécnico fue Langan Engineering and Environmental Services. Tec-Crete Transit Mix Corp, suministró el concreto y Perkins Eastman proporcionó el revestimiento del edificio.

Diseño, Construcción, Levantamiento del Teatro

El equipo del proyecto hizo un uso extensivo de tecnologías de concreto con emisiones reducidas de carbono, incluyendo una mezcla de alto desempeño de 14,000 psi (96.5 MPa). Para los cimientos se utilizó un total de 4,700 yd³ (3,600 m³) de concreto y 325 toneladas americanas (295 toneladas métricas) de acero de refuerzo, y la superestructura se construyó con 25,750 yd³ (19,700 m³) de concreto, 3,540 toneladas americanas (3,200 toneladas métricas) de acero

liso y 73.5 toneladas americanas (66.7 toneladas métricas) de alambre de acero de alta resistencia para postensado.

La estructura del hotel está soportada por una plataforma construida sobre el Palace Theater que ocupa la mayor porción de la parte oriental del sitio de 100 x 160 ft (30 x 49 m). Super-columnas en las esquinas del teatro soportan armaduras para transferir las cargas de la torre.

La transformación empezó extendiendo las super-columnas hacia arriba y demoliendo la torre original para encontrarse con ellas. Debido a que las super-columnas de acero existentes no podían soportar las vigas de transferencia planeadas, el incremento de cargas vivas y la nueva estructura del hotel (que requirieron 25 millones lb [111,206 kN] por columna) el equipo de construcción las revistió con concreto de 14,000 psi reforzado con barras de refuerzo Grado 80. Sobre el octavo nivel, las nuevas columnas se construyeron con concreto reforzado de alta resistencia. El equipo también perforó cajones por debajo del nivel del suelo.

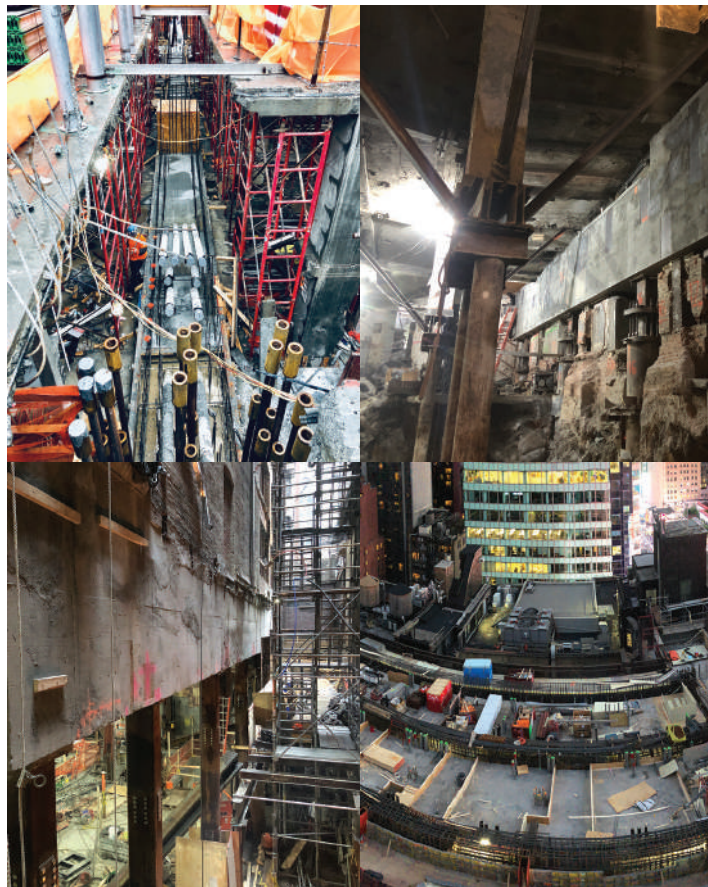
La característica central y más decisiva de la estructura es un sistema que comprende tres vigas de concreto postensadas (PT) unidas por dos vigas transversales en una losa de cimentación colada en sitio que sirve como un diafragma horizontal. Las vigas PT fueron instaladas entre los pisos 12 y 16 sobre el nivel de la calle para darles más soporte a los pisos intermedios y permitir que se retiraran las armaduras existentes. Debido a su enorme tamaño (44 ft [13 m] de profundidad y extensión de 140 ft [43 m]), el equipo las colocó en cuatro elevaciones. La primera elevación estaba soportada sobre armaduras existentes y después postensadas utilizando un gato hidráulico especializado de 1,700 toneladas americanas (1,540 toneladas métricas) para soportarse a sí misma, así como el peso de la siguiente elevación. Las vigas se postensaron gradualmente después de la colocación de cada elevación restante.

“Se nos dijo que las vigas que sostienen la torre del hotel son las vigas de concreto postensado más largas y más grandes coladas en sitio en el Hemisferio Occidental,” dijo Cawsie Jijina, Director de Severud Associates. “Si bien no sabemos si puede demostrarse que esto es cierto y que, por tanto, pudiéramos enorgullecernos de ello, de lo que sí estamos incluso más orgullosos es de que diseñamos una forma de erigirlas sobre un teatro de 111 años de antigüedad y 125 ft (38m) sobre el nivel de la calle sin cimbra ni apuntalamiento.”

Para elevar todo el teatro esos sorprendentes 31 pies hasta su nueva ubicación entre los Niveles 3 y 8, el equipo primero construyó traveses de concreto

de 6 ft (2 m) de profundidad por debajo de los gruesos muros de carga de mampostería del teatro. Las traveses se instalaron en segmentos por debajo de la armadura de la planta baja colocando los postes de acero en anclas en los muros y después reemplazando el ladrillo por concreto en longitudes de 30 a 40 ft (9 a 12 m). Los segmentos adyacentes se acoplaron para formar un anillo continuo en el perímetro del teatro. Posteriormente, montaron los postes de elevación y los gatos hidráulicos por debajo de la trabe en anillo.

En seguida, construyeron la torre del hotel de 32 pisos con columnas de concreto reforzado, pantallas de impermeabilización y pisos de placa plana encima del sistema de transferencia. Se volvieron a postensar las vigas de transferencia después de la construcción de cada segmento de la torre de 10 pisos para controlar esfuerzos y limitar deflexiones. Se tensaron un total de 36 tendones de alta resistencia – 210,000 ft (64,000 m) – a 2,000 kip (8,900 kN) cada uno. Los movimientos se monitorearon estrechamente a medida que la construcción avanzaba. En el momento de la terminación, las vigas mostraron una deflexión de tan sólo ¼ pulgada (6 mm).



Construcción del TSX Broadway – Proyecto de Remodelación del Palace Theater

El Concreto fue Esencial para Lograr la Construcción Oportuna

Cada uno de los componentes significativos del proyecto – el teatro, la elevación, las vigas de transferencia, los sótanos adicionales y la torre del hotel – fueron desafiantes por sí solos. Ejecutar todos ellos en una zona urbana fue una operación extremadamente compleja que se benefició en gran medida del uso del concreto.

La flexibilidad de la colocación del concreto dio cabida a la congestionada ubicación, en tanto que la alta resistencia y tenacidad del material permitió que el edificio llegara a la sorprendente altura de 581 ft (177 m). Integrar la obra del concreto con otras operaciones ayudó a facilitar la programación del proyecto. El uso del concreto también le permitió al equipo cumplir con un requerimiento determinante del proyecto: conservar el 25% de las losas originales de concreto para mantener toda el área de pisos de la estructura.

“En el espacio de amenidades abajo del sistema de transferencia – pisos del 1 al 12 – tuvimos que retirar cada dos pisos para incrementar la altura. Simultáneamente tuvimos que retirar cada tercera columna para crear un ambiente más abierto y seguir conservando todas las losas de los pisos restantes – y tuvimos que duplicar la capacidad de carga del piso. Esto duplicó la longitud de las columnas no arriostradas e incrementó la carga en cada una de las columnas restantes por un factor de ocho,” explicó Jijina. Aquí es donde la versatilidad del concreto como un medio de construcción se encuentra en todo su esplendor. Incrementamos el diámetro de las columnas agregando una nueva columna de anillo exterior alrededor de la columna antigua y adherimos una nueva losa superior de concreto reforzado a la losa antigua – manipulando ingeniosamente el refuerzo en la nueva losa para trabajar en conjunto con el refuerzo de la losa antigua. Utilizamos anclas adhesivas instaladas posteriormente para garantizar que todo funcionara bien.”

Estrategias de Sostenibilidad

Todas las mezclas de concreto substituyeron hasta 40% del cemento estándar por materiales cementantes suplementarios que redujeron la huella de carbono en aproximadamente 3,400 toneladas americanas (3,080 toneladas métricas). El refuerzo

del concreto se hace casi 100% de acero reciclado y el acero estructural contiene más del 90% de material reciclado.

Los componentes adicionales redujeron todavía más el impacto ambiental de la construcción de la torre y de la operación en curso:

- El nombramiento de Monumento Histórico con el que cuenta el Palace Theater lo protege contra demolición, pero su ubicación original y un solo sótano limitó las modificaciones que pudieron haberse hecho a sus sistemas mecánicos. Elevar el teatro y agregar un segundo nivel de sótano permitió tener mayor flexibilidad para mejorar el desempeño del edificio;
- Si bien la demolición completa del resto del edificio existente hubiera sido conceptualmente más sencilla, también habría maximizado el volumen de residuos. Conservar el 25% de la construcción de pisos redujo el desperdicio y disminuyó la demanda de materiales nuevos;
- Los muros cortina de alto desempeño incrementaron la eficiencia en cuanto al uso de energía del edificio;
- Los avanzados sistemas MEP incluyen unidades de ventilación con recuperación de energía que transfieren el calor de las corrientes de aire de escape para preacondicionar el aire que entra de afuera, una caldera de condensación de alta eficiencia, energizada por gas, que capta el calor del escape de combustión, un sistema de gestión de edificios de última generación, así como monitoreo en el uso de energía; y
- Sensores de ocupación que apagan luces y reajustan los niveles de calor, ventilación y aire acondicionado (HVAC [por sus iniciales en inglés]) para reducir el uso de energía.

“El proyecto de Remodelación del TSX Broadway – Palace Theater es un gran ejemplo de cómo el diseño innovador en concreto, la construcción y el uso de materiales pueden proporcionar soluciones de larga duración a la vez que cumplen con los retos de sustentabilidad y ambientales,” expresó Millar.

Título original en inglés:
TSX Broadway – Palace
Theater Redevelopment.
Overall winner of the 2024
ACI Excellence in Concrete
Construction Awards

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



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



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

02

Ganadores de los Décimos Premios Anuales a la Excelencia en Construcción con Concreto del ACI

Este año, el ACI celebró una década de honrar los logros sobresalientes en la industria con los Premios ACI a la Excelencia en la Construcción con Concreto. En los últimos 10 años, hemos tenido el privilegio de reconocer a personas y organizaciones que han establecido nuevos puntos de referencia para la excelencia, la innovación y el liderazgo. Ahora más que nunca, el diseño y la construcción en concreto deben integrar técnicas y tecnologías creativas para mantenerse al día con las demandas económicas, ambientales y estéticas en constante evolución. Los Premios a la Excelencia del ACI siguen siendo la plataforma perfecta para reconocer estos excepcionales proyectos de concreto de todo el mundo.

Las nominaciones fueron presentadas por miembros de la red de filiales y socios internacionales del ACI, así como por nominaciones en línea. Los proyectos se evaluaron en las ocho categorías siguientes:

- Estructuras de poca altura (hasta tres pisos).
- Estructuras de mediana altura (de 4 a 15 pisos).
- Estructuras de gran altura (más de 15 pisos).
- Puentes.
- Concreto decorativo.
- Superficies planas.
- Infraestructuras, y
- Reparación y restauración.

La competitividad de las candidaturas de este año requirió un jurado de 35 expertos del sector (32 jueces de categoría y tres jueces generales). El jurado valoró los proyectos en función de sus méritos arquitectónicos y de ingeniería, su creatividad, sus técnicas de construcción innovadoras, sus soluciones o el uso innovador de materiales, su ingenio, su sostenibilidad y resiliencia, y su funcionalidad.

Los proyectos ganadores se anunciaron en la Gala de Premios a la Excelencia en la Construcción de Concreto ACI 2024 durante la Convención del Concreto ACI el 4 de noviembre de 2024, en Filadelfia, PA, Estados Unidos. Los proyectos ganadores fueron:



Excelencia Global, Reparación y Restauración, Primer Lugar

TSX Broadway - Teatro Palace, Nueva York, NY, EE.UU.

Nominador: Consejo de la Industria del Concreto del Capítulo del ACI de la Ciudad de Nueva York

Propietario: L&L Holding Company

Estudios de arquitectura: Mancini Duffy y PBDW Architects (Platt Byard Dovell White Architects LLP) (Preservación)

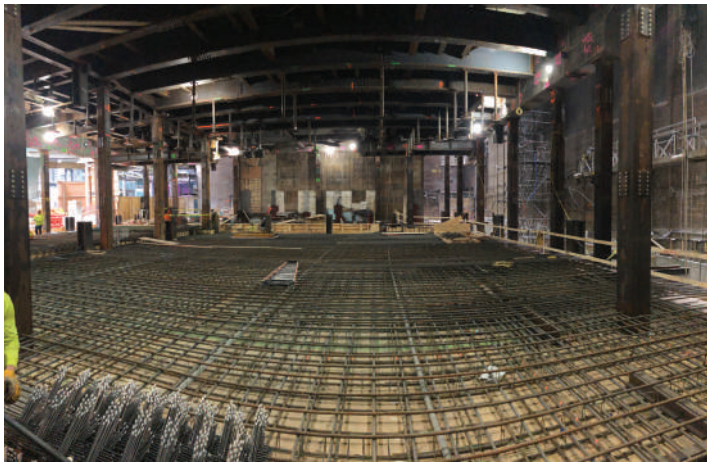
Empresa de ingeniería: Severud Associates Consulting Engineers P.C.

Contratista general: Pavarini McGovern, LLC (Jefe de obra)

Contratista de concreto: Sorbara Construction Corp. (Superestructura)

Proveedor de concreto: Tec-Crete Transit-Mix Corp.

Otros: Urban Foundation/Engineering, LLC; Perkins Eastman; Cosentini Associates; y Langan



TSX Broadway, un complejo de 48 plantas en Times Square, Nueva York, supuso la transformación de un edificio existente y la integración de métodos avanzados de concreto para soportar su estructura elevada y sus elementos históricos. El proyecto utilizó concreto de alto comportamiento, incluyendo una mezcla de 14,000 psi (96.5 MPa) y un uso extensivo de cemento de escoria, para minimizar el impacto ambiental y mejorar la durabilidad. Las prácticas sostenibles fueron fundamentales para la remodelación, incluidos los sistemas de eficiencia energética, los muros cortina de alto comportamiento y la reutilización significativa de los materiales existentes, lo que contribuyó a reducir la huella de carbono y a minimizar los residuos de la construcción. La remodelación conservó el 25% de la estructura original, redujo al mínimo los residuos e incorporó elementos sostenibles como sistemas de eficiencia energética y materiales de alto contenido

reciclado, lo que redujo significativamente su impacto ambiental.

Reparación y restauración, Segundo Lugar

One Wall Street, Nueva York, NY, EE.UU.

Propietario: Macklowe Properties

Estudio de arquitectura: SLCE Architects

Empresa de ingeniería: DeSimone Consulting Engineering

Contratista general: J.T. Magen & Company Inc.

Contratista de concreto: Broad Construction

Proveedor de concreto: U.S. Concrete, Inc. Nueva York

Otros: Broad Construction; Domani Inspection Services, Inc. y Martin Marietta Materials, Inc.



El proyecto One Wall Street, la mayor conversión de oficinas en condominios de Nueva York, transformó un edificio histórico de oficinas en 566 unidades residenciales y un espacio comercial, incorporando seis pisos adicionales sobre la estructura original. Esta reutilización adaptada implicó la integración de la nueva construcción de concreto con la estructura de acero existente, utilizando losas de concreto aligeradas para reducir el peso y soportar las nuevas adiciones, preservando al mismo tiempo la estética histórica del edificio. El planteamiento minimizó el grosor de la losa de transferencia de apoyo en el piso 30, redujo la necesidad de reforzar los pilares existentes, logró las alturas deseadas entre pisos residenciales y ayudó a cumplir los objetivos de sostenibilidad de Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Silver. El proyecto demostró prácticas sostenibles al minimizar los residuos de demolición, reducir la huella de carbono con concreto ligero y proporcionar viviendas muy necesarias en una zona comercial.

Estructuras de Baja Altura, Primer Lugar

Casa Olalé San Agustinillo, Santa María Tonameca, Oaxaca, México

Propietarios: Jean Paul y Dominique Rigaud

Estudio de arquitectura: Jean Paul Rigaud y Arturo Gaytan-Covarrubias

Estudio de ingeniería: Esteban Astudillo

Contratista general y de concreto: Leonel Silva Méndez

Contratista de concreto: Leonel Silva Méndez

Proveedor de concreto: Cemex, S.A.B. de C.V



Esta preciosa y amplia casa blanca está situada en el tranquilo y familiar pueblo pesquero de San Agustinillo, en la espectacular costa de Oaxaca, en el Pacífico mexicano. Casa Olalé San Agustinillo debe su nombre a la famosa expresión francesa “ooh lá lá”. La casa demuestra que el concreto es una solución resistente en zonas de huracanes e incorpora materiales de construcción innovadores para minimizar el impacto ambiental, incluyendo cemento bajo en carbono, concreto fotoluminiscente y concreto translúcido. Diseñada de forma sostenible, cuenta con ventilación natural, habitaciones de doble altura, recogida de aguas pluviales, un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales y electrodomésticos de bajo consumo, con el objetivo de obtener la certificación EDGE.

Estructuras de Poca Altura, Segundo Lugar

Complejo Deportivo y Cultural, Sangareddy, Telangana, India

Nominador: Instituto hindú del concreto (ICI)

Propietario: Instituto Hindú de Tecnología de Hyderabad

Estudio de arquitectura: HCP Design, Planning and Management Pvt. Ltd.

Contratista general y de concreto: Larsen & Toubro Limited - Buildings & Factories

Proveedor de concreto: Larsen & Toubro Limited - Buildings & Factories



El Complejo Deportivo y Cultural es la segunda fase del proyecto del campus y ocupa una superficie de 11 hectáreas. Consta de un pabellón principal, un pabellón secundario, un gimnasio, un centro cultural, una piscina, un anfiteatro, un campo de fútbol y de críquet y una pista de atletismo de nivel internacional. La losa de azotea de todos los edificios es un elemento de placa plegada con distintas alturas libres a lo largo de las instalaciones, como el gimnasio, el subestadio, el centro cultural y el estadio principal. Los elementos de placa plegada de concreto autocompactable (SCC por sus siglas en inglés) tienen una curvatura tridimensional (3-D) única con un ángulo que cambia continuamente a lo largo de toda la longitud. Este innovador complejo utilizó concreto autocompactable de grado M40 (40 MPa [5,800 psi]) con cenizas volantes para reducir el carbono incorporado y adoptó prácticas sostenibles, como diseños energéticamente eficientes, fuentes de energía renovables y sistemas de conservación del agua. A pesar de las dificultades, el proyecto hace hincapié en la sostenibilidad, la participación de la comunidad y la alta calidad ambiental interior.

Estructuras de Baja Altura, Mención Honorífica

Edificio de Pits del Grand Prix de F1, Las Vegas, NV, EE.UU.GE

Propietario: Liberty Media Corporation

Representante del propietario: Miller Project Management, LLC

Estudio de arquitectura: Klai Juba Wald Arquitectura + Interiores

Empresa de ingeniería: John A. Martin & Associates, Inc. (JAMA)

Contratista general: The PENTA Building Group

Contratista de concreto: All 5's Construction

Proveedor de concreto: Nevada Ready Mix

Otros: CMC Rebar, Doka USA Ltd., y Merli Concrete Pumping of Nevada, Inc.



All 5's Construction fue el contratista de concreto del edificio de pits de 25,400 m² (273,000 ft²) para el Grand Prix de Fórmula 1 Heineken Silver de Las Vegas de 2023, un proyecto logísticamente complejo que proporciona instalaciones de vanguardia para los aficionados y los equipos de carrera. La estructura de tres plantas, que cuenta con garajes para el equipo de pits, espacios de atención al público y una plataforma de observación en la azotea, consumió 15,554 m³ (20,344 yd³) de concreto y se completó en solo 3.5 meses gracias a una colaboración eficiente y a un diseño innovador del concreto. El edificio de pits utilizó una estructura de concreto con marcos resistentes a momento, que incluía columnas de concreto estructural y cubiertas y vigas de concreto estructural. La ausencia de muros cortantes o núcleos de concreto en la estructura permitió una planta abierta en cada piso, con una extensión de 305 m (1,000 pies lineales). Este proyecto contribuye a la transformación de Las Vegas en una gran capital del deporte y muestra técnicas de construcción avanzadas, como el concreto autocompactable y materiales reutilizables.

Concreto Latinoamérica | Noviembre 2024

Estructuras de Mediana Altura, Primer Lugar

Centro Cal Poly William y Linda Frost, San Luis Obispo, CA, EE.UU.

Nominador: Capítulo Sur de California del ACI

Propietario: Universidad Politécnica Estatal de California (Cal Poly), San Luis Obispo

Estudio de arquitectura: ZGF Architects LLP

Empresa de ingeniería: John A. Martin & Associates, Inc. (JAMA)

Contratista general: Gilbane, Inc.

Contratista de concreto: Largo Concrete, Inc.

Proveedor de concreto: CalPortland

Otros: San-Mar Construction y Largo Concrete, Inc.



Este centro cuenta con 11,744 m² (126,417 ft²) de oficinas, aulas, laboratorios y salas de conferencias diseñadas para fomentar la colaboración interdisciplinaria y la innovación. El concreto es un elemento arquitectónico clave, con 1,530 m³ (2,000 yd³) de concreto autocompactable utilizado para los elementos verticales y 8,710 m² (93,802 ft²) de plataformas elevadas formadas con el sistema Titan HV Shoring. Diseñados para una tasa de colocación de presión hidrostática, los muros se construyeron con quince paneles de 6.4 m (21 pies) de altura utilizando vigas de refuerzo EFCO y recubiertos con madera contrachapada Swanson Multipour HDO. Todos los elementos verticales se moldearon con el agente desmoldante Nox-Crete Bio-Nox y presentaban esquinas de 90 grados. Hay más de 2,230 m² de pisos de concreto pulido. Todos estos elementos contribuyen a la certificación LEED Gold del edificio y a la perfecta integración de los espacios académicos.

Estructuras de Mediana Altura, Segundo Lugar

Palacio de Justicia y Edificio Federal Fred D. Thompson, Nashville, TN, EE.UU.

Propietario: Administración de Servicios Generales de Estados Unidos (GSA, por sus siglas en inglés)

Estudio de arquitectura: Fentress Architects (diseño/construcción AOR)

Empresa de ingeniería: Thornton Tomasetti

Contratista general: Hensel Phelps Construction Co.

Contratista de concreto: InfraStructure, LLC

Proveedor de concreto: GATE Precast Company

Otros: Precision Stone Setting Company, Heidelberg Materials y Michael Graves & Associates, Inc./TMPartners, PLLC



El Palacio de Justicia y Edificio Federal Fred D. Thompson cuenta con 26,000 m² (280,000 ft²) y alberga ocho salas de vistas, 11 despachos de jueces y un estacionamiento en el sótano. El diseño combina elementos clásicos y contemporáneos, empleando concreto moldeado in situ y prefabricado, incluido cemento fotocatalítico para los paneles de la fachada, que proporciona beneficios de autolimpieza y reducción del smog. Dado que las cargas de las explosiones son mucho mayores que las cargas laterales típicas, el equipo del proyecto desarrolló conexiones personalizadas para los paneles prefabricados de concreto de la fachada, conexiones que también se adaptarían a las deflexiones del suelo y a otros tipos de carga. Como resultado, hay más de 700 tipos diferentes de conexiones entre los paneles de la fachada. El proveedor de prefabricados, GATE Precast Company, se aseguró de que cada ubicación de conexión, así como el refuerzo en cada lugar, se optimizara para maximizar la estética y mantener los requisitos estructurales. Este proyecto, la mayor estructura fotocatalítica de Estados Unidos, hace gala de resistencia y sostenibilidad, contribuyendo a su prevista certificación LEED Gold.

Concreto Latinoamérica | Noviembre 2024

Estructuras de Mediana Altura, Mención Honorífica

Paellón del Edificio Hélène Desmarais, HEC Montreal, Montreal, QC, Canadá

Propietario: HEC Montréal

Estudio de arquitectura: Provencher Roy + Associés Architectes Inc. (Provencher_Roy)

Estudio de ingeniería: SDK et associés inc.

Contratista general: Magil Construction

Contratista de concreto y concreto: Demix Béton (CRH Canadá)

Otros: WSP Canada Inc.



El Paellón Helene-Desmarais de HEC Montreal, en Montreal, QC, se inauguró en agosto de 2023. Se trata de un proyecto emblemático de concreto reforzado y diseño arquitectónico avanzado que ofrece espacios para estudio y aprendizaje de primer nivel en 32,500 m² (350,000 ft²). El edificio de concreto reforzado está dividido en cuatro secciones distintivas. Consta de tres alas, con un ala principal de ocho pisos, que comprende espacios para el estudio y el aprendizaje que cumplen las normas más estrictas: locales de calidad, comodidad para los usuarios, servicios tecnológicos de vanguardia y espacios flexibles. El diseño único de la estructura, que incluye grandes fachadas acristaladas anguladas en busca de modernidad, funcionalidad y sostenibilidad, requirió técnicas innovadoras de mezclas y cimbrado de concreto para lograr una gran calidad y durabilidad. Con el objetivo de obtener la certificación LEED Gold, el paellón incorpora elementos sostenibles, como pozos geotérmicos, envolventes exteriores eficientes y azoteas verdes, que contribuyen a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y las islas de calor urbanas.

Estructuras de Gran Altura, Primer Lugar

Kō'ula, Honolulu, HI, EE.UU.

Propietario: Ward Village/Howard Hughes

Estudio de arquitectura: Studio Gang

Empresa de ingeniería: BASE

Contratista general y de concreto: Hawaiian Dredging Construction Company, Inc.

Proveedor de concreto: HC&D LLC



Kō'ula es un complejo de uso mixto de 41 pisos en Honolulu, HI, inspirado en la caña de azúcar roja y con un característico exoesqueleto ondulado de concreto esculpido. La estructura consta de placas de entrepiso de concreto postensado, columnas de concreto armado y muros de cortante, con un innovador diseño de núcleo central que permite una construcción modular eficiente y un ahorro en los costos. Fue todo un reto adaptar los 41 pisos previstos al estricto límite de altura de 123 m (400 pies) de Honolulu. Para cumplir el límite de altura y, al mismo tiempo, proporcionar generosas alturas de techo dentro de las típicas unidades residenciales, se diseñó una losa de sólo 178 mm (7 pulgadas) de espesor con postensado para claros de hasta 10 m (34 pies). El edificio, que forma parte del LEED Platinum Ward Village, incorpora prácticas sostenibles, como el uso reducido de materiales y una fachada de concreto que reduce los requisitos energéticos, y aspira a obtener la certificación LEED Silver.

Estructuras de Gran Altura, Segundo Lugar

Torre Piramal Aranya Arav, Byculla East, Bombay, Maharashtra, India

Nominador: ACI India Chapter

Propietario: Glider Buildcon Realtors Private Limited

Estudio de arquitectura: Sandeep Shikre & Associates (SSA Architects)

Empresa de ingeniería: Buro Happold

Contratista general y de concreto: Larsen & Toubro Limited

Proveedor de concreto: Larsen & Toubro Limited

Otros: Innovators Facade Systems Limited



Piramal Aranya, situado en Bombay (India), es un lujoso proyecto de varias torres en el que destaca la Torre Arav, de 282 m de altura, que ofrece vistas panorámicas de los Jardines Botánicos y el Mar Árabe. El proyecto emplea tecnologías avanzadas de concreto, incluidas mezclas de alta resistencia y métodos de temperatura controlada, al tiempo que incorpora prácticas sostenibles como la conservación del agua y la reducción del contenido de cemento para disminuir las emisiones de carbono. La Torre Arav está formada por muros cortantes dúctiles unidos entre sí por vigas de acoplamiento. El núcleo central se comporta como una sección rigidizada en combinación con vigas de acoplamiento y muros a cortante. Este sistema era suficiente para hacer frente a las cargas laterales en ambas direcciones. El diseño integra diversos servicios, como pistas de trote y zonas de jardines, que mejoran la calidad de vida de los residentes.

Puentes, Primer Lugar

Puente de 105 m de longitud de concreto compuesto de ultra alto rendimiento, distrito de Kuala Langat, Selangor, Malasia

Nominador: Capítulo de ACI Malasia

Propietario: Bonus Essential Sdn. Bhd.

Empresa de ingeniería: VED Engineers Sdn. Bhd.

Contratista general: Dura Construction Sdn. Bhd.

Contratista y proveedor de concreto: DURA Technology Sdn. Bhd.



El puente de concreto compuesto de ultra alto rendimiento (UHPC, por sus siglas en inglés), de 105 m (335 ft) de longitud, cruza el río Langat en Selangor (Malasia). Utiliza UHPC para sus vigas en U prefabricadas y pretensadas, que están coronadas por un tablero estándar de concreto reforzado y una superficie de asfalto. El UHPC fue elegido por su rentabilidad, peso reducido y durabilidad a largo plazo, ofreciendo importantes beneficios de sostenibilidad con reducciones de energía y carbono incorporados del 65.6 y 58.6%, respectivamente, en comparación con las alternativas de acero estructural.

Puentes, Segundo Lugar

Enlace Transportuario de Bombay (MTHL) Paquete 1, Bombay, Maharashtra, India

Nominador: Capítulo ACI India

Propietario: Autoridad de Desarrollo de la Región Metropolitana de Mumbai (MMRDA)

Contratista general y de concreto: L&T Construction

Proveedor de concreto: L&T Construction



El Enlace Transportuario de Bombay (India) es el puente marítimo más largo del mundo, con 21.8 km (13.5 millas) de longitud y un segmento de 10.38 km (6.45 millas) con viaductos de concreto postensado y los primeros tableros de acero ortotrópicos de la India. Con 600,000 m³ (785,000 yd³) de concreto utilizados, el proyecto se enfrentó a retos logísticos únicos debido a su entorno marino, que requirió barcazas flotantes para la dosificación del concreto y una planificación exhaustiva de la durabilidad y el control de calidad. Empezar un proyecto en medio del mar plantea retos logísticos únicos, sobre todo en lo que se refiere al transporte y la manipulación de materiales de concreto. Esto implica el complicado proceso de transportar todos los ingredientes necesarios para la producción de concreto al remoto emplazamiento marino en medio de la naturaleza dinámica del entorno marino. Se emplearon técnicas avanzadas de elaboración de concreto, incluidas mezclas de alto comportamiento con cemento de escoria para reducir las emisiones de CO₂ y aumentar la durabilidad, mientras que métodos de construcción innovadores garantizaron la colocación satisfactoria de pilotes submarinos y dovelas prefabricadas a pesar de las desafiantes condiciones.

Concreto decorativo, Primer Lugar

Archives Départementales de l'Isère, Saint-Martin-d'Hères, Isère, Francia

Nominador: Capítulo ACI París

Propietario: Archives Départementales de l'Isère

Estudios de arquitectura: Arche 5 CR&ON y D3 Architects

Empresa de ingeniería: Artelia

Contratista general y de concreto: Cuynat Construcción

Proveedor de concreto: Vicat

Otros: Solétanche Bachy y Studio Erick SalletVicat



Los Archives Départementales de l'Isère, situados cerca del campus de la Université Grenoble Alpes en Isère (Francia), son un edificio de 25 m (82 ft) de altura diseñado para albergar hasta 70 km (43 mi) de archivos documentales. El edificio es también un lugar cultural dedicado a la investigación y el conocimiento que acoge al público y pretende contribuir al desarrollo de la comunidad local. La estructura presenta una combinación distintiva de bloques monolíticos de concreto y amplios ventanales, con concreto de alto comportamiento que garantiza la durabilidad, la resistencia al fuego y la estabilidad térmica, mientras que su diseño integra materiales locales y prácticas sostenibles como el uso eficiente de la energía y la reducción del impacto ambiental.

Concreto Decorativo, Segundo Lugar

Residencia SB, Scottsdale, AZ, EE.UU.

Estudio de arquitectura: Tate Studio Architects

Empresa de ingeniería: VerteX Consulting Structural Engineers

Contratista general: Build, Inc. Diseño + Construcción

Contratista de concreto: Sullivan Builders



La Residencia SB, situada en el desierto de Sonora, en Scottsdale (Arizona), es una casa de 415 m² (447 ft²) que destaca por su armoniosa integración con el entorno natural y un diseño pensado para la longevidad generacional. Los cambios en la elevación, junto con la gran expectativa de un acabado consistente, requirieron que los elementos especiales de concreto se realizaran en fases durante un largo período de tiempo. Uno de los retos más difíciles de superar fueron los factores medioambientales y meteorológicos que provocaban variaciones en el aspecto del concreto de una colocación a otra. La estrecha colaboración y la excelente comunicación fueron la clave para que el proyecto siguiera adelante y superara los obstáculos. Construida con 357 m³ (467 yd³) de concreto, la residencia cuenta con muros monolíticos moldeados in situ y escalones en voladizo, con una meticulosa atención al detalle necesaria para superar los desafíos relacionados con el clima y los cambios de elevación durante la construcción, asegurando un acabado consistente y de alta calidad.

Superficies planas, Primer Lugar

West Edge, Los Ángeles, CA, EE.UU.

Nominador: Capítulo ACI Sur de California

Propietario: Hines

Estudio de arquitectura: Gensler

Empresa de ingeniería: Labib Funk + Associates

Contratista general: W.E. O'Neil Construction

Contratista de concreto: Trademark Concrete Systems, Inc.

Proveedor de concreto: Catalina Pacific Concrete

Otros: Trademark Concrete Systems, Inc. y Rios Clementi Hale Studios



La plaza West Edge, situada en la intersección de Olympic y Bundy en Santa Mónica, California, es un nuevo centro con elementos de concreto únicos diseñados para crear un espacio acogedor para los edificios comerciales, residenciales y de oficinas circundantes. Este complejo de 18,580 m² (200,000 ft²) de oficinas, 600 apartamentos y 8,360 m² (90,000 ft²) de comercios integra elementos de concreto arquitectónico meticulosamente elaborados, como complejos muros de jardineras, pavimentos decorativos y acabados personalizados. El proyecto requirió una planificación detallada y colaboración para hacer frente a retos como la construcción sobre una estructura de cocheras y la consecución de acabados uniformes en diversos elementos de concreto. Se utilizó relleno de espuma para alcanzar las altitudes de acabado de la plaza. Los múltiples acabados de concreto y diseños de mezcla se sumaron a la intención de diseño “artístico” de usar agregados especiales sembrados y colores de cemento en los patrones alternados. Mantener la alineación de los recortes de sierra era de suma importancia, especialmente entre los acabados. Se utilizaron mezclas especiales, incluido cemento calizo, para mejorar la estética y reducir las emisiones de carbono, contribuyendo al papel de la plaza como espacio comunitario vibrante y creativo.

Superficies planas, Segundo Lugar

Instalaciones de integración de vehículos de lanzamiento de satélites polares, Sriharikota, Andhra Pradesh, India

Nominador: Capítulo ACI India

Propietario: Gobierno de la India, Departamento del Espacio, Organización India de Investigación Espacial (ISRO)

Estudio de arquitectura: Vista Architectural Solutions

Empresa de ingeniería: Tata Consulting Engineers Limited, Chennai

Contratista general y de concreto: Shapoorji Pallonji and Company Private Limited

Proveedor de concreto: Shapoorji Pallonji and Company Private Limited



El proyecto de instalaciones de integración de vehículos de lanzamiento de satélites (PSLV) en Sriharikota (India) incluye extensas obras de concreto para una plataforma de lanzamiento móvil, un edificio de ensamblaje de cohetes y modificaciones de una plataforma de lanzamiento existente. Entre las principales características figuran una pista de muros cortantes de concreto compactado con rodillo (CCR) de 1.5 km (0.9 mi) con colocación precisa de pernos y placas de suelo, una estructura de 15 pisos con armazón de CCR y mezclas de concreto especializadas para resistir las condiciones costeras y las altas temperaturas. Las medidas de sostenibilidad incluyen el uso de cemento portland puzolánico para mejorar la durabilidad, aditivos reductores de agua de alto rango e inhibidores de corrosión bipolares para mejorar el rendimiento del concreto y reducir el impacto ambiental.

Infraestructuras, Primer Lugar

Carretera Costera de Mumbai, Mumbai, Maharashtra, India

Nominador: Capítulo ACI India

Propietario: Corporación Municipal de Brihanmumbai (BMC)

Empresa de ingeniería: Larsen & Toubro Limited

Contratista general y de concreto: Larsen & Toubro Limited



El proyecto de la Carretera Costera de Mumbai, en el sur de Mumbai (India), se enfrentaba a múltiples retos, como la sensibilidad ambiental de los ecosistemas marinos, la complejidad técnica de los diseños de los claros y los métodos de construcción, y los obstáculos normativos que exigían 19 autorizaciones. Las soluciones consistieron en adoptar la tecnología de mono-pilotes, utilizar metodologías de construcción avanzadas, como técnicas de montaje de prefabricados o híbridos, y establecer plantas de procesamiento de concreto con control ecológico. Los principales esfuerzos ecológicos consistieron en reubicar corales vivos y reciclar residuos de concreto, y el proyecto fue reconocido por sus logros medioambientales.

Infraestructuras, Segundo Lugar

Réseau Express Métropolitain, Montreal, QC, Canadá

Nominador: Capítulo ACI de Québec y Ontario del Este

Propietario: CDPQ Infra

Estudio de arquitectura: Provencher Roy + Associés Architectes Inc (Provencher_Roy)

Empresa de ingeniería: AECOM/AtkinsRéalis

Contratista general: NouvLR

Proveedor de concreto: Unibéton y Béton Provincial Ltée

Otros: Béton Préfabriqué du Lac (BPDFL) Inc, Lemay, Solmatech y Rizzani de Eccher S.p.A.



La red ferroviaria Réseau Express Métropolitain, de más de 67 km (42 mi), conecta las principales regiones del Gran Montreal, QC, e incluye segmentos elevados y subterráneos con diversas estructuras de concreto. El proyecto requería una planificación exhaustiva de la durabilidad para garantizar una vida útil de 100 años, utilizando una gama de mezclas de concreto con alto contenido de materiales cementantes suplementarios para reducir la liberación de calor y la huella de carbono. Dos categorías de concretos, incluyendo siete mezclas y varias variantes destinadas a elementos colados in situ y prefabricados, se diseñaron mediante un amplio programa experimental de laboratorio para cumplir los requisitos normativos de durabilidad basados en las condiciones reales de exposición a lo largo del trazado de la red. Las avanzadas técnicas de diseño y construcción, junto con la estrecha colaboración entre los ingenieros y la continua comunicación con el cliente, facilitaron la realización con éxito de este gran proyecto de infraestructuras.

Enviar una candidatura

Si está interesado en nominar un proyecto para los Premios ACI a la Excelencia en Construcción con Concreto 2025, la fecha límite para la presentación de candidaturas es el 29 de abril de 2025. Los capítulos del ACI y los socios internacionales pueden nominar un proyecto en cada una de las ocho categorías premiadas. Los propietarios y miembros del equipo del proyecto también pueden nominar por una cuota nominal. Existen oportunidades de patrocinio. Visite www.ACIExcellence.org para obtener más información.

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

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



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



Revisor Técnico:
**M.C. Francisco
David Anguiano
Pérez**

03

Evolución de Reglamentos y Reglas: El Viaje de las Ideas a la Práctica

Por David G. Tepke y Stephen S. Szoke

Los Reglamentos son solo una parte de una larga lista de componentes necesarios para transformar una idea en una aplicación que cubra una necesidad de la industria. La Figura 1 ilustra cómo una idea podría convertirse en requerimientos legales reglamentarios y luego aplicados, y la Tabla 1 describe potenciales cronogramas asociados al proceso. Aunque el proceso puede en general llevar bastante tiempo, los desarrollos tienden a ocurrir más rápidamente cuando hay una urgencia, especialmente para revisiones o disposiciones que mejoran directamente el resguardo de la vida humana. Aquí se ofrece una visión general del proceso, incluyendo cierto contexto de las etapas y las sinergias.

Con respecto a las normas de concreto producidas por el ACI, el Manual para Comités Técnicos ACI (ACI TCM-24)¹ describe los tipos de normas que pueden ser producidas por comités del ACI, autorizadas por el Comité de Actividades Técnicas del ACI. Estos tipos de documentos incluyen requisitos reglamentarios,

reglamentos alternativos, criterios de aceptación, y especificaciones que gobiernan el diseño, la construcción, los materiales, procedimientos de ensayo, o servicios de inspección y ensayos. Las normas pueden contener requerimientos respecto al diseño, la construcción, sustentabilidad, resiliencia, durabilidad, evaluación, mantenimiento, reparación y rehabilitación, y deben ser escritas en lenguaje explícito e imperativo de forma tal que haya una única interpretación posible. Las normas de construcción se escriben para dirigir a los productores, agencias de ensayo y equipos de construcción –no al profesional que hace el diseño.

Las funciones y características de las normas de diseño, tal y como están descritas en el ACI TCM-24, se encuentran resumidas en la Tabla 2. Las Normas ACI clasificadas como requisitos reglamentarios buscan proveer requerimientos mínimos para estructuras de concreto dentro de su campo de aplicación para salvaguardar la seguridad pública, la salud y el bienestar general, o para satisfacer otras necesidades de la sociedad. Por ejemplo, el Reglamento ACI 318, “Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural”, establece los requerimientos mínimos para la seguridad pública. El Código ACI 323, “Concreto de Bajo Carbono - Requisitos del Código”, estaba en fase final de desarrollo cuando se publicó este artículo, y el Reglamento ACI 321 “Código de Durabilidad del Concreto” también está en desarrollo, son ejemplos de requerimientos mínimos para satisfacer necesidades de la sociedad, en particular aquellos asociados con el medioambiente y la longevidad de las edificaciones, respectivamente.

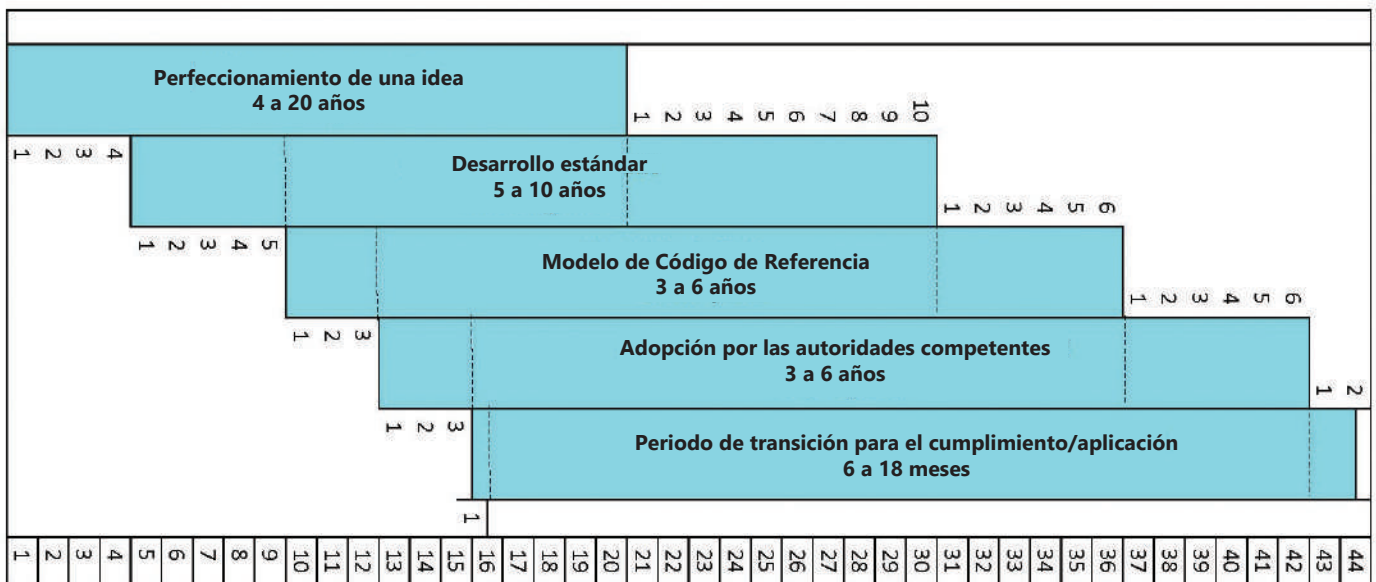


Figura 1. Calendario estratificado asociado a la elaboración y adopción de documentos

Tabla 1:
Descripción y desglose del proceso de una idea a la práctica con tiempos típicos

Etapas			Número típico de años		
			Mín. – Max.	Promedio	
1	Identificación de una necesidad o un problema		Sin cronograma definitivo		
2	Identificación de conceptos para abordar necesidades o resolver problemas		Sin cronograma definitivo		
3	La viabilidad de las soluciones se determina mediante la investigación y el desarrollo		1 a 5	5	
	3A	Desarrollo de métodos de ensayo para verificar el comportamiento previsto, según sea necesario	0 a 5		
	3B	Desarrollo de especificaciones de productos para un comportamiento mínimo, según sea necesario	0 a 5		
4	La revisión de las ideas puede resultar en más investigación y desarrollo		0 a 10	7	
	4A	Desarrollo de una guía consensuadas para primeros usuarios/agresivos, según sea necesario	0 a 10		
5	Desarrollo de la norma de diseño como un requisito mínimo del código		0 a 10		5
	5A	Desarrollo de especificaciones de construcción	Sin cronograma definitivo		
	5A1	Desarrollo de criterios y programas de verificación para acreditar al personal, según sea necesario	0 a 10		
		5A1a Educación y verificación de inspectores calificados	Sin cronograma definitivo		
		5A1b Educación y verificación de instaladores calificados	Sin cronograma definitivo		
6	Adopción por referencia por agencias gubernamentales o autoridades		1 a 6	5	
	6A	Referencia en el código de construcción modelo (sistema estadounidense)	1 a 3		
	6B	Referencia en el código de la autoridad competente. En Estados Unidos, la mayoría de las AHJ se basan en disposiciones aceptadas en códigos de construcción modelo	1 a 6		
	6C	Referencia en normas y reglamentos de organismos gubernamentales o referencia en normas o programas mantenidos por otras organizaciones desarrolladoras de normas	1 a 5		
7	El cumplimiento de la normativa es precedida por un periodo de espera/aprendizaje de 6 a 18 meses		0.5 a 1.5	1	
8	Se utilizan normas de diseño y se elaboran documentos de construcción para proyectos específicos. Puede incluir especificaciones de construcción y requisitos para el personal calificado		Sin cronograma definitivo		
9	Construcción del proyecto		Sin cronograma definitivo		
10	Comportamiento en el lugar de los elementos construidos		Sin cronograma definitivo		
11	Evaluaciones rutinarias, necesarias o de mantenimiento del comportamiento		Sin cronograma definitivo		
	11A	Mantenimiento rutinario y específico del comportamiento	Sin cronograma definitivo		
	11B	Reparación, reutilización o rehabilitación de estructuras	Sin cronograma definitivo		
	11C	Fin de la vida útil resultando en la demolición o desmantelamiento	Sin cronograma definitivo		
12	Identificación de nuevas necesidades o problemas, ver paso 1		Sin cronograma definitivo		

¿En qué Parte del Proceso Encajan los Requerimientos del Código de Estándares de la Industria?

Antes que los requerimientos reglamentarios sean desarrollados o subsecuentemente modificados, un individuo, corporación o comité debe desarrollar una idea para resolver un problema o necesidad. El interés continuado de la industria, las necesidades de la sociedad y la investigación permiten el refinamiento continuo de la o las ideas. Pueden formarse nuevos comités de consenso formado por expertos técnicos, o comités existentes pueden tomar la tarea de revisar y evaluar la investigación disponible y experiencias. Esto puede hacerse a través de la coordinación de sesiones educacionales, el desarrollo de

publicaciones técnicas especiales, o el desarrollo de guías y reportes en base al consenso. Las funciones y características de las guías y reportes generados por comités, tal y como se encuentran descritos en el ACI TCM-24, se encuentran resumidos en la Tabla 3.

Excepto por folletos (y algunos manuales) que pueden ser usados para complementar directamente una norma, los documentos adicionales se utilizan para recolectar y transmitir información o proveer recomendaciones. Una característica en común de los documentos listados en la Tabla 3 es que están escritos en lenguaje no-obligatorio. Esto quiere decir que no proveen requerimientos aplicables. En consecuencia, no es apropiado usar estos documentos para proveer dirección inequívoca o ser invocados en reglas

que tienen como objetivo dar pautas vinculantes. El papel de las normas es recolectar las partes relevantes de las guías y reportes para ofrecer direcciones específicas o reglas en lenguaje obligatorio. Una vez que los comités alcanzan consenso respecto a recomendaciones apropiadas, se desarrollan normas de diseño y construcción con lenguaje imperativo para su adopción por el usuario final.

En el caso de reglamentos de estándares de la industria, se provee dirección al profesional que hace el diseño para que lo lleve a cabo y a la autoridad competente para asegurar el cumplimiento. La norma está concebida para ser adoptada como ley, ya sea directamente o mediante referencia en un código modelo. La conformación de los comités que generan normas se encuentra en general más regulada para asegurar que todos los intereses se encuentran representados. Aunque que un comité reglamentario puede tener los mismos miembros que el cual desarrolló las recomendaciones, alternativamente puede ser un comité distinto.

**Tabla 2:
Estándares ACI¹**

Tipo de documento	Funciones y características
Código	Establece requisitos mínimos dentro de su alcance para salvaguardar la seguridad pública, la salud y el bienestar general
Caso del código	Aclarar o cambiar un código o una disposición de código existente; proporcionar nuevas disposiciones para situaciones no cubiertas por un código existente; dar como resultado un nuevo requisito de código, que se incluirá en la próxima edición del código; o proporcionar requisitos específicos en el lenguaje del código para adiciones o alternativas no cubiertas por un código existente
Documento con los criterios de aceptación	Un subconjunto de un código que está escrito de tal forma de sus requisitos se pueden coordinar directamente con un código específico
Especificación de construcción	Especificación de referencia que puede incluirse como parte de un contrato entre el propietario y el contratista
Especificación de los materiales	Especificación de referencia que prescribe requisitos para los materiales utilizados en proyectos; el documento orienta al productor y puede incorporarse por referencia en las especificaciones de construcción o en los documentos contractuales
Métodos de ensayo	Prescribir medios de prueba para la conformidad de los materiales o métodos de construcción que se proponen o utilizan en proyectos
Especificación de los servicios de inspección	Especificaciones de referencia escritas como parte de un contrato entre el propietario y la agencia de inspección
Especificación de los servicios de ensayo	Especificaciones de referencia escritas como parte de un contrato entre el propietario y la agencia de ensayos o entre el contratista y la agencia de ensayos

El comité reglamentario también puede trabajar en conjunto con otros comités para desarrollar la terminología, o en algunos casos, un único comité puede evaluar la investigación disponible y desarrollar las normas directamente, sin el paso de intermedio de otro comité o iniciativa desarrollando guías. Para la diseminación de información en las normas y promover el conocimiento en los usuarios, se pueden utilizar folletos, manuales, seminarios educacionales, webinars, programas de certificación en diseño y otras iniciativas. Una vez desarrollado, el comité reglamentario tiene la responsabilidad de actualizar y revisar el documento para que refleje el avance de la información. Esto suele ocurrir a través de nuevas investigaciones, el desarrollo de nuevos materiales, un mayor entendimiento colectivo de la información, la aceptación de nuevas ideas, problemas identificados durante la construcción, lecciones aprendidas del desempeño de estructuras existentes, fallas, y otras condiciones que llevan al progreso.

El viaje hacia convertirse en un reglamento legalmente exigible no termina cuando los requerimientos reglamentarios son desarrollados por un comité ACI. Aunque estos documentos suelen nombrarse como “Requisitos del Código de Construcción” o “Requisitos del Código”, estos requieren la adopción por parte de una autoridad con competencia jurisdiccional (AHJ, por sus siglas en inglés) u otro ente regulador para que los documentos se vuelvan obligatorios. El ejemplo más común y legalmente exigible de un AHJ es una entidad gubernamental a través de la adopción del código en su jurisdicción mediante una ley.

**Tabla 3:
Informes y Guías del ACI¹**

Tipo de documento	Funciones y características
Guía	Proporcionar recomendaciones del comité para el análisis, diseño, especificación, selección, evaluación, prueba, construcción o reparación de materiales o estructuras de concreto
Folleto	Proporcionar una guía sobre cómo aplicar los estándares de diseño en la práctica
Manual	Proporcionar orientación e instrucciones al personal de campo involucrado en diferentes aspectos de la construcción con concreto
Notas técnicas	Guías de un solo tema con un enfoque específico, generalmente orientadas a la práctica, que presentan una directriz específica sobre un tema en particular y pueden cubrir temas como métodos de diseño, construcción o reparación o pueden brindar recomendaciones sobre una tecnología de concreto
Informes sobre tecnologías emergentes	Proporciona información sobre tecnologías de concreto emergentes en el área de especialización del comité donde no hay suficiente conocimiento para escribir un informe ACI completo.

Otros ejemplos de entes reguladores pueden ser dueños privados o públicos, o una empresa con estándares alineados con las normas. Se deduce que los requerimientos reglamentarios se desarrollan con la intención de ser adoptados por un AHJ u otro ente regulador, adoptados por un código modelo para su eventual adopción por una AHJ, usados por organizaciones en la industria, o usado por profesionales en coordinación con los códigos adoptados como práctica estándar. Los requerimientos de código son el principal camino para transferir la práctica habitual a la ley; sin embargo, otras normas ACI son también referenciables en reglas, leyes y regulaciones, como la certificación de servicios de inspección y especificaciones de materiales.

Para promover el apoyo, es a menudo necesario educar a los profesionales, autoridades competentes y otros que influyen en el desarrollo y adopción de normas referenciadas. Una vez que las disposiciones o un nuevo código o especificación de la industria se han desarrollado, surge la necesidad de educar a las potenciales entidades que consideran la adopción (reguladores y administradores), usuarios (ingenieros y otros profesionales) contratistas e instaladores, y aquellos que hacen cumplir o pueden recibir preguntas de interpretación de las disposiciones (autoridades competentes). La educación es esencial previo a la adopción porque representa el camino para la adopción, uso debido, interpretación y bases del uso, y es necesario luego de su adopción para los profesionales, contratistas, instaladores y quienes las hacen cumplir. Esto puede darse en forma de documentos escritos, seminarios, webinars, instrucción universitaria formal, reuniones, transmisión informal del conocimiento u otros medios.

El código de estándares de la industria puede ser propuesto para su adopción en un código de modelo por referencia con o sin modificaciones adicionales, como es el caso del Código de Edificación Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) del International Code Council (ICC, por sus siglas en inglés). Los AHJ pueden basar su código de edificación en un código modelo o desarrollar y adoptar sus propios requerimientos del código. Cualquiera de los dos casos puede resultar en modificaciones por parte de los AHJ. Aunque la introducción en un código de referencia puede ocurrir en un ciclo de 3 años, habitualmente tarda varios ciclos (6 años o más) que un código estándar o disposiciones asociadas sea adoptado. Habitualmente, la adopción de un código modelo es dependiente de una adopción temprana por parte de autoridades progresistas o autoridades con

necesidades marcadas, lo cual ayuda a verificar los beneficios de proteger al público y la posibilidad de hacer cumplir las disposiciones. El proceso puede tardar más para nuevas metodologías de diseño, especialmente aquellas más complejas. Un código puede adoptarse como “permisible” u “obligatorio”. “Permisible” indica que el código puede ser usado y considerar que cumple. “Obligatorio” indica que él debe ser usado. Las disposiciones obligatorias pueden estar contenidas en apéndices opcionales de un código modelo. Estas disposiciones solo se vuelven obligatorias cuando los apéndices son adoptados por un AHJ.

Una vez incorporado dentro de un código de un AHJ, suele haber un período de gracia hasta que su cumplimiento es obligatorio. Esto permite a los usuarios y a quienes lo hacen cumplir, familiarizarse con los nuevos requerimientos, lo que a menudo supone una mayor educación.

Escenarios para el Desarrollo o la Modificación

Existen cuatro escenarios comunes relacionados al desarrollo de nuevas normas o modificación de normas existentes:

- El escenario 1 es el desarrollo de una nueva norma para las tecnologías de diseño y construcción basadas principalmente en las especificaciones y métodos de ensayo de los productos estándar existentes;
- El escenario 2 es el desarrollo de una nueva norma para las tecnologías de diseño y construcción que dependan del desarrollo de nuevas especificaciones estándar de productos y nuevos métodos de ensayo;
- El escenario 3 es la modificación de las normas existentes incorporando disposiciones sobre nuevos requisitos para las tecnologías de diseño y construcción sin introducir nuevos criterios para los materiales; y
- El escenario 4 es la modificación de una norma existente debido a la revisión de normas de productos o métodos de ensayo de materiales ya referenciados.

Escenario 1: Norma con una necesidad establecida, pero con una metodología no estandarizada

Típicamente, este escenario cubre la necesidad de estandarización de prácticas comúnmente utilizadas en la industria. El desarrollo del Reglamento ACI 562 “Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto Existentes,” es un ejemplo

donde la estandarización de prácticas de la industria se consideró necesaria para ayudar a asegurar que los requerimientos mínimos para proteger al público se encuentren apropiadamente cubiertos. El desarrollo y aceptación de este reglamento fue difícil debido a la diversidad de filosofías, métodos y materiales usados en la reparación.

El Reglamento ACI 562 fue publicado por primera vez en 2013². Los esfuerzos para introducir el ACI 562 como norma referenciada en el Código de Edificación Existente Internacional 2015 (IEBC)³ no fueron exitosos, principalmente debido a las objeciones expresadas respecto a su aplicación y potenciales restricciones en algunas metodologías de diseño. Algunas autoridades, sin embargo, vieron los beneficios de un reglamento de reparación de concreto y se convirtieron en los primeros en adoptarlo. Hawaii y Ohio fueron los primeros estados en adoptar el Reglamento ACI 562 en 2018. Aún con modificaciones realizadas en ediciones subsiguientes, los esfuerzos para incorporarlo como referencia en las ediciones 2018 y 2021 del IEBC fueron en vano^{4,5}. Las normas de estándares de la industria, en virtud de su desarrollo, enfoque específico y campo de aplicación, pueden incluir información altamente especializada que no es evidente o fácilmente entendible para los funcionarios u otras partes interesadas con una visión más general u otro conocimiento. En efecto, los comités de adopción de reglamentos pueden tener una gran variedad de miembros con diferente conocimiento que puede no estar alineado con el del comité que desarrolló la norma. Cuando se adopta un nuevo código, pueden surgir dudas sobre las posibles repercusiones financieras o la competencia. Se ha puesto una mayor atención en la educación de los responsables de los códigos y otras partes interesadas para demostrar las ventajas de la seguridad de la vida sin regular en exceso y crear problemas de competitividad, economía y flexibilidad en el diseño.

Durante este período, otras autoridades han adoptado el Reglamento ACI 562, incluyendo Florida, Carolina del Norte y Carolina del Sur. Estos éxitos fueron el resultado de esfuerzos en favor del reglamento liderados por miembros del ACI, con el staff del ACI ofreciendo guía y coordinación y facilitando en la colaboración y educación de gente clave con influencia en los procesos de desarrollo de reglamentos. Estas adopciones tempranas, combinadas con el apoyo de la industria de la construcción en las audiencias del ICC en 2023, resultaron en que el reglamento ACI 562 sea incluido como referencia en el IEBC 2024⁶. Es de destacar que el apoyo no vino únicamente del staff

del ACI y sus miembros sino también del National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), International Concrete Repair Institute (ICRI) y entidades externas a la industria del concreto, como el Building Owners and Managers Association (BOMA) y el National Council of Structural Engineers Association (NCSEA). Claramente, el camino fue largo, especialmente al desarrollar o modificar criterios para normas que introducen cambios significativos. Todas las personas interesadas tienen un papel en hacer exitoso el recorrido.

Escenario 2: Norma para cubrir una necesidad o demanda de alternativas de diseño o métodos de construcción

Este escenario ocurre cuando los métodos de diseño y construcción existentes no son apropiados para materiales o procedimientos alternativos. El plazo puede ser todavía más largo para el Escenario 2, en el que se requieren nuevas normas de producto y métodos de ensayo estándar como aportación para establecer unos criterios mínimos obligatorios para los criterios de diseño y construcción. Un ejemplo de esto es el desarrollo del Reglamento ACI 440.11, “Requerimientos del Código de Edificación para el Concreto Estructural Reforzado con Fibra de Vidrio (GRFP, por sus siglas en inglés),” publicado por primera vez en 2022⁷. Se requirió de investigación para entender el comportamiento del GRFP en elementos de concreto, incluyendo la durabilidad a largo plazo. Es necesario estandarizar los métodos de ensayo y, finalmente, se elaboró una especificación del producto estándar –ASTM D7957/D7957M-22, “Especificación Estándar de Barras Redondas Sólidas de Fibra de Vidrio para Refuerzo del Concreto”⁸. Esta especificación fue luego usada para refinar los criterios de diseño y construcción del Reglamento 440.11 desarrollado. Aunque el camino hasta desarrollar métodos apropiados y especificaciones fue largo, el Reglamento ACI 440.11 fue adoptado por referencia en el ICC IBC en el primer ciclo en el que fue propuesto y es parte de la edición 2024⁹. Esto se logró a través de los esfuerzos de los miembros del ACI y de otros grupos de la industria, incluyendo al American Composites Manufacturers Association (ACMA) que participaron en la formación de los principales responsables del desarrollo de códigos y testificaron en las audiencias del ICC y en las reuniones de los comités de las autoridades estatales. Otros estados más progresistas, como Carolina del Norte y Ohio, lo adoptaron en forma temprana, referenciando el Reglamento ACI 440.11 mientras seguían basando

sus códigos de edificación en la edición 2021 del IBC¹⁰. Esto requirió la educación de gente clave con influencia y la participación de miembros del ACI en el proceso de desarrollo de reglamentos a nivel estatal. Otro rol importante fue el de los esfuerzos educacionales facilitados por NEx: un centro ACI para la Excelencia de Materiales de Edificación no-Metálicos.

Escenario 3: Nuevas metodologías sin nuevos materiales

Un ejemplo del Escenario 3 es la inclusión de disposiciones respecto a la inspección estructural en el diseño y construcción de normas y reglamentos en respuesta al desempeño in situ y a la investigación en curso para entender mejor la respuesta y comportamiento del concreto bajo cargas y exposiciones, y criterios relacionados. En 1982, la Cámara de Representantes (HR, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos publicó el Reporte No. 98-621: Fallas Estructurales en Establecimientos Públicos¹¹, fue una investigación en respuesta a fallas estructurales de gran repercusión, como el derrumbe en 1973 de la torre de concreto reforzado Skyline Plaza de 26 pisos en construcción en Fairfax, Virginia; el colapso en 1979 del techo del Rosemont Arena en Chicago, Illinois; y el colapso de la pasarela del Hyatt Regency en Kansas City, Missouri de 1981. Aunque algunos criterios especiales de inspección ya habían sido incluidos en los códigos de edificación, estas fallas y el reporte de la HR¹¹ indujeron requerimientos mínimos de inspección especial más inclusivos.

Los requerimientos de inspección en el ACI 318 de 1963 eran muy básicos, con cinco requerimientos mínimos: "...debe cubrir la calidad y cantidad de materiales de concreto; el mezclado, colado y curado del concreto; la colocación del acero de refuerzo; la secuencia de montaje y conexión de elementos prefabricados; y el progreso general de las tareas"¹². En 1971, se agregó lo siguiente: "cualquier carga de construcción significativa en pisos terminados, elementos o paredes"¹³. Después, en 1989, se agregó una disposición adicional: "construcción y remoción de cimbras y reapuntalamiento"¹⁴.

Estos requerimientos de remoción de cimbras y reapuntalamiento fueron al menos en parte debido al colapso del Skyline Plaza en 1979. Los criterios de inspección continúan siendo revisados en la medida de lo necesario para asegurar requerimientos mínimos que salvaguarden adecuadamente al público. Estos criterios, que pueden o no haber estado en los documentos de construcción, ahora son citados como requerimientos mínimos.

El Capítulo 26 del Reglamento ACI 318-19(22)¹⁵ contiene 15 elementos específicos que requieren ser inspeccionados de forma periódica o permanente.

Escenario 4: Revisión de especificaciones de producto y métodos de ensayo referenciados

Un ejemplo del Escenario 4 está asociado al daño por congelamiento y deshielo. Al principio del siglo XX, se observó desmoronamiento del concreto cuando este estaba expuesto a congelamiento y deshielo y se vio a fin de la década de los 30s que algunos concretos eran más resistentes a este tipo de daño^{16,17}. Se llevaron a cabo investigaciones y desarrollos para evaluar el problema con el fin de solucionarlo. En este ejemplo de desmoronamiento del concreto, las primeras investigaciones ocurrieron desde fines de los años 30 hasta los años 50. Las primeras disposiciones reglamentarias del ACI para proveer concreto durable en clima frío de los años 40 y 50 estaban limitados a bajar la relación agua-cemento (*a/c*) del concreto. Los métodos de ensayo ASTM y las especificaciones para cemento portland con atrapamiento de aire (ASTM C175) y aditivos de atrapamiento de aire (ASTM C260) fueron aprobados en 1942 y 1950, respectivamente¹⁸. Las disposiciones para el uso de atrapamiento de aire se incorporaron en los años 60 con los requerimientos revisados hasta convertirse en disposiciones obligatorias para el contenido de aire requerido en los años 70. Los requerimientos han sido revisados en versiones subsiguientes.

Otro ejemplo del Escenario 4 es la impresión 3D de concreto. Aunque métodos de colocación por extrusión fueron desarrollados anteriormente, el concreto impreso 3D moderno fue desarrollado a fines de los 90. Con financiamiento de la Fundación ACI, el grupo de innovación ACI 93-12 está desarrollando requerimientos obligatorios para el diseño y la construcción de concreto impreso en 3D. Este esfuerzo cuenta con la vinculación del Comité de Consenso de tecnologías de construcción automatizadas para muros de concretos 3D del ICC (IS-3DACT) y el Comité Internacional F42 de ASTM, Tecnologías de Manufactura Aditiva. Ciertamente, algunas ideas pueden transformarse en disposiciones reglamentarias mucho más rápido, y otras pueden tardar más tiempo.

Uso de Estándares de la Industria

Los reglamentos estándar se escriben dirigidos al profesional de diseño con licencia (ingeniero o arquitecto) para proveer requerimientos que satisfagan las disposiciones. Cuando se adopta, se vuelve la responsabilidad del profesional ofrecer un diseño que satisfaga los requerimientos mínimos y además provea la dirección necesaria para la construcción de la estructura o componente asociado en concordancia con ese reglamento de diseño. En consecuencia, a medida que las disposiciones se introducen en una norma, surge una necesidad de tener un método para transmitir la información asociada al diseño a través de especificaciones de construcción. Estas pueden ser en forma de información de diseño directamente desarrollada por el profesional del diseño a partir de requerimientos de cumplimiento y pueden o no incluir también referencia a las especificaciones de construcción para ayudar a cumplir los requisitos. Por ejemplo, las disposiciones respecto a documentos de la construcción e inspecciones se encuentran en el Capítulo 26 del ACI 318-19(22). Estas pueden ser comunicadas por el ingeniero en documentos de proyecto o puede involucrar una especificación de la industria de la construcción. Una especificación de la industria de la construcción, como el ACI SPEC-301-20, “Especificaciones para la Construcción en Concreto,”¹⁹ provee lenguaje obligatorio que sirve como base para transmitir información para la implementación del diseño durante la construcción. Las especificaciones están pensadas para ser incluidas en documentos de construcción y son habitualmente complementadas por listas de verificación obligatorias u opcionales que provee el profesional con el objetivo de introducir la información necesaria para cumplir las directivas.

Nuevamente, el proceso de usar un reglamento no es un requisito jurisdiccional hasta que (o salvo que) sea adoptado por un AHJ. El proceso puede no terminar en el desarrollo y adopción de disposiciones en Reglamentos. Pueden ser necesarios programas de certificación para asegurar que las disposiciones para la inspección e instalación sean llevadas a cabo apropiadamente por personal calificado, otro paso importante.

Sinergias entre Reglamentos, Especificaciones e Inspecciones hacia la Construcción de Calidad

La Figura 2 presenta la relación sinérgica entre los reglamentos, las especificaciones, las inspecciones y la construcción para lograr una construcción de

calidad. Esta ilustra el proceso de transferencia de los requerimientos legales a la construcción final a través de una interpretación correcta y aplicación de los requerimientos, así como la comunicación precisa de los requerimientos de construcción por parte del profesional de diseño autorizado al contratista. La realización de la idea requiere de especificaciones de construcción que provean directivas específicas al contratista basadas en el diseño, así como una adecuada capacidad de los trabajadores y control de calidad. Las certificaciones que proveen seguridad y las inspecciones siguiendo normas son importantes para controlar la calidad.

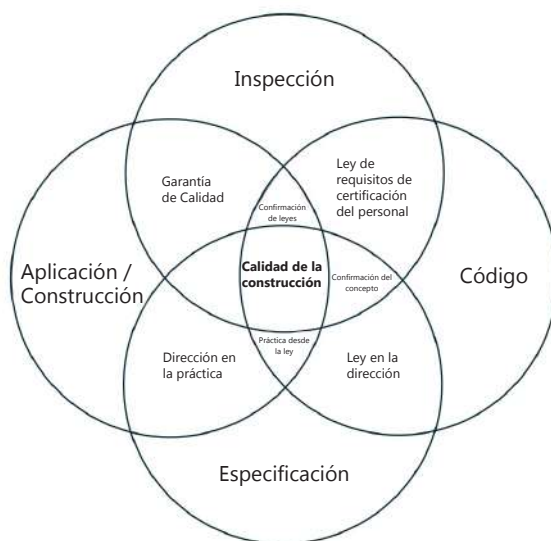


Figura 2. Sinergias entre Reglamentos, Especificaciones, Construcción e Inspección

Refinamiento Hacia el Progreso

Luego de la construcción de una estructura, para completar su ciclo de vida es necesario el mantenimiento, la evaluación y eventualmente la reparación. Es en este momento donde necesidades adicionales pueden ser identificadas en la medida que el ambiente construido es evaluado y mantenido. Mientras nuevas necesidades o problemas en la construcción se vuelven aparentes basados en la experiencia con el diseño, la construcción y el mantenimiento del ambiente construido, el proceso se repite. Por ejemplo, el Comité ACI 321, Reglamento de Durabilidad del Concreto, está desarrollando un reglamento para atender la necesidad de mayor longevidad o más métodos de diseño para estructuras en ambientes severos, basados en observaciones de desempeño estructural. En forma similar, el Reglamento ACI 562 fue desarrollado para atender las necesidades de durabilidad de las reparaciones de estructuras existentes.

Cierre

Este artículo busca ayudar a los lectores a entender que el desarrollo de requerimientos reglamentarios es una etapa del viaje que va de una idea a una aplicación y luego perfeccionamiento hacia el avance de la industria. Aunque algunos trayectos pueden ser más rápidos y otros pueden ser complejos, todos los recorridos requieren un alto nivel de escrutinio para asegurar la seguridad del público, los trabajadores de la construcción y los equipos de emergencias.

Referencias

1. ACI Technical Activities Committee, "Technical Committee Manual (ACI TCM-24)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 74 pp.
2. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings and Commentary (ACI 562-13)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 59 pp.
3. ICC, "2015 International Existing Building Code (IEBC)," International Code Council, Washington, DC, 2014, 294 pp.
4. ICC, "2018 International Existing Building Code (IEBC)," International Code Council, Washington, DC, 2017, 298 pp.
5. ICC, "2021 International Existing Building Code (IEBC)," International Code Council, Washington, DC, 2020, 330 pp.
6. ICC, "2024 International Existing Building Code (IEBC)," International Code Council, Washington, DC, 2023, 288 pp.
7. ACI Committee 440, "Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars—Code and Commentary (ACI CODE-440.11-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 260 pp.
8. ASTM D7957/D7957M-22, "Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 5 pp.
9. ICC, "2024 International Building Code (IBC)," International Code Council, Washington, DC, 2024, 753 pp.
10. ICC, "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Washington, DC, 2020, 330 pp.
11. "Structural Failures in Public Facilities," Report No. 98-621, Committee on Science and Technology, House of Representatives, United States Congress, Washington, DC, 1984, 156 pp.
12. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-63)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1963, 144 pp.
13. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 78 pp.
14. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-89)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 353 pp.
15. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
16. Dolen, T.P., "Historical Development of Durable Concrete for the Bureau of Reclamation," *The Bureau of Reclamation: History Essays from the Centennial Symposium*, V. 1 and 2, Denver, CO, 2002, pp. 135-151.
17. Lawton, E.C., "Durability of Concrete Pavement—Experiences in New York State," *ACI Journal Proceedings*, V. 35, No. 6, June 1939, pp. 561-578.
18. Personal correspondence with ASTM International.
19. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI SPEC-301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

David G. Tepke, FACI, es ingeniero en SKA Consulting Engineers, Inc., en Charleston, Carolina del Sur, EE.UU. Es director del comité ACI 222, Corrosión de Metales en Concreto, y el comité ACI en promoción de reglamentos y normas; es miembro de los comités ACI 201, Durabilidad del Concreto; 301, Especificaciones para la Construcción en Concreto; y 321, Reglamento de Durabilidad del Concreto. En especialista en corrosión certificado por NACE/AMPP y un ingeniero matriculado.



Stephen S. Szoke, FACI, ACI Distinguished Staff, es Ingeniero de Promoción de Reglamentos en ACI. Participa activamente en el desarrollo de códigos de edificación modelo, estándares referenciados, reglas y regulaciones. Szoke es el staff asignado para el comité ACI en promoción de reglamentos y normas. Él es un ingeniero matriculado.



Título original en inglés:
Evolution of Codes and Rules: The Journey of Ideas to Practice

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Argentina



Traductor:
Ing. Santiago Bertero



Revisor Técnico:
Dr. Ing. Raúl Domingo Bertero

Convirtiendo Resistencia de Núcleos en Resistencias Especificadas Equivalentes del Concreto

Por F. Michael Bartlett

El ACI PRC-214.4-21, "Obtención de núcleos e Interpretación de Resultados de Resistencia de Núcleos: Guía"¹ presenta dos métodos para convertir la resistencia de núcleos de concreto en resistencias especificadas equivalentes para evaluar la capacidad de una estructura existente. El método del factor de tolerancia, basado en una distribución t no central, calcula una resistencia de fractil inferior que tiene en cuenta la variabilidad tanto de la media como de la desviación estándar de la muestra². Como este enfoque no es robusto, si hay valores atípicos bajos no detectados en el conjunto de datos³ y debido a que los ensayos de núcleos tienden a sobreestimar la variabilidad de las resistencias in situ, también se proporciona un método alternativo⁴. El Código ACI 562-21, "Evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes: código y comentarios"⁵, requiere que la resistencia equivalente especificada del concreto se calcule utilizando una versión simplificada del método alternativo⁶.

El método alternativo supone coeficientes de variación debidos a la variabilidad de la resistencia in situ dentro de la estructura que "son para concreto producido, colocado y protegido de acuerdo con la práctica industrial normal y pueden no corresponder al concreto producido con estándares de control de calidad altos o bajos"¹. Se han planteado inquietudes de que la variabilidad real de la resistencia dentro de la estructura puede superar estos valores supuestos, lo que hace que la aplicación del método alternativo sea insegura, en particular para estructuras más antiguas construidas con prácticas industriales menos estrictas.

El objetivo de la investigación presentada en este documento es estudiar la aplicabilidad de estos métodos para determinar resistencias especificadas equivalentes de concreto utilizando datos de ensayos de núcleos.

La simulación numérica se lleva a cabo suponiendo que las resistencias in situ se distribuyen normalmente (por ejemplo, consultar Bartlett y MacGregor⁴). Se supone además, que la variabilidad atribuible a desviaciones aceptables de los procedimientos de ensayo estandarizados que pueden hacer que la desviación estándar medida de los ensayos de resistencia de núcleos supere la variación real de la resistencia in situ de manera insignificante. En otras palabras, se supone que la variabilidad aparente de la resistencia in situ no aumenta por la variabilidad adicional atribuible a ensayos de los núcleos.

Se supone además que la resistencia especificada del concreto f'_c representa el fractil del 13% de la resistencia a la compresión del concreto in situ⁴. Por lo tanto, la resistencia media in situ \bar{f}_{ip} se puede calcular a partir de este fractil, como se muestra esquemáticamente en la figura 1, de acuerdo a

$$\bar{f}_{ip} = f'_c + 1.126 s_{ip} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde s_{ip} es la desviación estándar de la resistencia in situ. La relación entre la resistencia media in situ y la resistencia especificada del concreto \bar{f}_{ip} / f'_c también se puede expresar en términos del coeficiente de variación de las resistencias in situ V_{ip} de acuerdo a

$$\frac{\bar{f}_{ip}}{f'_c} = \frac{1}{1 - 1.126 V_{ip}} \quad (\text{Ec. 2})$$

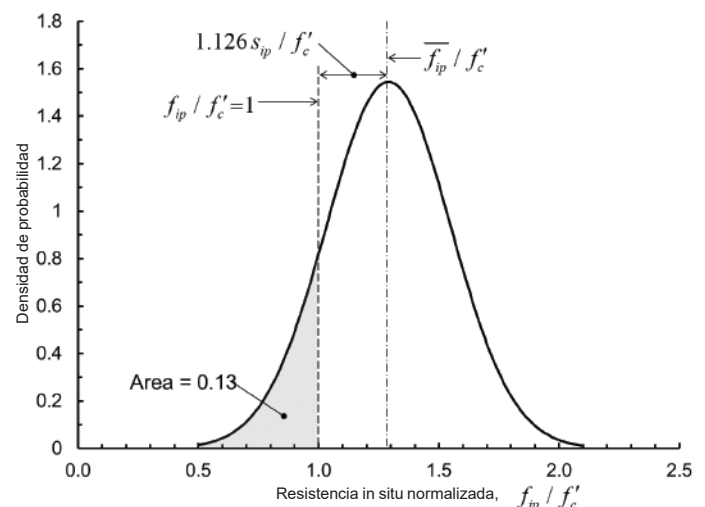


Figura 1. Densidad de probabilidad de resistencias de concreto in situ

Procedimiento de simulación

El procedimiento de simulación implica los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar V_{ip} ;
- 2) Calcular la resistencia media in situ como una fracción de la resistencia especificada \bar{f}_{ip} / f'_c utilizando la ecuación (2);
- 3) Generar 1,000 conjuntos de 3, 4, 5, 7, 10 y 20 resistencias in situ mediante simulación utilizando la V_{ip} del paso 1 y \bar{f}_{ip} / f'_c del paso 2, asumiendo que las resistencias in situ están distribuidas normalmente (Fig. 1). Regenerar las resistencias in situ que sean menores que cero;
- 4) Convertir las resistencias in situ en resistencias de núcleos incrementando las resistencias in situ simuladas por un factor de 1.06 para tener en cuenta el daño por perforación⁴. No es necesario aplicar otros factores de corrección de la resistencia de núcleos porque se supone que los ensayos de núcleos simulados cumplen con las disposiciones de ASTM C42/C42M-20⁷;
- 5) Para cada conjunto de 3 a 20 resistencias de núcleos, calcular la resistencia especificada equivalente, $f'_{c,eq}$ utilizando el método del factor de tolerancia para el fractil del 10%, con límites de confianza del 75, 90 y 95% como

$$f'_{c,eq} = \bar{f}_c - \sqrt{(K s_c)^2 + (Z s_a)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde \bar{f}_c y s_c son el valor promedio y la desviación estándar de las resistencias de los núcleos, que, de acuerdo con ACI PRC 214.4-21, se incrementan en un 6% para tener en cuenta el daño debido a la perforación. La desviación estándar debido a la naturaleza empírica de los factores de corrección de resistencia s_a se tomó como $0.025\bar{f}_c$ porque solo se aplica el factor de corrección de resistencia para el daño por perforación. La Tabla 1 resume los valores K y Z para los tres niveles de confianza y números de muestras considerados: K es el factor de tolerancia para el valor del fractil del 10%, y Z es un factor de escala aplicado a una desviación estándar de una distribución normal para determinar el valor correspondiente a una cierta probabilidad de excedencia (o no excedencia).

Tabla 2:

Factores de modificación del coeficiente de variación del concreto k_c (basado en la Tabla 6.4.3.1 del Código ACI-562-21⁵)

n	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25 y más
k_c	2.4	1.47	1.28	1.20	1.15	1.10	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02

Es ligeramente conservador seleccionar el factor de tolerancia para el valor del fractil del 10% para determinar la resistencia especificada equivalente porque se considera que la resistencia especificada real es el valor del fractil del 13%, no del 10%, de las resistencias in situ (Ec. (1) y Fig. 1);

- 6) Para cada conjunto de 3 a 20 resistencias de núcleos, calcular $f'_{c,eq}$ utilizando la Ec. (6.4.3.1) del Código ACI 562-21

$$f'_{c,eq} = 0.9\bar{f}_c \left[1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n} + 0.0015} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

donde \bar{f}_c no se incrementa en 1.06 (debido al daño por perforación), y V es el coeficiente de variación de las resistencias de núcleos. El factor de modificación del coeficiente de variación del concreto k_c depende del tamaño de la muestra n , como se muestra en la Tabla 2;

- 7) Para cada conjunto de 1,000 resistencias in situ predichas, calcular las resistencias especificadas equivalentes normalizadas $f'_{c,eq} / f'_c$, su desviación estándar y otros estadísticos; y
- 8) Repetir los pasos 1 a 7 con V_{ip} igual a 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 y 0.30.

Tabla 1:

Parámetros estadísticos K y Z para el método del factor de tolerancia y el método alternativo (basado en la Tabla 9.4.1 y en la Tabla 9.4b de ACI PRC-214.4-21¹)

Factor	n	Nivel de confianza		
		75%	90%	95%
Z para uso en Ec. (3) and (4)	—	0.67	1.28	1.64
K para uso en Ec. (3)	3	2.50	4.26	6.16
	4	2.13	3.19	4.16
	5	1.96	2.74	3.41
	7	1.80	2.305	2.795
	10	1.67	2.06	2.36
	20	1.527	1.723	1.867

Resultados de la simulación

La figura 2 muestra los resultados de la simulación para 1,000 conjuntos de tres muestras de núcleo donde el coeficiente de variación de la resistencia in situ es 0.20. El eje horizontal es $f'_{c,eq} / f'_c$ y los valores mayores a 1.0 representan predicciones no conservadoras. El eje vertical es la variable normal estándar Z (ver ecuación (3)), y los datos que se distribuyen normalmente se grafican como una línea recta usando esta escala. Las líneas de puntos son los mejores ajustes lineales para cada conjunto de datos.

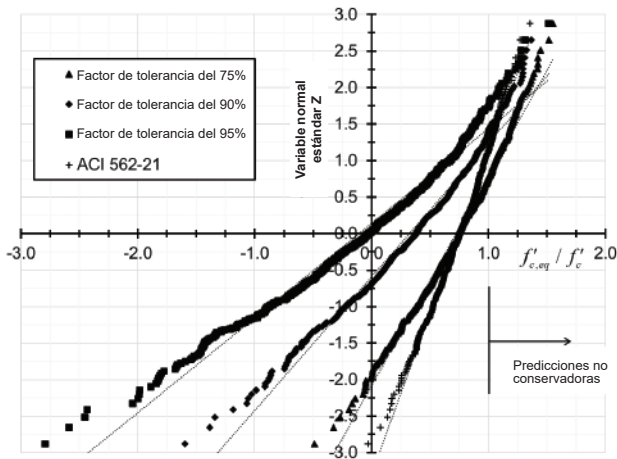


Figura 2. Distribución acumulativa de la muestra, graficada en papel de probabilidad normal para $n = 3$ y $V_{ip} = 0.2$

Cabe destacar que muchos $f'_{c,eq} / f'_c$ son menores que cero, particularmente cuando se utilizan los métodos del factor de tolerancia del 90 y del 95%. Este resultado claramente irrealista se produce en los casos en los que las tres resistencias de núcleos simuladas arrojan una media baja y una desviación estándar alta, y el uso de los valores de K grandes de 4.26 y 6.16 para $n = 3$ muestras (Tabla 1) arroja un resultado negativo (Ec. (3)). Un caso de esta simulación es el siguiente: las resistencias de núcleos son 4,080, 4,540 y 6,520 psi (28.1, 31.3 y 45.0 MPa), con una media de 5,050 psi (34.8 MPa), una desviación estándar de 1,300 psi (9.0 MPa) y un coeficiente de variación de 0.26. El valor de $f'_{c,eq}$ calculado utilizando el método del factor de tolerancia para el nivel de confianza del 90 %, suponiendo s_a de 130 psi (0.9 MPa), es

$$\begin{aligned} f'_{c,eq} &= 5050 - \sqrt{(4.26 \times 1300)^2 + (1.28 \times 130)^2} \\ &= -490 \text{ psi } (-3.4 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

La figura 2 también indica que:

- Todos los métodos predicen valores de $f'_{c,eq}$ que exceden f'_c y pueden ser no conservadores;
 - Los conjuntos de datos son razonablemente, aunque no perfectamente, lineales, lo que indica que estos datos pueden caracterizarse aproximadamente utilizando distribuciones normales;
 - Los valores medios, correspondientes a Z igual a cero, son bastante consistentes con los métodos del factor de tolerancia del 75% y del Código ACI 562-21. Los datos del método Código ACI 562-21 tienen una pendiente más pronunciada, lo que corresponde a una desviación estándar más pequeña y tienen una menor probabilidad de ser no conservadores; y
 - El nivel de confianza seleccionado afecta notablemente los valores medios de las predicciones del factor de tolerancia: las resistencias medias normalizadas predichas son aproximadamente 0.75, 0.38 y menos de cero para los niveles de confianza del 75, 90 y 95 %, respectivamente.
- Estas observaciones se aplican generalmente a los valores de distribución acumulativa de la muestra obtenidos para otros coeficientes de variación de resistencias in situ y para los otros tamaños de muestra.

Resistencias promedio

La Tabla 3 resume las resistencias especificadas equivalentes promedio normalizadas $f'_{c,eq} / f'_c$ obtenidas utilizando los métodos del factor de tolerancia del 75 %, del factor de tolerancia del 90 % y del Código ACI 562-21. Para $V_{ip} = 0.10$, el método del factor de tolerancia del 75% proporciona valores medios más altos que los otros dos métodos. La resistencia media normalizada obtenida usando el método del factor de tolerancia del 90% es notablemente menor que la obtenida usando los otros dos métodos, particularmente para valores V_{ip} más altos y tamaños de muestra más pequeños. Para $V_{ip} = 0.3$ y $n = 3$, $f'_{c,eq} / f'_c$, obtenido utilizando el método del factor de tolerancia del 90%, es menor que cero.

Probabilidad de valores predichos mayores que f'_c

La Tabla 4 resume las probabilidades de que el valor de resistencia especificada equivalente predicho usando los métodos del factor de tolerancia del 75%, del factor de tolerancia del 90% y ACI CODE-562-21 sea mayor que f'_c y por lo tanto

Tabla 3:
Resistencias promedio predichas $f'_{c,eq} / f'_c$

n	Método del factor de tolerancia										Método del Código ACI 562-21				
	75%					90%									
	Coeficiente de variación					Coeficiente de variación					Coeficiente de variación				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3	0.87	0.80	0.72	0.62	0.51	0.70	0.52	0.32	0.08	-0.20	0.79	0.77	0.75	0.71	0.67
4	0.90	0.84	0.79	0.69	0.63	0.79	0.66	0.54	0.34	0.19	0.87	0.89	0.92	0.94	0.98
5	0.92	0.87	0.81	0.76	0.67	0.83	0.74	0.62	0.50	0.33	0.88	0.91	0.94	0.98	1.02
7	0.94	0.89	0.84	0.80	0.74	0.88	0.79	0.70	0.62	0.50	0.89	0.93	0.97	1.02	1.07
10	0.94	0.91	0.87	0.82	0.77	0.90	0.84	0.77	0.68	0.60	0.89	0.94	0.98	1.04	1.11
20	0.95	0.93	0.90	0.86	0.82	0.93	0.89	0.85	0.79	0.73	0.90	0.95	1.01	1.07	1.15

Tabla 4:
Probabilidad de que la resistencia predicha sea mayor que f'_c

n	Método del factor de tolerancia										Método del Código ACI 562-21				
	75%					90%									
	Coeficiente de variación					Coeficiente de variación					Coeficiente de variación				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3	0.22	0.19	0.21	0.21	0.21	0.07	0.07	0.08	0.09	0.08	0.00	0.05	0.11	0.17	0.21
4	0.19	0.17	0.18	0.20	0.20	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.00	0.10	0.21	0.39	0.46
5	0.21	0.18	0.21	0.19	0.16	0.06	0.06	0.07	0.09	0.05	0.00	0.11	0.31	0.47	0.54
7	0.15	0.17	0.18	0.16	0.18	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.00	0.11	0.37	0.44	0.66
10	0.14	0.16	0.15	0.17	0.16	0.05	0.04	0.06	0.06	0.06	0.00	0.10	0.44	0.63	0.80
20	0.12	0.12	0.13	0.11	0.13	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.00	0.08	0.60	0.86	0.96

Nota: = 0.21 a 0.35; = 0.36 a 0.50; > 0.50

no conservador. Estas probabilidades se calculan a partir de la media y la desviación estándar de los valores normalizados de resistencia predichos suponiendo que estos datos son distribuidos normalmente y que se verifican utilizando la muestra de distribuciones acumulativas.

Las probabilidades para el método del factor de tolerancia del 75% son consistentemente menores que 0.25, es decir (1 - el nivel de confianza), en parte porque los valores de K en la Tabla 1 son para el fractil del 10% mientras que f'_c representa el fractil 13% de las resistencias in situ. De manera similar, las probabilidades para el método del factor de tolerancia del 90% son consistentemente menores que 0.10, particularmente para tamaños de muestra más grandes. La probabilidad de que la resistencia equivalente especificada in situ predicha usando el método del Código ACI 562-21 sea mayor que el f'_c real excede el 50% para tamaños de muestra más grandes y mayores coeficientes de variación de resistencia in situ: para $n = 20$ y $V_{ip} = 0.3$, la probabilidad de que $f'_{c,eq}$ exceda f'_c es 0.96.

Fractil superior del 90% de los valores previstos

La Tabla 5 resume el fractil superior del 90% de los valores normalizados de resistencia especificada equivalentes predichos utilizando los métodos del factor de tolerancia del 75%, del factor de tolerancia del 90% y del Código ACI 562-21. Estos se calculan nuevamente de las medias y desviaciones estándar de las resistencias normalizadas pronosticadas asumiendo que estos datos son normalmente distribuidos y verificados utilizando las distribuciones acumulativas de la muestra.

Parece apropiado considerar un método como insatisfactorio si el límite del fractil 90 % asociado supera 1.1; en otras palabras, cuando la probabilidad de que el $f'_{c,eq}$ predicho al menos el 10% mayor de lo que excede f'_c al 10%. Sobre esta base, de la Tabla 5:

- Si el coeficiente de variación de la resistencia in situ excede 0.25, el método del factor de tolerancia con un nivel de confianza del 75% debe usarse solo cuando el tamaño de la muestra sea igual a seis o más especímenes;

Tabla 5:
Fractil 90 % de la resistencia normalizada predicha $f'_{c,90} / f'_c$

n	Método del factor de tolerancia										Método del Código ACI 562-21				
	75%					90%									
	Coeficiente de variación					Coeficiente de variación					Coeficiente de variación				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3	1.06	1.08	1.13	1.18	1.22	0.98	0.97	0.97	0.97	0.93	0.91	0.95	1.02	1.08	1.14
4	1.03	1.07	1.08	1.14	1.16	0.97	0.97	0.94	0.97	0.93	0.93	1.00	1.08	1.17	1.27
5	1.03	1.05	1.08	1.12	1.09	0.96	0.97	0.96	0.97	0.87	0.94	1.01	1.09	1.17	1.25
7	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	0.97	0.95	0.97	0.95	0.94	0.93	1.00	1.08	1.17	1.27
10	1.01	1.02	1.04	1.05	1.07	0.96	0.95	0.96	0.95	0.95	0.93	1.00	1.07	1.16	1.27
20	1.01	1.01	1.02	1.01	1.03	0.97	0.95	0.97	0.95	0.95	0.93	1.00	1.08	1.15	1.26

Nota: = 1.00 a 1.10; = 1.11 a 1.20; > 1.20

Tabla 6:
Probabilidad de predicción negativa de la resistencia especificada equivalente

n	Método del factor de tolerancia									
	75%					90%				
	Coeficiente de variación					Coeficiente de variación				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3	0.00	0.00	0.02	0.02	0.10	0.01	0.10	0.26	0.41	0.55
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.07	0.21	0.35
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.09	0.24
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: = 0.01 a 0.15; = 0.16 a 0.30; > 0.30

- El método del factor de tolerancia con un nivel de confianza del 90% se puede utilizar sin limitación de tamaño de muestra o coeficiente de variación de la resistencia in situ; y
- El método del Código ACI 562-21 puede usarse sólo cuando el coeficiente de variación de la resistencia in situ es 0.2 o menor.

Las próximas ediciones de ACI PRC-214.4 y del Código ACI 562 se deben revisar para reflejar estas limitaciones.

Probabilidad de valores pronosticados negativos

La Tabla 6 muestra la probabilidad de que la resistencia equivalente especificada predicha utilizando los métodos del factor de tolerancia con niveles de confianza del 75 y 90%, sean menores que cero. No se muestran datos para el método del Código ACI 562-21 porque las probabilidades asociadas se aproximan a cero en todos los

casos investigados. Para tamaños de muestra pequeños y coeficientes grandes de variación de la resistencia in situ, es bastante probable que la resistencia especificada equivalente obtenida utilizando el método de factor de tolerancia del 90% sea negativo. Quizás el mejor remedio en estas circunstancias es obtener más especímenes de ensayo.

Recomendaciones

La figura 3 resume las limitaciones de la aplicación de los métodos del factor de tolerancia con niveles de confianza de 75 o 90% y las ecuaciones del Código ACI 562-21 para determinar la resistencia especificada equivalente del concreto a partir de los resultados de ensayos de núcleos en términos del número de núcleos probados y del coeficiente de variación de la resistencia in situ. Para aplicar estos límites, se debe suponer que el coeficiente de variación observado de la resistencia in situ es igual al coeficiente de

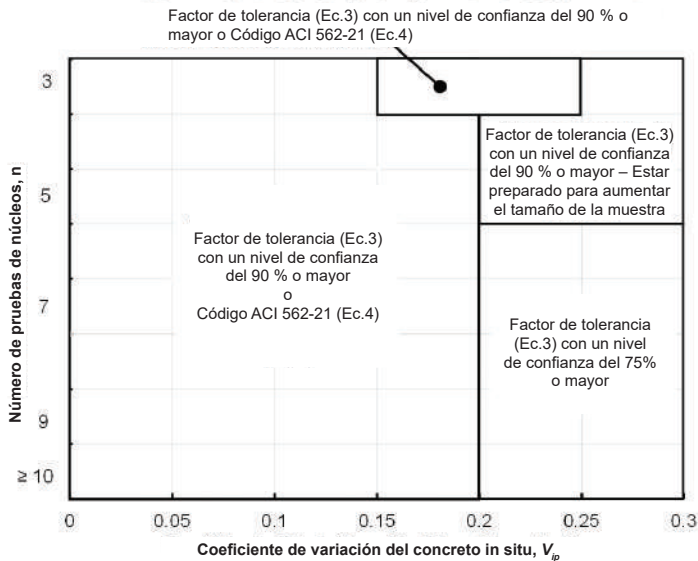


Figura 3. Rangos de aplicación recomendados de los métodos del factor de tolerancia del ACI PRC-214.4-211 y del Código ACI 562-215

variación de la resistencia de núcleos. Esta es una suposición dudosa, especialmente si el tamaño de la muestra es pequeño o si hay valores atípicos bajos no detectados en el conjunto de datos de resistencia de núcleos, pero es conservador. Si la variabilidad de la resistencia de núcleos excede la resistencia in situ, los resultados obtenidos utilizando el método del factor de tolerancia se vuelven más conservadores, los resultados obtenidos utilizando el método Código ACI 562-21 se vuelven ligeramente menos conservadores³, y el coeficiente máximo de variación para el cual el método Código ACI 562-21 es aceptable, aumenta.

Referencias

1. ACI Committee 214, "Obtaining Cores and Interpreting Core Compressive Strength Results—Guide (ACI PRC-214.4-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 20 pp.
2. Philleo, R.E., "Increasing the Usefulness of ACI 214: Use of Standard Deviation and a Technique for Small Sample Sizes," Concrete International, V. 3, No. 9, Sept. 1981, pp. 71-74.
3. Bartlett, F.M., "Discussion of 'Survey of Practice to Determine Strength of In Situ Concrete from Core Tests' by John M. Hanson," ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities, V. 22, No. 5, Oct. 2008, p. 348.
4. Bartlett, F.M., and MacGregor, J.G., "Equivalent Specified Concrete Strength from Core Test Data," Concrete International, V. 17, No. 3, Mar. 1995, pp. 52-58.
5. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 88 pp.

6. Bartlett, F.M., "Evolution of ACI 562 Code—Part 6," Concrete International, V. 38, No. 7, July 2016, pp. 36-39.
7. ASTM C42/C42M-20, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 7 pp.

Recibido y revisado de acuerdo con las políticas de publicación del Instituto.

F. Michael Barlett, FACI es profesor emérito de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Oeste de Ontario en London, Ontario, Canadá. Es Presidente del comité ACI 562 "Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto", y también miembro del Subcomité ACI 318-1R, "Resolución de Disposiciones de Anclaje y Desarrollo y Grupo de Trabajo de Innovación (ITG) Técnicas Estadísticas para la evaluación de Estructuras de Concreto Existentes.



Título original en inglés:
Converting Core Strengths
to Equivalent Specified
Concrete Strengths

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



*Traductor y
Revisor Técnico:*

***PhD. Pedro Nel
Quiroga***

05

Exceso de Sobre diseño en Mezclas de Concreto para Resistencia: Causas y Soluciones

Por Luke M. Snell, Karthik H. Obla, y Nicholas J. Carino

Recientemente, han surgido muchas discusiones sobre mezclas de concreto que están sobre diseñadas en cuanto a la resistencia a la compresión. En varios casos, las mezclas de concreto con una resistencia especificada a 28 días de 4,000 psi han superado los 7,000 psi en su resistencia promedio medida. Estas resistencias exceden significativamente las resistencias promedio requeridas establecidas en ACI SPEC-301-20¹. Esto resulta en una mayor huella de carbono debido a la cantidad elevada de materiales cementantes utilizados y en costos adicionales de construcción. Las mezclas también tienen contenidos de pasta más altos, lo que puede provocar otros problemas de desempeño, como fisuración, temperaturas más elevadas en el concreto en sitio, retracción, flujo plástico excesivo y reacción álcali-sílice. En este artículo, discutimos algunas de las razones por las cuales las mezclas de concreto están sobre diseñadas y ofrecemos soluciones para reducir este problema.

Resultados de Ensayos de Concreto

La preparación y ensayo de especímenes de concreto para determinar el cumplimiento de los requisitos del proyecto deben realizarse de acuerdo con los métodos de ensayo y prácticas especificadas en los documentos contractuales, como ASTM C31/C31M y ASTM C39/C39M. A estos ensayos también se les conoce como ensayos de aceptación. Un ensayo de resistencia a la compresión es la resistencia promedio de dos cilindros de concreto de 6 x 12 pulgadas o de tres cilindros de 4 x 8 pulgadas².

Se asume que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para una clase dada de concreto siguen una distribución normal, comúnmente llamada "curva de campana". Esta suposición es apropiada en la mayoría de los casos si la resistencia del concreto no excede 10,000 psi³.

La Figura 1 muestra una curva típica de distribución normal de frecuencia, la cual indica la frecuencia de resultados de ensayo con diferentes valores de resistencia.

La distribución normal se define matemáticamente mediante dos parámetros estadísticos: la media poblacional \bar{X} y la desviación estándar s de las muestras, que es una medida de la variabilidad de los resultados de ensayo. La desviación estándar depende de variaciones en el material, fabricación y ensayo.

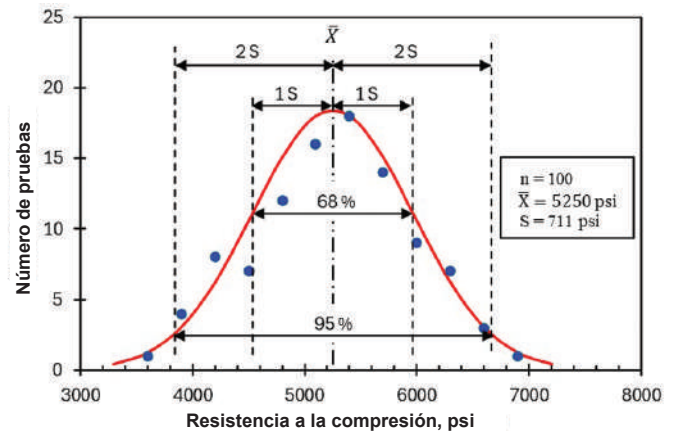


Figura 1. Curva de distribución normal para resultados de ensayos de resistencia

Criterios de Aceptación de Resistencia del CÓDIGO ACI-318

La Sección 26.12.3.1² del Código de Construcción ACI establece que el nivel de resistencia de una mezcla de concreto será aceptable si se satisfacen los siguientes requisitos:

- Cada promedio de tres ensayos consecutivos de resistencia es igual o mayor que la resistencia especificada f'_c ; y
- Ningún ensayo de resistencia está 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.

Si alguno de estos dos requisitos no se satisface, deben tomarse medidas para aumentar los resultados de los ensayos de resistencia. Si no se cumple el segundo requisito, el resultado del ensayo de baja resistencia debe investigarse.

¿Qué es el sobrediseño?

Las investigaciones sobre resultados de ensayos de baja resistencia típicamente conducen a gastos considerables y demoras en el cronograma del proyecto. Estos problemas pueden reducirse

asegurando que la resistencia promedio sea mayor que la resistencia especificada.

La Tabla 4.2.3.3(a)1 de ACI SPEC-301-20 proporciona una manera de calcular la resistencia promedio requerida para tener una alta probabilidad de cumplir con los criterios de aceptación. Esta tabla establece que la mezcla propuesta debe dosificarse para producir una resistencia promedio mayor que los valores calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34ks \quad (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33ks - 500 \text{ (si } f'_c \leq 5000 \text{ psi)} \quad (2a)$$

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33ks \text{ (si } f'_c > 5000 \text{ psi)} \quad (2b)$$

donde f'_{cr} es la resistencia promedio requerida para la mezcla; f'_c es la resistencia especificada indicada en las especificaciones; y k es el factor para incrementar la desviación estándar de la muestra s , si se consideran menos de 30 resultados de ensayo al calcular la desviación estándar. Los valores de k se proporcionan en la Tabla 4.2.3.3(a)2 de ACI SPEC-301-20.

La desviación estándar se determina a partir de los resultados de ensayos de resistencia obtenidos en proyectos anteriores para mezclas de concreto similares. Las Secciones 4.2.3.4(a) y 4.2.3.4(b) de ACI SPEC-301-20 establecen los requisitos para registros de resistencia anteriores. En ausencia de registros previos, la resistencia promedio requerida debe ser mayor que f'_c en un valor fijo que depende de f'_c , tal como se muestra en la Tabla 4.2.3.3(b) de ACI SPEC-301-20.

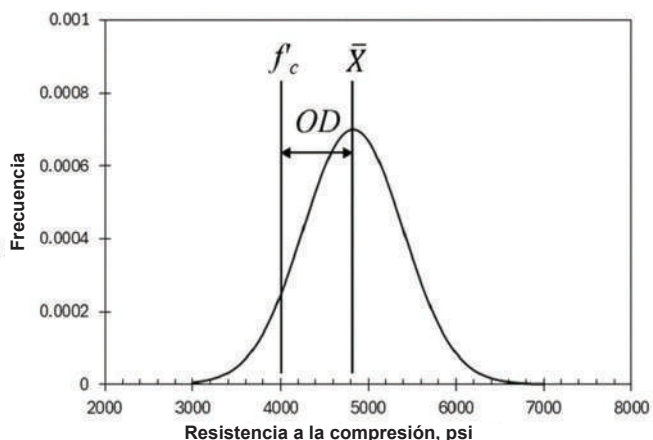


Figura 2. Sobre diseño (OD) de la resistencia mostrado como la diferencia entre la resistencia especificada y la resistencia promedio alcanzada en el proyecto

Las ecuaciones de ACI SPEC-301-20 se han desarrollado estadísticamente para garantizar que la probabilidad de no cumplir con los criterios de aceptación de resistencia del Código no sea mayor de uno en 100.

En resumen, en términos de la industria, el sobre diseño es la diferencia entre f'_c y la resistencia promedio alcanzada en el proyecto, como se muestra en la Figura 2. Como se explicará, el problema es que \bar{X} a menudo es mucho mayor que f'_{cr} . Además, siempre habrá una fracción de resultados de ensayo por debajo de la resistencia especificada.

Ejemplo de Diseño

$f'_c = 4,000$ psi (de las especificaciones del proyecto)

$s = 412$ psi (calculado a partir de 30 resultados de ensayos recientes en la planta de producción para estas o similares proporciones de mezcla)

$k = 1.0$ (de la Tabla 4.2.3.3(a)2 de ACI SPEC-301-20)

Cálculo de la resistencia promedio requerida de la mezcla usando las ecuaciones (1) y (2a):

$$f'_{cr} = 4,000 + (1.34 \times 1.0 \times 412) = 4,550 \text{ psi}$$

$$f'_{cr} = 4,000 + (2.33 \times 1.0 \times 412) - 500 = 4,460 \text{ psi}$$

Se debe seleccionar el valor más alto. Por lo tanto, la resistencia promedio requerida para la mezcla sería de 4,550 psi. La presentación de la mezcla debe documentar que las proporciones propuestas de la mezcla de concreto producirán una resistencia a la compresión promedio igual o mayor a 4,550 psi. Así, el sobre diseño para cumplir con ACI SPEC-301-20 es de 550 psi, lo que garantiza una probabilidad del 99% de que se satisfagan los criterios de aceptación del CÓDIGO ACI-318-19(22).

Como se mencionó anteriormente, ha habido casos de sobre diseños superiores a 3,000 psi. Puede calcularse que cada incremento de 100 psi en la resistencia promedio contribuye aproximadamente a un aumento del 2% en carbono incorporado. Este cálculo se basa en la evaluación de ciclo de vida a nivel de industria de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA, por sus siglas en inglés)⁴. Por lo tanto, reducir los valores excesivos de sobre diseño es deseable y beneficioso por varias razones, como se mencionó en la introducción.

En un proyecto dado, cuatro entidades distintas afectan la resistencia promedio del concreto. Estas son: el profesional facultado para diseñar (LDP, por sus siglas en inglés) que elabora las especificaciones,

el proveedor de concreto que produce el concreto de acuerdo con las especificaciones requeridas, el constructor que compra y coloca el concreto, y la entidad que realiza los ensayos y que muestrea y ensaya el concreto entregado en el lugar de trabajo. Cada una de estas entidades debe desempeñar su función para evitar sobre diseños innecesariamente altos.

¿Podemos Reducir el Sobre diseño?

Profesional facultado para diseñar

El LDP determina la resistencia especificada del concreto en función de los requisitos del diseño estructural y asegura que el concreto tenga suficiente durabilidad. Los requisitos de durabilidad del concreto se encuentran en el Capítulo 19 del CÓDIGO ACI-318-19(22). Este capítulo define cuatro categorías de exposición (congelamiento y deshielo, exposición a sulfatos, contacto con agua y protección contra la corrosión del refuerzo) y varias clases de exposición basadas en la severidad de cada categoría de exposición. También define los requisitos del concreto para cada clase de exposición. El objetivo principal de estos requisitos es proporcionar suficiente resistencia a la penetración de agua y químicos disueltos que puedan causar fallos de durabilidad. Esto se aborda estipulando una relación máxima de agua/materiales cementantes (a/mc) y un f'_c mínimo. Debido a que la a/mc no puede verificarse fácilmente durante la construcción, el requisito de resistencia sirve como criterio de aceptación. Tal como se indica en la Tabla 19.3.2.1 del CÓDIGO ACI-318-19(22), las relaciones a/mc y los requisitos de resistencia para diferentes clases de exposición son: 0.40 y 5,000 psi; 0.45 y 4,500 psi; 0.50 y 4,000 psi; y 0.55 y 3,500 psi. En resumen, el LDP selecciona un f'_c que cumpla con los requisitos de diseño estructural, así como con los requisitos de durabilidad.

Además de la resistencia y la a/mc , el CÓDIGO ACI-318-19(22) requiere que el LDP especifique un contenido de aire basado en el tamaño nominal máximo del agregado y en la clase de exposición a congelamiento y deshielo (Tabla 19.3.3.1). Los contenidos de aire especificados pueden reducirse en 1% si f'_c es igual o mayor a 5,000 psi (Sección 19.3.3.6).

Con frecuencia, el LDP especifica requisitos adicionales sobre los requisitos del CÓDIGO ACI-318. Algunos de estos y sus implicaciones en el sobre diseño se discuten a continuación.

Requisitos mínimos de materiales cementantes:

Algunos LDP especifican un contenido mínimo de materiales cementantes. Por ejemplo, una especificación que requiere un contenido mínimo de materiales cementantes de 700 lb/yd³ y una resistencia a compresión especificada de 4,000 psi puede resultar en una resistencia promedio superior a 7,000 psi, es decir, un sobre diseño de aproximadamente 3,000 psi. La implicación de este requisito de contenido mínimo de materiales cementantes, discutida en ACI PRC-329.1T-18, concluye que existen numerosos beneficios asociados con la eliminación de este requisito y la adopción de alternativas basadas en el desempeño en las especificaciones⁵.

Interpretación excesivamente conservadora de los requisitos del Código:

El CÓDIGO ACI-318-19(22) estipula una relación máxima a/mc solo para las clases de exposición de durabilidad F1 a F3, S1 a S3, W2, y C2. Requerir una a/mc baja para concreto que no está sujeto a estas clases de exposición de durabilidad o exigir una a/mc inferior a la justificada por la clase de exposición de durabilidad resultará en resistencias promedio más altas. Por ejemplo, para concreto sin requisitos de exposición a durabilidad, no es inusual ver un f'_c de 4,000 psi, una a/mc máxima de 0.40 y sin aire incorporado. La resistencia promedio a compresión para dicha mezcla probablemente sea superior a 7,500 psi, es decir, un sobre diseño de 3,500 psi. Esto es aproximadamente de tres a cinco veces el sobre diseño necesario para tener una alta probabilidad de cumplir con los criterios de aceptación de resistencia, dependiendo de la variabilidad de la producción.

El CÓDIGO ACI-318-19(22) requiere contenido de aire incorporado solo para las clases de exposición de durabilidad F1 a F3. Una columna sujeta a la clase de exposición F1 requiere un contenido de aire entre 3.5 y 6.0%, dependiendo del tamaño del agregado (Tabla 19.3.3.1). Si el LDP desea ser conservador y selecciona un contenido de aire objetivo de 6.5%, puede haber una pérdida de resistencia de entre 10% y 30%, con un mayor porcentaje de pérdida de resistencia para concretos de alta resistencia⁶. Especificar contenidos de aire que excedan el requisito del Código resulta en mezclas con una mayor huella de carbono. Los investigadores no coinciden en la necesidad de incorporar aire en concretos de alta resistencia⁶. Dado que la pérdida de resistencia es mayor para concreto

de alta resistencia, el contenido de aire requerido por el Código no debe excederse en columnas de concreto de alta resistencia.

En caso de una investigación de baja resistencia, el CÓDIGO ACI-318-19(22) requiere que, si es necesario extraer núcleos, se tomen tres núcleos del área de concreto sospechosa de baja resistencia. La resistencia promedio de los tres núcleos debe ser al menos el 85% de f'_c , sin que la resistencia de ningún núcleo sea inferior al 75% de f'_c (Sección 26.12.6.1). Los autores han observado especificaciones de proyectos que requieren que los núcleos de concreto excedan el 100% de la resistencia especificada. Este tipo de especificaciones tiende a incrementar el sobre diseño para reducir la probabilidad de tener que realizar investigaciones de baja resistencia. El ACI E702.8-22 proporciona una guía para evaluar los resultados de los ensayos de concreto de acuerdo con el Código mediante tres casos de estudio⁷.

Falta de conocimiento sobre los criterios de aceptación de ACI para especímenes:

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con la Sección 26.12.3.1 del CÓDIGO ACI-318-19(22), las investigaciones de baja resistencia solo son necesarias si un resultado de prueba individual está por debajo de f'_c en 500 psi para f'_c menores a 5,000 psi o en $0.10 f'_c$ si f'_c supera los 5,000 psi. Recordemos que un resultado de prueba de resistencia es la resistencia promedio de dos cilindros de 6 x 12 pulgadas o tres de 4 x 8 pulgadas.

Uno de los autores fue contactado por un LDP sobre la realización de una investigación de baja resistencia cuando un cilindro de un resultado de prueba estuvo por debajo de f'_c o cuando un resultado de prueba estuvo por debajo de f'_c , pero no en 500 psi. Estas malas interpretaciones de los requisitos del Código conducen invariablemente a retrasos en el proyecto, mayores costos y disputas. Para reducir la probabilidad de tales disputas innecesarias, el productor de concreto puede optar por usar un sobre diseño mayor al necesario.

No diseñar los elementos estructurales para la resistencia real del concreto:

A veces, el LDP puede reducir la cantidad de clases de resistencia para evitar complejidad. Esto resulta en que algunas partes de la estructura tengan una resistencia a compresión mucho mayor que la requerida por seguridad. Alternativamente, la resistencia a compresión requerida para cumplir con las clases de exposición del Código para durabilidad puede ser mayor que la resistencia a

compresión utilizada para el diseño estructural. En tales situaciones, los elementos estructurales deberían diseñarse para aprovechar la mayor resistencia requerida para la durabilidad, lo cual puede llevar a tamaños de elementos reducidos, lo que a su vez reducirá la carga muerta y la huella de carbono.

Algunos elementos estructurales, como las cimentaciones, pueden no tener que resistir cargas de diseño durante varios meses después de ser construidos. En estas situaciones, puede ser prudente especificar la resistencia a 56 días. Alternativamente, se puede desarrollar una relación de resistencia versus edad, y se puede aceptar una resistencia de 28 días menor si el curado es adecuado para asegurar el desarrollo de la resistencia requerida.

Algunos LDP determinan las resistencias promedio requeridas de acuerdo con la Tabla 4.2.3.3(b) de ACI SPEC-301-20, incluso si existen datos previos de ensayos de resistencia. Esto requiere un sobre diseño de 1,200 psi para f'_c de 4,000 psi, que en la mayoría de los casos será mayor que el sobre diseño calculado si se dispone de datos previos.

La Publicación 2PE004-21⁸ de NRMCA ofrece varias sugerencias sobre cómo los LDP pueden mejorar las especificaciones y asegurar un mejor desempeño y sostenibilidad.

Contratista

Requisito de alta resistencia temprana:

Para el rápido avance de las operaciones de construcción, como el descimbrado o la aplicación de postensado, puede requerirse una alta resistencia temprana. Un requisito arbitrario de resistencia de 75% de f'_c a los 2 o 3 días puede traducirse en una resistencia superior a 7,000 psi a los 28 días, aunque solo se requieran 4,000 psi según el diseño estructural. Así, la consecuencia no intencionada de requerir una alta resistencia temprana arbitraria será un sobre diseño excesivo de la mezcla de concreto. Los requisitos de resistencia temprana deben basarse en las cargas de diseño tempranas reales, en lugar de un requisito arbitrario como el 75% de f'_c a los 3 días.

Agencia de ensayos (laboratorio de pruebas)

Curado inicial en la obra: La Sección 26.12.1.1 del CÓDIGO ACI-318-19(22) requiere que los especímenes de ensayo preparados para pruebas de aceptación de f'_c estén sujetos a curado estándar de acuerdo con ASTM C31/C31M. La resistencia de los cilindros curados estándar no representa

la resistencia in situ del concreto en la estructura, pero sirve como base para evaluar la suficiencia del concreto entregado al proyecto. El curado estándar de los especímenes de ensayo consiste en el curado inicial en la obra, transporte al laboratorio y curado final en la agencia de ensayos (laboratorio de pruebas). Se especifican condiciones aceptables para cada fase. La parte de curado inicial implica almacenar los especímenes durante un periodo de hasta 48 horas en un ambiente que mantenga una temperatura de curado entre 15.6 y 26.7°C (60 y 80°F) y controle la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de concreto con f'_c de 6,000 psi o más, la temperatura de curado inicial debe estar entre 20 y 25.6°C (68 y 78°F).

La Sección 1.7.2.2(c) de ACI SPEC-301-20 requiere que el contratista proporcione electricidad y espacio para almacenar los cilindros mientras están en el sitio de construcción. ACI PRC-132-14 establece que el LDP debe definir las responsabilidades para el curado inicial en los documentos de construcción, y la agencia de ensayos (laboratorio de pruebas) debe incluir el costo del curado inicial en la oferta de servicios de ensayo⁹. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos, los cilindros no están sujetos a curado inicial conforme a ASTM C31/31M¹⁰. En muchos proyectos, hemos observado cilindros dejados sin protección a temperaturas superiores a 32°C (90°F) o en condiciones de congelamiento. Varios estudios han demostrado que, si los cilindros no están sujetos a un curado inicial adecuado, la pérdida de resistencia puede ser de aproximadamente un 20% en comparación con cilindros sometidos a curado estándar^{11,12}. Un problema adicional es que muchas obras están aseguradas y cerradas los fines de semana. Los cilindros de concreto moldeados el viernes no pueden recogerse hasta el lunes (si el lunes es un día festivo, se recogerían el martes). Esto da como resultado que los cilindros permanezcan en el sitio de construcción más de las 48 horas asignadas.

Dado que las condiciones en el sitio de construcción pueden ser desconocidas al desarrollar las proporciones de la mezcla, el productor de concreto puede incrementar el sobre diseño para compensar posibles omisiones en el seguimiento de los procedimientos estándar de curado de los especímenes.

Falta de cumplimiento de los estándares de ensayo: Algunos interesados (pueden ser los propietarios, LDP o contratistas) ven el ensayo solo desde un punto de vista de costo y no como un servicio profesional. Aunque la Sección 26.12.1.1 del CÓDIGO ACI-318-19(22) establece que se

requieren agencias de ensayo (laboratorios de pruebas) certificadas y técnicos certificados para probar el concreto, esto no siempre se cumple en los proyectos. La selección de la agencia de ensayos (laboratorios de pruebas) a menudo se basa en una oferta baja en lugar de en las calificaciones. Hay poca o ninguna supervisión de los servicios de ensayo, siempre y cuando no se identifiquen problemas. Durante los seminarios en el país, escuchamos quejas de que hay una agencia de ensayos (laboratorios de pruebas) en el área que es una empresa de gran volumen y baja calidad. En muchos casos, los contratistas y productores de concreto no confrontan a estas agencias problemáticas porque pueden tener que trabajar con ellas en futuros proyectos. Si la entidad que contrata a la agencia de ensayos (laboratorios de pruebas) no garantiza la calidad de los ensayos, el productor puede optar por sobre diseñar en exceso el concreto para considerar la posibilidad de ensayos deficientes.

Incapacidad del productor de concreto para obtener resultados de ensayos: Los resultados de los ensayos de concreto a menudo no se envían rutinariamente a los productores de concreto, a menos que se trate de resultados de baja resistencia. Esto impide que los productores de concreto observen las tendencias de los resultados de resistencia y ajusten la mezcla para evitar sobre diseño excesivo o investigaciones de baja resistencia. Los productores de concreto quedan “a ciegas” y, para protegerse, sobre diseñan las mezclas de concreto.

ACI SPEC-301-20, ACI SPEC-311.6-18¹³ y el AIA MasterSpec¹⁴ establecen que el productor de concreto tiene derecho a recibir los informes de los ensayos de resistencia de manera oportuna. Aunque las agencias de ensayos tienen el contrato de enviar informes de prueba a las personas identificadas en sus contratos, tienen la responsabilidad de informar a sus clientes sobre los requisitos de ACI para compartir los informes de prueba con el productor.

Productor de concreto

Interpretaciones racionales del Código: Dado que los datos de ensayos de resistencia del concreto típicamente siguen una distribución normal, siempre existe la probabilidad de un resultado de ensayo fallido, independientemente de la resistencia promedio. Sin embargo, cuanto mayor es la resistencia promedio, menor es la probabilidad de un resultado de ensayo fallido. Dado que una empresa típica de concreto realiza ensayos de su concreto miles de veces al año, una probabilidad de

un resultado fallido en cada 100 garantiza múltiples resultados bajos en un año. Esto podría ser un problema costoso que el productor de concreto preferiría evitar, lo que conduce a la producción de concreto con un sobre diseño excesivo, de manera que la probabilidad de tener resultados fallidos sea mucho menor que uno en cada 100 ensayos.

Las ecuaciones de ACI SPEC-301-20 para calcular la resistencia promedio requerida se basan en una probabilidad de que uno de cada 100 ensayos falle en los criterios de aceptación. Sin embargo, la Sección 26.12.3.1 del CÓDIGO ACI-318-19(22) requiere una investigación de baja resistencia si no se cumple el segundo criterio de aceptación (Ecuaciones (2a) y (2b)).

No obstante, dado que algunos resultados de baja resistencia son inevitables, el LDP debe usar juicio de ingeniería. El LDP debe determinar si existe una deficiencia real en la resistencia antes de iniciar un programa de extracción de núcleos. Si se confirma la probabilidad de concreto de baja resistencia y los cálculos indican que la adecuación estructural se reduce significativamente, se pueden considerar pruebas de núcleos. La Publicación No. 133 de NRMCA proporciona un enfoque paso a paso para llevar a cabo investigaciones de resultados de ensayos de baja resistencia¹⁵. Describe los pasos que el equipo del proyecto puede tomar antes de extraer núcleos de la estructura.

Incapacidad para cambiar las proporciones de la mezcla:

Una vez que una mezcla propuesta ha pasado por el proceso de aprobación en varios pasos, puede ser difícil obtener aprobación para hacer un cambio. Por lo general, una mezcla aprobada se utilizará durante todo el proyecto. Esto significa que, en un proyecto a largo plazo, el productor de concreto necesitaría diseñar para las peores condiciones en cuanto a la calidad de los materiales, fabricación y ensayo. Así, en la mayoría de las situaciones, la mezcla estará sobre diseñada, excepto si ocurren las peores condiciones.

La Sección R26.12.3.1(b) del CÓDIGO ACI-318-19(22) enumera varias razones por las cuales puede ser necesario o beneficioso ajustar las mezclas de concreto durante el transcurso de un proyecto. El Código establece que se debe presentar al LDP evidencia aceptable para demostrar que la mezcla modificada cumple con los requisitos en los documentos de construcción. La práctica de la industria es calcular un valor psi/lb (resistencia a compresión por libra de material cementante) y ajustar los contenidos de materiales cementantes para acomodar pequeños cambios en la resistencia.

Este enfoque solo funciona si las fuentes de material no cambian. Algunas agencias (laboratorios) pueden permitir pequeños cambios en las mezclas sin requerir una presentación. Por ejemplo, el Departamento de Transporte de Florida permite que el contenido de materiales cementantes varíe $\pm 6.5\%$ sin requerir presentación¹⁶. Las dosificaciones de aditivos también pueden variarse. Esto permite al productor de concreto ajustar las mezclas a medida que cambian las condiciones del trabajo y evitar la dosificación para la peor condición posible.

Problemas de control de calidad:

El contenido de agua de mezclado en una batchada puede variar debido a una cantidad desconocida de agua de lavado presente en el tambor de la mezcladora antes de la dosificación, determinaciones incorrectas de la humedad del agregado, cantidades incorrectas de agua de dosificación y agua añadida en el punto de lavado y en el sitio de trabajo. Por estas razones, no se conoce la cantidad exacta de agua y la relación a/mc no puede calcularse con precisión. Una relación a/mc variable puede llevar a una variabilidad en la resistencia del concreto.

Además de la variación en el agua de mezclado, puede haber variabilidad debido a los materiales, fabricación y ensayo. En proyectos a largo plazo, puede haber personal diferente realizando estas funciones, lo que añade a la variabilidad.

La Tabla 1 muestra los sobre diseños calculados para varios estándares de control de concreto de ACI PRC-214-11(19) para concreto con $f'_c = 4,000$ psi¹⁷.

Al reducir la desviación estándar de 1,500 a 450 psi, el sobre diseño puede reducirse de 3,000 a 600 psi.

Curiosamente, si un productor desea ser conservador y diseñar las mezclas para una probabilidad de falla de una en 1,000 (10 veces menos riesgoso que ACI SPEC-301-20), deberá aumentar el sobre diseño en solo 290 psi si la desviación estándar es 450 psi, pero aumentar el sobre diseño en 1,140 psi si la desviación estándar es de 1,500 psi. Entonces, alcanzar una desviación estándar más baja proporcionará un aumento sustancial en la reducción del riesgo para un aumento menor en el sobre diseño, lo cual es en el mejor interés de todos los interesados, incluido el propietario.

Algunos productores pueden optar por usar un sobre diseño excesivo en lugar de mejorar las prácticas de calidad del concreto. Este enfoque puede desalentarse al exigir que los productores tengan personal, plantas y camiones que estén

calificados según los requisitos del Departamento de Transporte local (DOT) o NRMCA. Las prácticas de calidad mejoradas que apuntan a una desviación estándar más baja y a un sobre diseño menor se ven penalizadas por especificaciones de concreto que requieren materiales cementantes mínimos o requisitos innecesarios de a/mc máximo, o ambos.

Conclusiones

El sobre diseño de mezclas de concreto es una parte necesaria para producir concreto de calidad que cumpla con los criterios de aceptación. Los requisitos de resistencia promedio en ACI SPEC-301-20 proporcionan valores aceptables de sobre diseño. Sin embargo, como se ha discutido en este artículo, existen muchas razones por las cuales los sobre diseños más altos son comunes. No obstante, el sobre diseño excesivo conlleva mayores costos, menor durabilidad del concreto y no es favorable para el medio ambiente. Para evitar sobre diseños innecesariamente altos, ofrecemos las siguientes recomendaciones:

- Evitar especificar contenidos mínimos de materiales cementantes en las especificaciones del proyecto;
- Especificar la máxima a/mc que requiere el CÓDIGO ACI-318 para las clases de exposición aplicables. No especifique una a/mc máxima más baja;
- Especificar el contenido de aire solo si las clases de exposición del CÓDIGO ACI-318 lo requieren y no especifique un contenido de aire más alto que el requerido por el Código. Esto es particularmente importante para concreto de alta resistencia;
- Sea claro en las especificaciones en que se aplican diferentes criterios de aceptación de resistencia del CÓDIGO ACI-318 para las resistencias de cilindros y núcleos. Requisitos arbitrarios, ambiguos o más estrictos resultan en altos sobre diseños;
- Use registros de pruebas de resistencia en

campo si están disponibles para calcular la resistencia promedio requerida;

- Requerir alta resistencia temprana solo si es necesario. Los requisitos de resistencia temprana deben basarse en las cargas de diseño tempranas en lugar de requisitos arbitrarios como el 75% de f'_c a los 3 días. Si la resistencia
 - a los 28 días será mayor debido a los requisitos de alta resistencia temprana o consideraciones de exposición de durabilidad, aproveche la mayor resistencia en el diseño estructural;
 - Asegurarse de que los especímenes de prueba de concreto se curen y prueben de acuerdo con las normas aplicables, en particular su curado inicial, que a menudo se pasa por alto. Asegúrese de que los inspectores supervisen el curado inicial de los especímenes en el sitio de trabajo;
 - Asegurarse de que las agencias de ensayo (laboratorios de pruebas) que realizan las pruebas de aceptación cumplan con ASTM C1077 y que los técnicos que ensayan el concreto tengan certificaciones de campo o laboratorio de ACI;
 - Asegurarse de que todas las partes interesadas, en particular los productores de concreto, reciban los resultados de las pruebas de aceptación de concreto de manera oportuna;
 - Siempre existe la posibilidad de que un pequeño número de resultados de ensayo no cumplan con los criterios de aceptación del CÓDIGO ACI-318, incluso si el sobre diseño cumple con los requisitos del proyecto. El LDP debe usar juicio de ingeniería para evaluar la importancia de los resultados de baja resistencia;
 - Permitir que los contenidos de materiales cementantes y las dosificaciones de aditivos varíen dentro de un rango especificado sin requerir una nueva presentación de mezcla; y

Tabla 1:
Sobre diseño calculado para control de calidad de concretos de más de 4,000 psi de f'_c , bajo diversas condiciones de control.

Estándares de calidad (ACI PRC-214-11(19))	Excelente	Muy bien	Bien	Justo	Pobre	Pobre	Pobre
s , psi	350	450	550	650	750	1,200	1,500
f'_c (ACI SPEC-301-20), psi	4,470	4,600	4,780	5,020	5,250	6,300	7,000
Sobrediseño, psi	470	600	780	1,020	1,250	2,300	3,000

- Los productores de concreto deben seguir buenas prácticas de control de calidad y esforzarse por tener una baja desviación estándar y un bajo sobre diseño. Asegúrese de que los productores tengan personal, plantas y camiones calificados de acuerdo con los requisitos locales de DOT o NRMCA.

Aunque hemos identificado varios enfoques para reducir el sobre diseño del concreto, implementar solo algunos de ellos puede resultar en reducciones sustanciales. De alguna manera, los enfoques van de la mano. Por ejemplo, las especificaciones basadas en el desempeño (primeros dos puntos) y las pruebas de acuerdo con las normas (el séptimo punto) motivarán a los productores a mejorar el control de calidad y a alcanzar una desviación estándar más baja, lo que permite un sobre diseño menor. Si se llevan a cabo muchos de los pasos sugeridos anteriormente, un sobre diseño razonable puede rondar los 800 psi para concreto con un f'_c inferior a 5,000 psi, en lugar de los 1,500 a 3,000 psi que se utilizan actualmente en muchos proyectos.

Referencias

1. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI SPEC-301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
3. Cook, J.E., "Research and Application of High-Strength Concrete Using Class C Fly Ash," *Concrete International*, V. 4, No. 7, July 1982, pp. 72-80.
4. "A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Ready-Mixed Concrete Manufactured by NRMCA Members – Version 3.2," Athena Sustainable Materials Institute, Ottawa, ON, Canada, 2022, 101 pp., https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2022/02/NRMCA_LCARReportV3-2_20220224.pdf.
5. ACI Committee 329, "Minimum Cementitious Materials Content in Specifications (ACI PRC-329.1T-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 4 pp.
6. ACI Committee 363, "Report on High-Strength Concrete (ACI PRC-363-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 65 pp.
7. ACI Committee E702, "Designing Concrete Structures: Evaluation of Concrete Cores Test Results According to ACI 318-19 (ACI E702.8- 22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 8 pp.
8. "Guide to Improving Specifications for Ready Mixed

Concrete," NRMCA Publication 2PE004-21, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2021, 37 pp., <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/10/GuideToSpecs.pdf>.

9. ACI Committee 132, "Guide for Responsibility in Concrete Construction (ACI PRC-132-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 11 pp.
10. "Concrete Testing Adherence Collaboration," Colorado Ready Mixed Concrete Association (CRMCA), Centennial, CO, <https://www.concretetac.com/>, accessed Apr. 12, 2024.
11. Obla, K.H.; Werner, O.R.; Hausfeld, J.L.; MacDonald, K.A.; Moody, G.D.; and Carino, N.J., "Who is Watching Out for the Cylinders?" *Concrete International*, V. 40, No. 8, Aug. 2018, pp. 28-35.
12. "Reliable Concrete Acceptance Testing for Improved Sustainability and Performance," NRMCA Position Statement, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2024, 2 pp., https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/NRMCA_Position_Statement.pdf.
13. ACI Committee 311, "Specification for Testing Ready-Mixed Concrete (ACI SPEC-311.6-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 5 pp.
14. "AIA MasterSpec: Section 033000 – Cast-in-Place Concrete," American Institute of Architects, Washington, DC, 2023, 64 pp.
15. "In-Place Concrete Strength Evaluation—A Recommended Practice," NRMCA Publication No. 133, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2011, 10 pp.
16. "Materials Manual," Volume II, Section 9.2.6.3.1, revised July 2024, Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/programmanagement/implemented/urlinspecs/july24/section92v2-724clnaede6fc2-255d-477f-8e3e-081b29cb864d.pdf?sfvrsn=4154e834_1.
17. ACI Committee 214, "Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI PRC-214R-11) (Reapproved 2019)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 16 pp.

Nota: Información adicional sobre las normas ASTM discutidas en este artículo se puede encontrar en www.astm.org.

Miembro Honorario del ACI **Luke M. Snell** es Consultor de Concreto y Profesor Emérito en la Universidad del Sur de Illinois en Edwardsville, Edwardsville, IL, EE.UU. Fue miembro y presidente anterior de los Comités ACI 120, Historia del Concreto, y E702, Diseño de Estructuras de Concreto. También es miembro de los Comités ACI C630, Certificación de Inspectores de Construcción, y C801, Competiciones Estudiantiles. Es ingeniero profesional licenciado en Missouri.



Miembro Honorario del ACI **Nicholas J. Carino** se jubiló del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología después de 25 años de servicio como Ingeniero Estructural de Investigación. Ha sido parte de varios comités de ACI, incluyendo E707, Educación en Especificaciones; 228, Ensayos No Destructivos de Concreto; 301, Especificaciones para Construcción de Concreto; 329, Criterios de Desempeño para Concreto Premezclado; 437, Evaluación de la Estructura de Concreto Existente; y 562, Rehabilitación de la Reparación de Estructuras de Concreto; y el Subcomité ACI 318-A, General, Concreto y Construcción. Carino es también miembro de varios comités de ASTM y ha servido como presidente del Comité C09 de ASTM, Concreto y Agregados de Concreto.



Karthik H. Obla, F.ACI, es vicepresidente Senior de Servicios Técnicos en la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA), en Alexandria, VA, EE.UU. Es presidente del Comité ACI 214, Evaluación de Resultados de Pruebas para Determinar la Resistencia del Concreto, y miembro y ex-presidente del Comité ACI 232, Cenizas Volantes y Cenizas de Fondo en el Concreto; y miembro de los Comités ACI C690, Certificación de Gerente Técnico de Calidad del Concreto; 201, Durabilidad del Concreto; 211, Proporción de Mezclas de Concreto; 236, Ciencia de los Materiales del Concreto; 240, Puzolanas; 329, Criterios de Desempeño para Concreto Premezclado; 365, Predicción de la Vida Útil del Servicio; y 555, Concreto con Materiales Reciclados. Ha trabajado como presidente del Subcomité C09.49 de ASTM, Concreto Poroso. Obla tiene un BTech en ingeniería civil del Instituto Indio de Tecnología (IIT) BHU Varanasi, Varanasi, Uttar Pradesh, India, y su MS y PhD en ingeniería civil de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI, EE.UU. Obla es ingeniero profesional licenciado en Maryland.



Título original en inglés:
Excessive Overdesign of
Concrete Mixtures for
Strength—Causes and Solutions

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



Traductor:
**Ing. Jorge
Campoverde**



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

Alejándose de la Confusión de la Neutralidad de Carbono

Por Koji Sakai y Takeju Matsuka

La humanidad parece haber emprendido una amplia gama de esfuerzos desde que las Naciones Unidas emitieron el informe *Nuestro Futuro Común* en 1987¹, que definió el “desarrollo sostenible”. El calentamiento global ha atraído una atención particular como un tema urgente, llevando a la adopción del Acuerdo de París en la COP21 en 2015, que requería que las Partes “presentaran sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el período posterior a 2020, independientemente de si son países desarrollados o en desarrollo”. El objetivo general del acuerdo era “mantener el aumento de la temperatura promedio global muy por debajo de 2 °C (3.6 °F), y esforzarse por limitar el aumento de temperatura a 1.5 °C (2.7 °F), por encima de los niveles preindustriales”.

Sin embargo, resultó que las NDC compiladas no se acercaban a la meta del Acuerdo de París. El movimiento internacional posterior, que debería haber sido decisivo, se estancó debido a una mezcla compleja de problemas, incluidos los deseos de desarrollo de los países del Sur Global, las agendas de las naciones productoras de petróleo y la falta de apoyo de los países desarrollados a los países en desarrollo.

La esencia del problema estaba clara, pero se evitaron decisiones que abordaran el núcleo del asunto. Finalmente, en 2023, las naciones participantes en la COP28 aprobaron una transición “lejos de los combustibles fósiles” hacia la energía renovable. Esto es notable porque la COP28 se celebró en los Emiratos Árabes Unidos (EAU), un productor de combustibles fósiles. A primera vista, esto puede no parecer un avance significativo, pero en realidad, es el centro del problema. Con este fin, el acuerdo también estableció como objetivo triplicar la capacidad de energía renovable y duplicar la eficiencia energética para 2030. Este cambio histórico significa que la humanidad ha reconocido, después de numerosos desastres causados por

lluvias torrenciales y sequías alrededor del mundo, que la situación ya no puede quedar sin respuesta, aunque se vislumbren desafíos por delante.

Mientras tanto, el mundo industrial parece haberse despertado repentinamente a la acción, estableciendo la neutralidad de carbono como un objetivo a alcanzar para 2050. Sin embargo, esta meta de transformación revolucionaria está causando una gran confusión, ya que requiere la “creación destructiva” de tecnologías y sistemas que la humanidad construyó en la era moderna. Por lo tanto, es necesario comprender con calma la verdadera naturaleza del problema y tomar las acciones necesarias.

Este artículo aclara qué hacer ahora con una visión clara de la naturaleza de la inestabilidad en torno a la neutralidad de carbono en el campo del cemento/concreto y discute las medidas para avanzar hacia esta transformación histórica.

¿Qué es el cemento/concreto?

John Smeaton utilizó cal hidráulica como material de unión para bloques de granito en la construcción de un faro en 1756, y Joseph Aspdin obtuvo una patente en 1824 por el método de producción de cemento hidráulico. Es decir, el concreto moderno tiene una historia de más de 200 años. En Japón, Isami Hiroi, quien se graduó en la segunda generación del Colegio Agrícola de Sapporo, Japón, y se convirtió en el primer director de la Oficina de Construcción del Puerto de Otaru en 1897, comenzó pruebas de durabilidad con briquetas de mortero el año anterior, cuando aún no se había establecido un método de diseño de dosificación. Estas pruebas proporcionaron una gran cantidad de información para las generaciones siguientes como las “Pruebas de Durabilidad de 100 Años”². Con su uso generalizado y el desarrollo de tecnologías y sistemas relacionados, el cemento/concreto ha ganado el estatus de material fundamental para el desarrollo de infraestructura actual.

El concreto es un material sencillo que combina agregados, que constituyen aproximadamente el 70 % de su volumen, con hidratos de cemento. Los agregados son materiales muy abundantes, al igual que el agua, que es necesaria para la hidratación del cemento. La piedra caliza, una materia prima del cemento, es una sustancia que ha sido y continúa siendo producida por organismos vivos a lo largo de un período de tiempo prolongado. Por lo tanto, se puede decir que el concreto tiene las características de un material que puede ser utilizado en grandes cantidades. El acero de refuerzo es el mejor y más resistente complemento para el

concreto, compensando su debilidad. Sus materias primas también están ampliamente disponibles. En otras palabras, ningún material puede reemplazar al concreto.

No obstante, dado que se ha aclarado que el dióxido de carbono (CO₂) es la causa del calentamiento global, el CO₂ derivado de la producción de cemento y acero ha comenzado a plantear una preocupación seria. Mientras que la ingeniería del concreto ha evolucionado y el sistema de diseño se ha construido con un enfoque en la seguridad estructural, ahora se ha vuelto necesario incorporar también cuestiones ambientales. En otras palabras, la ola del “desarrollo sostenible” definida en 1987 ahora está alcanzando a la ingeniería del concreto. Sakai ha intentado generalizar esto bajo el marco de “diseño sostenible”^{3,4}.

Confusión en la Neutralidad de Carbono

Mientras tanto, ha surgido un discurso inquietante en la búsqueda de la neutralidad de carbono para frenar el calentamiento global para 2050, lo cual incluye intentos de “greenwashing”. La inversión en factores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) parece estar disminuyendo. Estos fenómenos han surgido de una comprensión incorrecta de la neutralidad de carbono y de una perspectiva limitada que ha permitido que las personas se aprovechen de esta tendencia para nuevas oportunidades comerciales.

Como se observa en el acuerdo de la COP28, la descarbonización equivale a una ruptura con los combustibles fósiles, que han servido como base para todas las industrias. En otras palabras, este acuerdo significa un cambio lejos de siglos de dependencia de los combustibles fósiles.

Los posibles sustitutos de los combustibles fósiles incluyen el hidrógeno y el amoníaco, pero su producción requiere energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica. También se requiere que los métodos de climatización, así como el transporte por tierra y aire, estén libres de emisiones de gases de efecto invernadero. Los combustibles para la producción de varios materiales también deben ser convertidos, pero estos deben ser tratados mediante tecnología de captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono (CCUS) para evitar emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las materias primas. También se vuelve necesario el reciclaje de CO₂ (por ejemplo, CO₂ + H₂ → CH₄ (metano) y CO₂ + H₂ → combustibles sintéticos) junto con el almacenamiento subterráneo, lo cual requiere arreglos legales para los derechos de

almacenamiento subterráneo y el desarrollo de tecnologías de almacenamiento. Los esfuerzos deben comenzar con la eliminación de emisiones de CO₂, al menos las derivadas de los combustibles. Al producir cemento, solo es necesario cambiar el combustible de carbón a hidrógeno. En cuanto al acero, lograr la transición del alto horno al horno eléctrico llevará, en última instancia, al reciclaje completo. Sin embargo, es inevitable que se necesite cierto tiempo para mejorar las condiciones hacia la neutralidad de carbono.

Una Salida de la confusión de la Neutralidad de Carbono

El primer paso para acabar con la inestabilidad de la neutralidad de carbono es convertir la energía eléctrica en energía renovable. Luego debe prepararse el entorno para la producción de combustible necesario para la fabricación de materiales. Para la producción de cemento, los combustibles deben ser reemplazados por hidrógeno verde. Las condiciones de fusión deben ajustarse. Esto reduciría las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 40 %. El CO₂ derivado de la materia prima de piedra caliza puede reducirse ya sea confiando su tratamiento a CCUS, reemplazando el Clinker de cemento con materiales cementantes suplementarios (SCM) si es posible, o permitiendo que las plantas lo absorban. Los materiales cementantes suplementarios no son prometedores como herramienta, ya que la cantidad disponible es limitada incluso ahora y se espera que disminuya en el futuro⁵. Además, su rendimiento no es totalmente comparable al del clínker de cemento. Con esto en mente, las industrias relacionadas con el cemento/concreto deberían realizar apropiadamente un “diseño de transición” para establecer un curso hacia la reducción de carbono al nivel requerido.

Ha habido un discurso que argumenta que se forma Ca(OH)₂ en los hidratos de cemento y se carbonata mediante CO₂ en CaCO₃, compensando las emisiones de CO₂ durante la producción de cemento. Sin embargo, la carbonatación alteraría las propiedades del aglomerante entre las partículas de agregado. La mayoría de estos mecanismos toman un tiempo prolongado durante la vida útil del concreto, con el panorama completo en un territorio desconocido de la ingeniería del concreto junto con el reciente tema de la absorción forzada de CO₂. Por lo tanto, es mejor mantener estas teorías en el nivel de investigación. Los investigadores son libres de estudiar esta área, pero la implementación de tecnología que se desvíe de la esencia obstaculizará el avance en la dirección correcta. Es vital realizar

un diseño de transición constante del que podamos estar seguros.

Se han desarrollado técnicas para mezclar CO₂ líquido en el concreto, pero aún no se ha explicado claramente la diferencia entre el concreto resultante y el concreto convencional. Según los datos disponibles públicamente, su efecto reductor de CO₂ está muy lejos de la neutralidad de carbono.

El reciclaje es crucial para los recursos limitados en la Tierra, hogar de 8 mil millones de personas. La humanidad ha logrado algo de reciclaje hasta ahora. No existe un obstáculo importante para el reciclaje de rocas y hierro. Además, los recursos minerales raros pueden reciclarse a partir de productos. Sin embargo, no se ha logrado el reciclaje de los hidratos de cemento como aglomerante. Primero, el agregado debe ser removido del concreto. Puede ser posible fundir en un horno eléctrico para producir cemento reciclado, pero el reciclaje de recursos debe producir un beneficio que valga el esfuerzo. De lo contrario, se debe aceptar el reciclaje de menor calidad. Lo importante es utilizar los materiales reciclados como recursos de cualquier forma. En resumen, es importante comprender apropiadamente lo que significa “sostenibilidad” y tomar las medidas necesarias⁶. Nada surge del pensamiento sin racionalidad.

Epílogo

La tecnología del cemento/concreto acumulada durante cientos de años no puede transformarse de la noche a la mañana. El bajo costo ha sido la base del desarrollo técnico convencional. Con la neutralidad de carbono exigiendo un cambio drástico en la base tecnológica existente, hay una necesidad de realizar cambios drásticos en el marco de sostenibilidad en relación con la sociedad, el medio ambiente y el costo. En otras palabras, no existe una solución mágica cuando se trata de la neutralidad de carbono. La generación de energía por fusión nuclear todavía está lejos. ¿Qué pasa con el hidrógeno natural? Es dudoso que el comercio de emisiones funcione como se pretende.

Referencias

1. The United Nations World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, UK, 1987, 374 pp.
2. Sarukawa, Y.; Sakai, K.; and Kubouchi, A., “Japan’s 100-Year-Long Otaru Port Breakwater Durability Test,” *Concrete International*, V. 16, No. 5, May 1994, pp. 25-28.
3. Sakai, K., and Noguchi, T., *The Sustainable Use of Concrete*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2012, 188 pp.

4. Sakai, K.; Shibata, T.; Kasuga, A.; and Nakamura, H., “Sustainability Design of Concrete Structures,” *Structural Concrete*, V. 17, No. 6, Dec. 2016, pp. 1114-1124.
5. Sakai, K., and Matsuka, T., “The Essence of Carbon Neutrality in Concrete-Related Technologies,” *Concrete International*, V. 45, No. 11, Nov. 2023, pp. 40-41.
6. Sakai, K., and Matsuka, T., “The Essence of Sustainability in the Use of Concrete,” V. 62, No. 3, *Concrete Journal*, Japan Concrete Institute, Mar. 2024, pp. 38-46. (in Japanese)

Koji Sakai, miembro honorario del ACI, es el representante del Instituto de Sostenibilidad de Japón, en Sapporo, Japón. Es miembro de los Comités 120 del ACI, Historia del Concreto, y 130, Sostenibilidad del Concreto. También fue presidente inmediato de ISO/TC 71/SC 8, Gestión Ambiental para Concreto y Estructuras de Concreto. Fue presidente de la Comisión 3 de la fib, Aspectos Ambientales del Diseño y la Construcción, desde 2002 hasta 2010, y del Comité de Sostenibilidad del Instituto de Concreto de Japón desde 2010 hasta 2021. Sakai ha sido co-moderador de sesiones en todos los Foros de Sostenibilidad del Concreto del ACI.



Takeju Matsuka es profesor asociado en el Instituto Nacional de Tecnología, Colegio de Kumamoto, Yatsushiro, Japón. Sus intereses de investigación incluyen el diseño de transición de tecnologías del concreto y sistemas de diseño de sostenibilidad basados en el rendimiento.



Título original en inglés:
Point of View.
Moving Away from
Carbon Neutrality Turmoil

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



Traductora:
**Jesús Omar
Montaño Montaño**
*Estudiante Ing. Civil
Universidad de Sonora*



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

Estrategias para Obtener Mezclas de Concreto de Bajo Carbono para Pavimentación

P. *Nuestro proyecto de pavimentación requiere implementar las llamadas mezclas de concreto “bajo en carbono”. ¿Cómo lo hacemos?*

R. Se estima que casi el 90% de las emisiones de carbono incorporadas en una mezcla de concreto en la planta de producción provienen de la fabricación de cemento portland, por lo que tiene sentido prestar atención a la cantidad de clinker en la mezcla de concreto. Con ese objetivo, se pueden adoptar las siguientes cinco estrategias de forma individual o conjunta:

1) Orientarse hacia el cementante aglutinante

Selecciona un cemento con emisiones de carbono incorporadas reducidas. Por ejemplo, usa cemento que contenga clinker mezclado con caliza en la planta de cemento (es decir, especificando cemento portland-caliza Tipo IL según AASHTO M 240/ASTM C595). Este enfoque, combinado con la adición de materiales cementantes suplementarios (SCMs) en la planta de mezclado, puede reducir significativamente la cantidad de clinker de cemento portland en una mezcla. Alternativamente, considera el uso de cementos premezclados que cumplan con los requisitos de ASTM C1157.

Es importante tener en cuenta que las propiedades en estado fresco, como la demanda de agua, el sangrado y los tiempos de fraguado, probablemente serán diferentes de las mezclas convencionales, lo que significa que el equipo de acabado puede tener que ajustar sus prácticas. Además, estos sistemas suelen presentar una hidratación más lenta, lo que resulta en un fraguado y un desarrollo de resistencia más tardados. Este cambio en la cinética de hidratación tradicional puede afectar todas las fases de la construcción, especialmente durante climas más fríos.

2) Optimizar la mezcla de concreto para reducir el contenido de aglutinante

Una vez que se ha reducido el contenido de clinker de cemento portland en el cementante aglutinante, la siguiente estrategia consiste en reducir el contenido de cementante aglutinante en el concreto. Reducir este contenido no solo disminuye las emisiones de carbono incorporadas en el concreto, sino que, si se mantiene constante la relación agua/materiales cementantes (a/mc), también reduce la contracción y mejora la durabilidad sin afectar la resistencia a largo plazo.

La reducción del contenido total de materiales cementantes, al mismo tiempo que se mantienen las propiedades requeridas del concreto fresco, se facilita mediante la optimización de la graduación del agregado, donde la distribución del tamaño de las partículas del agregado se selecciona para promover el mejor empaquetamiento del agregado.

Hay que enfocarse en asegurar que la graduación de los agregados combinados cumplan con una especificación dada, en lugar de que cada fuente de agregado cumpla con requisitos específicos de tamizado. Cuando la graduación del agregado está optimizada, se necesita una menor cantidad de pasta para llenar el espacio entre las partículas de agregado, solo lo suficiente para separarlas ligeramente y actuar como lubricante, garantizando la trabajabilidad de la mezcla. La Curva Tarántula ha demostrado ser un buen enfoque para guiar el desarrollo de una gradación optimizada del agregado. Puedes encontrar recursos relacionados en <http://www.tarantulacurve.com/>.

3) Reducir las emisiones de carbono incorporadas en los agregados de la cuna a puerta

Usa agregados con emisiones de carbono incorporadas reducidas. Por ejemplo, siempre que sea posible, utiliza agregados locales, o emplea agregados gruesos reciclados producidos en una etapa anterior del proyecto, siempre que la declaración ambiental de producto (EPD) del agregado indique menores emisiones de carbono incorporadas en comparación con las fuentes de agregados vírgenes disponibles. En este último caso, asegúrate de que el agregado reciclado cumpla con todos los requisitos de ingeniería y durabilidad (por ejemplo, verifica que el agregado no sea potencialmente reactivo álcali-sílice [ASR]).

Debe considerarse también usar como agregados materiales reciclados, desechos y subproductos, tales como agregados de concreto reciclado (RCA), escoria de alto horno enfriada al aire, arena de fundición e incluso pavimento de asfalto recuperado

(RAP), en lugar de agregados naturales recién extraídos y procesados, siempre y cuando no se comprometa el comportamiento.

- Las consideraciones principales para elegir fuentes de agregados para el concreto, que apoyen la reducción de las emisiones de carbono incorporadas de cuna a puerta incluyen:

- Idealmente, los agregados deberían ser obtenidos localmente para minimizar la distancia de transporte a la planta de concreto. Los agregados transportados a largas distancias deben ser enviados por ferrocarril o barcaza, si es posible, a un punto de distribución cercano, desde donde los camiones puedan entregarlos a la planta;

- La forma y textura de los agregados afectan la demanda de agua, la trabajabilidad y la facilidad de acabado. Esto es especialmente cierto para los agregados finos manufacturados, cuyo uso puede resultar en una mezcla áspera que es difícil de terminar;

- Los agregados deben ser durables. La principal preocupación de durabilidad es la reactividad álcali-agregado, que incluye la ASR y la reactividad álcali-carbonato (ACR). Se debe seguir la norma AASHTO R 80/ASTM C1778 para identificar agregados potencialmente reactivos y seleccionar medidas preventivas adecuadas para minimizar el riesgo de expansión cuando dichos agregados se usan en concreto; y

- Los agregados en algunas regiones también son susceptibles a daños cuando se exponen a ciclos de congelación y deshielo mientras están altamente saturados. Estos daños se manifiestan como un deterioro notable de la superficie del concreto en forma de agrietamiento en D. Sigue estrategias de mitigación para reducir los daños causados por congelación y deshielo en los agregados.

4) Enfocarse en los requisitos de rendimiento de la mezcla

Utiliza especificaciones de comportamiento para la proporción y aceptación de la mezcla, con el fin de fomentar el desarrollo de mezclas innovadoras. Por ejemplo, utiliza AASHTO R 101 e implementa requisitos de comportamiento para el concreto de pavimentación para asegurar su durabilidad a largo plazo.

Para lograr reducciones a largo plazo en las emisiones de carbono incorporadas, los requisitos del concreto deben estar vinculados a su comportamiento a largo plazo. La adopción de especificaciones de comportamiento también tiende a permitir la innovación, lo cual puede reducir las emisiones de carbono incorporadas en el concreto de pavimentación.

5) Considerar otros factores

Identifica otras estrategias para reducir las emisiones de carbono incorporadas en el concreto. Estas pueden incluir acercar la planta de producción de concreto al sitio del proyecto para reducir las distancias de transporte.

Paso Final

El cambio es difícil de justificar si no se cuantifica. La herramienta preferida utilizada por las agencias públicas para evaluar y comprender las emisiones de carbono incorporadas en un material es solicitar una Declaración Ambiental de Producto (EPD). Las emisiones de carbono incorporadas se reportan en una EPD en unidades de kg de CO₂-eq/m³ o kg de CO₂-eq/yd³.

El objetivo de una EPD es reunir y presentar los impactos ambientales de un tipo específico de material utilizando un marco consistente. Una EPD no está destinada a ser usada como medio de comparación entre materiales fundamentalmente diferentes. En los casos donde dos materiales son del mismo tipo, desarrollados bajo la misma regla de categoría de producto (PCR) y cumplen con los mismos requisitos de comportamiento (por ejemplo, resistencia inicial, resistencia de diseño, permeabilidad o durabilidad), puede ser posible hacer una comparación de las EPD.

Se puede encontrar información más detallada sobre el desarrollo de mezclas de concreto de bajo carbono para pavimentación en la “Guía para Reducir las Emisiones de Carbono Incorporadas de Cuna a Puerta en el Concreto de Pavimentación” (https://cdn-wordpress.webspec.cloud/intrans.iastate.edu/uploads/2024/03/guide_for_reducing_cradle-to-gate_emissions_w_cvr.pdf).

Nota: Se puede encontrar información adicional sobre las normas ASTM y AASHTO mencionadas en este artículo en www.astm.org y www.transportation.org, respectivamente.

Agradecimiento especial a Peter Taylor, del CP Tech Center en Ames, IA, EE. UU., por proporcionar la respuesta a esta pregunta

Título original en inglés:
Strategies for Obtaining
Low-Carbon Concrete
Mixtures for Paving

La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Perú



Traductor:
**Bach. Ing.
Braveheart Roger
Rojas Ureta**



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



**Ing. Jakelyn Quispe
Vásquez**



CONCRETO
LATINOAMÉRICA