

# CONCRETO

## LATINOAMÉRICA



VOLUMEN III | NÚMERO 12 | DICIEMBRE 2022

# CONCRETO

## LATINOAMÉRICA

Volumen III - Número 12  
Diciembre de 2022

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.

## CONTENIDO

- Pág.**
- 4** | **Diseño por viento basado en desempeño - Proximamente en ACI 318**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: Costa Rica
  - 12** | **Un año más cerca de un futuro con cemento neutro en carbono**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: Colombia
  - 15** | **Congestión del refuerzo en el concreto colocado en el lugar**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: México Noreste
  - 32** | **Concreto carbono neutro**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: Colombia
  - 37** | **La certificación ACI llega a la Argentina**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: Argentina
  - 40** | **Ganadores de la octava edición reconocimientos a la excelencia en la construcción con concreto del ACI**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: México Noreste
  - 56** | **Concreto Preguntas y Respuestas: Cargas de diseño para techos de vigueta de concreto / Concreto y vida de servicio del diseño**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: México Centro y Sur
  - 59** | **La introducción al refuerzo de alta resistencia**  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo: Perú

## COMITÉ EDITORIAL:

### Presidente del Comité Editorial:

Ing. Alejandro Miguel Narro Aguirre  
Presidente de la Sección Noreste de  
México del ACI.(2020-2022)

### Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

### Editor Asociado:

Dr. Lucio Guillermo López Yépez

### Editor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

### Traducción:

Anabel Merejildo

### Comité de Noticias y Eventos Concreto Latinoamérica

Ing. Jesús Fernando García Arvisu  
Ing. Jesús Arturo Angel Mellado

### 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. Monserrat Treviño Garza  
Alejandro Martínez Sánchez  
LDI. Julián Capetillo Castillo

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

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

### Cualquier asunto relacionado con la publicación

contactarse a :

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

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 Diciembre del 2022. 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.

## Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina  
Colombia

Costa Rica  
Ecuador Centro y Sur  
Guatemala

México Noreste  
Mexico Noroeste  
México Centro y Sur  
México Sureste  
Panamá  
Perú  
Puerto Rico

Dr. Raúl Bertero  
Dra. Nancy Torres Castellanos  
Dr. Fabían Lamus Báez  
Ing. Minor Murillo Chacón  
Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín  
Ing. Luis Alvarez Valencia  
Ing. Xiomara Sapón Roldán  
Ing. Alejandro M. Narro Aguirre  
Ing. Jesús Fernando Garcia Arvizu  
Arq. Arturo Rodriguez Jalili  
Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala  
Ing. Jorge L. Quiróz  
Ing. Julio Antonio Higashi Luy  
Ing. Anabel N. Merejildo



*Fotografía del Brossard Aquatic Complex, Brossard, Q.C, Canadá.*

*Ganadora del Segundo Lugar en la Categoría de Estructuras de Baja altura en la 8ava entrega de los Premios a la Excelencia en Construcción de Concreto ACI 2022. En su interior hay dos albercas cubiertas para competencias de 50 m cada una y fosa para clavados de gran altura. Además, una alberca recreativa, fuentes y un tobogán. Para la obra se usó concreto reforzado en cimentaciones, pisos, estructuras y albercas, incluyendo los voladizos que adornan la fachada que apreciamos en la fotografía.*



**¡Únete Hoy!**  
**Conoce tu capítulo**  
**local ACI**

300+ Capítulos profesionales  
y estudiantiles  
[www.concrete.org/chapters](http://www.concrete.org/chapters)



American Concrete Institute  
*Always advancing*

# Diseño por viento basado en desempeño – Próximamente en ACI 318

*Vista previa del PBWD y el concreto*

*por Jonathan Hurff e Ian McFarlane*

Los enfoques de diseño basado en desempeño para ingeniería sísmica se han utilizado por muchos años para el diseño de edificaciones en la costa oeste de los Estados Unidos, e internacionalmente en muchas regiones sísmicamente activas. El uso del diseño sísmico basado en desempeño (PBSD, por sus siglas en inglés) se enfoca predominantemente en edificios altos y en la rehabilitación de edificaciones existentes. La aceleración del enfoque PBSD, incluyendo la aceptación de la metodología por parte de autoridades con jurisdicción (AHJs, por sus siglas en inglés), fue el resultado de investigación significativa y el desarrollo de guías propias de la industria a través de documentos tales como PEER/TBI, “Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings”<sup>1</sup>; LATBSDC, “An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region”<sup>2</sup>; PEER/ATC 72-1<sup>3</sup>; y ASCE 41-13.<sup>4</sup> A medida que se definió mejor el desarrollo de técnicas de análisis y modelado de PBSD, se necesitó orientación adicional de códigos y estándares específicos de materiales. Para el diseño de estructuras de concreto reforzado, se ha incorporado una guía para el PBSD en el Apéndice A de ACI 318-19.<sup>5</sup>

Aunque el diseño por viento basado en desempeño (PBWD, por sus siglas en inglés) es en apariencia una extensión natural del marco general del PBSD, el PBWD ha sido utilizado solamente en un número limitado de edificios altos fuera de los Estados Unidos, unos pocos casos específicos dentro de los Estados Unidos para estructuras de

edificaciones existentes (para los cuales los métodos de diseño prescriptivos y basados en códigos requerirían modificaciones más extensas y costosas<sup>6,7</sup>) y una torre ahora en construcción en Austin, Texas, Estados Unidos. Los diseñadores podrían estar reacios al uso de PBWD porque:

- Perciben una falta de investigación y guía;
- No perciben un beneficio en comparación con el PBSD, el cual potencia un mayor grado de inelasticidad; o
- No están familiarizados con las características de la respuesta dinámica asociadas con cargas de viento.

Sin embargo, los beneficios potenciales del PBWD incluyen un diseño estructural más eficiente y efectivo al permitir niveles modestos de no-linealidad; una evaluación más directa de los objetivos de confiabilidad y desempeño; y una mejora general del diseño de la edificación como resultado de la rigurosa consideración de funcionalidad, resistencia y estabilidad.

Se necesita un catalizador para acelerar el uso y aceptación del PBWD, y ese catalizador ha llegado en la forma de ASCE/SEI, “Prestandard for Performance-Based Wind Design,”<sup>8</sup> (Pre-estándar de la ASCE) auspiciado por ASCE, SEI, Charles Pankow Foundation, ACI Foundation, AISC, MKA Foundation y FEMA (Fig. 1).

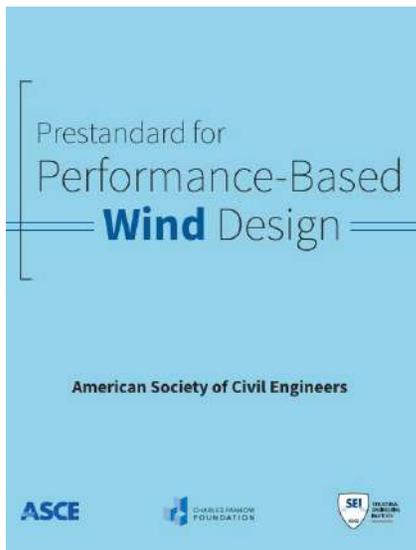


Figura. 1: ASCE/SEI Estándar Preliminar para el diseño por viento en base a desempeño<sup>9</sup>

Con la publicación del Pre-estándar de la ASCE, los códigos y estándares de materiales tienen una oportunidad de abordar aspectos específicos de los materiales relacionados con PBWD. El comportamiento de elementos de concreto que son sujetos a muchos ciclos de fluencia modestos es un aspecto único que el ACI tendrá que abordar. Existen dos esfuerzos coordinados en marcha para atender esta necesidad, entre el Comité 375 del ACI, Performance-Based Design of Concrete Buildings for Wind Loads, y el Subcomité 318-W del ACI, Wind Provisions. El Comité 375 del ACI se ha encargado de brindar esfuerzos de apoyo para determinar las necesidades de investigación y priorizar investigaciones futuras con respecto al diseño de concreto para PBWD. El Subcomité 318-W del ACI se formó para desarrollar un nuevo Apéndice del Código para proveer disposiciones de diseño, complementarias al Pre-estándar de la ASCE, para ser incluidas en el ACI 318-25.

## Introducción al PBWD

El diseño tradicional de estructuras para carga de viento se ha limitado a disposiciones de diseño para resistencia elástica. Las cargas de viento que se utilizan para diseño elástico (aplicando una reducción de rigidez para elementos de concreto reforzado) pueden tener un intervalo de recurrencia promedio de 700 a 1700 años dependiendo de la categoría de riesgo. Comparativamente, las cargas de

sismo pueden tener un intervalo de recurrencia promedio entre 500 y 2500 años, pero permiten un comportamiento inelástico significativo dependiendo del sistema estructural y los procedimientos de diseño. La amplia diferencia entre estos enfoques resulta en un diseño por viento que podría ser demasiado conservador y podría no resultar en una confiabilidad objetivo consistente. El PBWD ofrece un diseño menos conservador con una confiabilidad objetivo que es consistente con ASCE 7-16.<sup>9</sup>

Para discutir efectivamente el diseño y comportamiento del concreto, es necesaria una introducción al PBWD. El PBWD es una alternativa a los procedimientos establecidos en el International Building Code (IBC) y los estándares referenciados. Este procedimiento de diseño alternativo permite una mayor libertad a los ingenieros de diseño si estos realizan un análisis más riguroso para evaluar objetivos de desempeño específicos. El método considera una evaluación directa de la demanda por viento en la estructura mediante el uso de historias en el tiempo de viento desarrolladas a partir de ensayos exhaustivos en túnel de viento. Además, el método evalúa el desempeño de la edificación en relación con los objetivos de desempeño de confort de ocupantes, desempeño operacional y ocupación continua.

Aunque el beneficio más atractivo para los propietarios es la capacidad de adquirir economía estructural, el PBWD también puede resultar en una edificación con mejor desempeño debido a una comprensión detallada del comportamiento, una habilidad mejorada para ajustar el desempeño de la edificación y estudiar dispositivos de disipación de energía con mayor precisión. Un diagrama de flujo general del proceso de PBWD para el sistema principal resistente a cargas de viento (MWFRS, por sus siglas en inglés) se presenta en Clifton et al.<sup>10</sup> El objetivo de desempeño de Confort de Ocupantes puede ser evaluado utilizando el método de historia de la respuesta lineal aproximada o el de historia de la respuesta no lineal, mientras que el objetivo de desempeño operacional puede ser evaluado utilizando los métodos de historia de la respuesta estática lineal, historia de la respuesta lineal o historia de la respuesta no lineal como se presenta de manera general en la Tabla 6-1 del Pre-estándar de la ASCE.

La evaluación del objetivo de desempeño de Ocupación Continua/Interrupción Limitada en el proceso de PBWD puede ser implementada usando uno de tres métodos: Método 1, Método 2 o Método 3. Todos los métodos incluyen un requerimiento de resistencia mínima que es evaluada mediante análisis de viento estático lineal. Aunque los requerimientos mínimos se podrían revisar hasta el final de la evaluación, más comúnmente se utiliza como un punto de partida para el diseño. El Método 1 requiere un análisis de historia de la respuesta que incluye historias en el tiempo desarrolladas mediante ensayos en un túnel de viento. El método permite relaciones demanda-capacidad que exceden la unidad para acciones específicas controladas por deformación, aunque en tales casos esto desencadena un análisis no lineal de la edificación. El Método 1 probablemente será el método más utilizado debido a la relativa facilidad de implementación en los softwares disponibles comercialmente. Referirse a la Fig. 2 para el diagrama de flujo del Método 1 para Ocupación Continua.

El Método 2 permite flexibilidad al ingeniero de diseño al permitir que la confiabilidad estructural de la edificación sea directamente calculada y comparada con las confiabilidades objetivo del Capítulo 1 de ASCE 7-16. El método es mucho más intensivo que el Método 1 debido a la evaluación de la confiabilidad y al análisis no lineal dinámico incremental que es requerido. El Método 3 es similar al Método 2 en que directamente compara la confiabilidad del sistema.

Sin embargo, el Método 3 requiere que se incluya la incertidumbre de la demanda y la capacidad en un análisis no lineal de historia en el tiempo que considere la variación en las historias en el tiempo de carga de viento, resultando en un esfuerzo computacional significativo. Aunque el Método 3 es bastante complejo, se puede simplificar mediante el uso de Método de Shakedown Dinámico.<sup>11</sup> Este artículo se enfoca principalmente en el Método 1, debido al desarrollo significativo en curso de los Métodos 2 y 3 y el alcance limitado e involucramiento actualmente requerido por parte del ACI.

Para información adicional con respecto al PBWD, referirse a Clifton et al.<sup>10</sup> y al Pre-estándar de la ASCE.

## Modelado y análisis

El enfoque del Apéndice escrito por el Subcomité 318-W del ACI es presentar los criterios de aceptación y parámetros de modelado específicos a estructuras de concreto. Los requerimientos detallados sobre protocolo de carga de viento y ensayos en túnel de viento serán referidos a ASCE. El nivel aceptable de inelasticidad y el efecto sobre la respuesta estructural de elementos de concreto cuando son sujetos a miles de ciclos en un protocolo de carga de viento es una de las preguntas primarias que el comité está intentando abordar. Por ejemplo, los ensayos de vigas de acople bajo un protocolo de carga de viento<sup>12</sup> han demostrado recientemente que el detallado estándar de vigas de acople puede resistir demandas de viento con más de 2000 ciclos de carga y alcanzando una demanda de ductilidad de al menos 1.5 bajo un número limitado de ciclos con poca a ninguna degradación de resistencia. Investigaciones tanto en curso como futuras se usarán para desarrollar las recomendaciones del Apéndice.

Se requerirá que el modelado del MWFRS de concreto estructural corresponda a un modelo tridimensional para capturar la distribución espacial de las cargas de viento, la torsión de la edificación y los efectos del viento a lo largo y a través de la edificación. Los elementos que no se consideren parte del MWFRS pueden ser excluidos del modelo; sin embargo, los efectos de segundo orden deben ser valorados, así como su compatibilidad con los elementos resistentes a cargas laterales. Dependiendo de la rigidez relativa del sistema lateral con respecto a los elementos específicos de gravedad, puede ser deseable incluir estos últimos elementos en el modelo del sistema lateral para capturar la compatibilidad. El Subcomité 318-W del ACI está evaluando si ciertos elementos que no forman parte del MWFRS, deberían ser específicamente incluidos en el modelo de análisis lateral para que la compatibilidad se capture explícitamente.

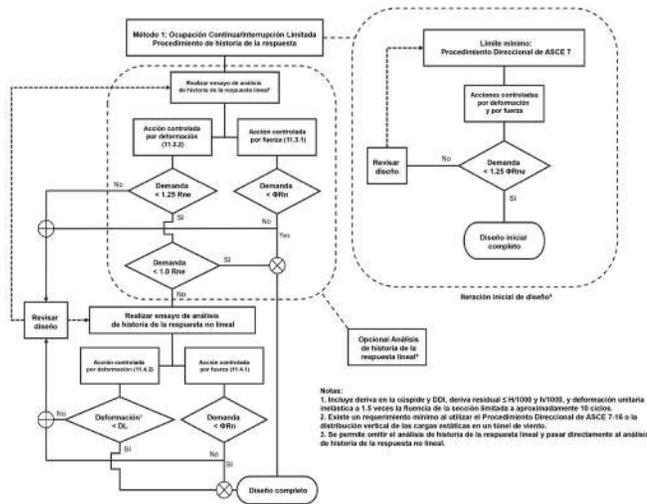


Figura 2: Diagrama de flujo para el procedimiento del Método 1 incluyendo criterios de aceptación

## Rigidez efectiva y propiedades esperadas de los materiales

Una parte importante del diseño de sistemas laterales de concreto reforzado consiste en tomar en cuenta la rigidez efectiva de cada elemento del sistema lateral. Para el caso de PBWD usando el procedimiento de historia de la respuesta lineal, la rigidez efectiva de los componentes del MWFRS es crítica para la evaluación de funcionalidad de la edificación, incluyendo el Confort de Ocupantes, para múltiples eventos de intervalo de recurrencia promedio (MRI, por sus siglas en inglés). El nivel de agrietamiento y la reducción de rigidez deberían ser conmensurados con el objetivo de desempeño, el nivel de carga y el historial de carga del elemento.

Para diseño sísmico, el Apéndice A del ACI 318-19 provee valores de rigidez efectiva en la Tabla A.8.4 para varios componentes estructurales. Para diseño sísmico, se permite el uso de los valores de rigidez efectiva o bien, llevar a cabo un análisis fundamentado en datos de ensayos físicos. Una tabla similar de rigidez efectiva está siendo considerada para desempeño por viento; sin embargo, es complicado por la necesidad de evaluar múltiples objetivos de desempeño (tales como Confort de Ocupantes, Operacional y Ocupación Continua). También es aceptable utilizar ensayos, investigación, enfoques racionales y experiencia en la determinación

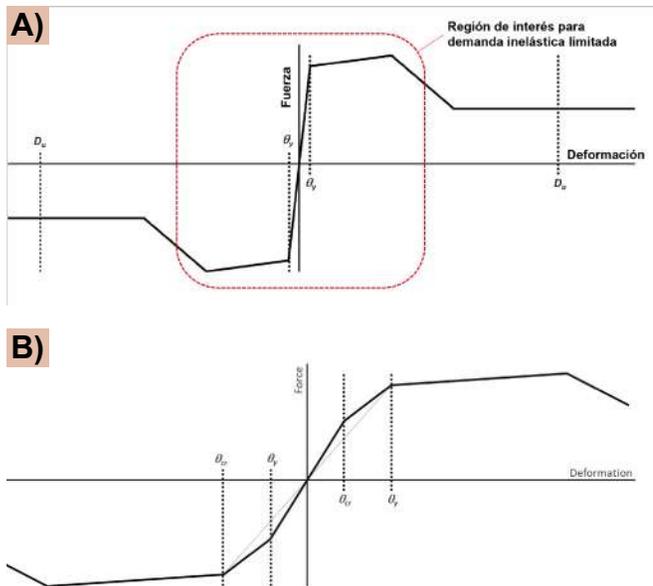
de la rigidez efectiva debido a la variación de los MRIs a considerar y la variación en el grado de demanda de los componentes.

En muchos casos, el PBWD se puede extender más allá del procedimiento de historia de la respuesta lineal al de historia de la respuesta no lineal. En tales casos, el análisis deberá incluir relaciones fuerza-deformación no lineales para elementos controlados por deformaciones. Además, la rigidez estructural debe considerar los efectos del MRI cuando se utilice el análisis no lineal para los objetivos de Confort de Ocupantes y/o Desempeño Operacional. Se requiere que todas las curvas envolventes no lineales sean corroboradas a través de ensayos. Existen múltiples formulaciones de elementos y modelos de materiales para ser utilizados en los análisis inelásticos dinámicos de estructuras de concreto para evaluación sísmica establecidos en ASCE/SEI 41-13, ACI 374.3R-16,<sup>13</sup> ACI 369.1-17,<sup>14</sup> y NIST GCR 17-917-46v1.<sup>15</sup> En algunos casos, partes de estos documentos podrían ser considerados apropiados para eventos de viento. Existen varias consideraciones al momento de desarrollar las curvas envolventes de histéresis para análisis dinámico no lineal:

- Para abordar la fatiga por ciclos bajos, se deberán incluir reversiones de deformación con un número promedio de ciclos inelásticos mayor o igual a aquel diseñado para el período de retorno de ocupación continua;
- Se deberá incluir la degradación de la resistencia y/o rigidez del elemento, a menos que se determine que la demanda está lo suficientemente limitada como para no requerir la inclusión de estos efectos; y
- Una mayor resolución a primera fluencia de la curva envolvente no lineal relativa a la que se utilizaría para sismo debido a la inelasticidad limitada que se permite para eventos de viento. Referirse a la Fig. 3 para la comparación de las curvas envolventes generalizadas de fuerza-deformación para una demanda inelástica alta versus una demanda inelástica limitada (sismo versus viento).

Para acciones controladas por deformación, se deberá utilizar la resistencia esperada del material. Por el contrario, para acciones controladas

por fuerza, se debe utilizar la resistencia especificada (o nominal) del material. Las propiedades esperadas se derivan preferiblemente de valores promedio de datos aplicables al proyecto o a proyectos similares que utilicen materiales similares. En lugar de datos aplicables, se está considerando una tabla de propiedades esperadas del material representativas para refuerzo y concreto, similar a la Tabla A.9.1 del ACI 318-19 para diseño sísmico.



**Figura 3: Curvas envolventes generalizadas de fuerza-deformación para:**  
**(a) demanda de deformación inelástica alta (sismo); y**  
**(b) demanda de deformación inelástica limitada (viento)**

## Resistencia requerida, criterios de aceptación y detallado optimizado

Los criterios de aceptación son una función del método utilizado y de si las acciones del elemento son controladas por fuerza o controladas por deformación. Una acción controlada por deformación es una acción donde es posible una deformación inelástica confiable y considerada dentro del diseño sin una degradación de la resistencia de histéresis. Las acciones controladas por fuerza son aquellas no consideradas como controladas por deformación, y las cuales son modeladas y diseñadas utilizando propiedades lineales. El Apéndice proveerá claridad adicional con respecto a qué acciones concretas son categorizadas como controladas por deformación.

Para el Método 1, donde las demandas se determinan a través de un análisis de historia de la respuesta usando historias en el tiempo de viento asociadas al objetivo de desempeño de Ocupación Continua, se pretende que el Apéndice del ACI sirva como guía para lo siguiente:

- Acciones controladas por fuerza – Para todo análisis, la demanda no debería exceder la resistencia nominal multiplicada por el factor de reducción de resistencia. De esta forma se asegura que las acciones controladas por fuerza permanezcan elásticas; y

- Acciones controladas por deformación – Para un análisis de historia de la respuesta lineal, la demanda no debería exceder hasta 1.25 veces la resistencia esperada, lo cual permite un grado modesto de inelasticidad. Cuando la demanda de cualquier acción controlada por deformación exceda la resistencia esperada, se requiere un análisis de historia de la respuesta no lineal para cuantificar la respuesta. El Apéndice proveerá metodologías para determinar los criterios de aceptación para acciones controladas por deformación mediante un análisis de historia de la respuesta no lineal. Estas consideraciones incluirán criterios específicos de rotación y criterios basados en la deformación unitaria para componentes donde hay posibilidad de realizar ensayos, y un marco para determinar criterios de aceptación con base en datos de ensayos de laboratorio. Además, los criterios de aceptación para la evaluación de derivas (índice de daño por deriva) y derivas residuales se basan en los resultados de análisis de historia de respuesta no lineal.

Uno de los aspectos únicos que serán abordados en el Apéndice incluye acciones combinadas de carga axial y flexión. Mientras que el diseño tradicional del concreto hace que estos elementos pasen de estar controlados por compresión a estar controlados por tensión mediante un cambio en los factores  $\phi$  ( $\phi$ ), los efectos de interacción se vuelven menos directos cuando la clasificación y el modelado de cada acción puedan variar dependiendo de los niveles de demanda. Por ejemplo, una columna outrigger puede ser considerada como una acción controlada por deformación cuando está sujeta a tensión axial y flexión. Sin embargo, la

capacidad de carga axial se consideraría como controlada por fuerza cuando la respuesta combinada de carga axial y flexión llega a ser controlada por compresión. Para describir con mayor detalle el enfoque, referirse a la Fig. 4 para ver un ejemplo de curva de interacción. La curva de interacción presenta la transición de una sección controlada por tensión usando 1.25 veces la resistencia esperada, a un elemento en compresión simple diseñado para la resistencia nominal según las ecuaciones típicas de capacidad.

El Pre-estándar de la ASCE también incluye requerimientos de resistencia mínima. Para el Método 1, el MWFRS debe ser diseñado de forma tal que la relación capacidad-demanda de acciones controladas por fuerza y acciones controladas por deformación no excedan 1.25 veces la resistencia de diseño esperada,  $1.25 \phi R_{ne}$ , con base en las cargas de viento estáticas obtenidas según el Procedimiento Direccional de ASCE 7-16 o la distribución vertical de las cargas estáticas en túnel de viento.

Los requerimientos de detallado especial son comunes en diseño por sismo, ya sea prescriptivo o basado en desempeño, para proveer comportamiento dúctil y definir de manera estratégica dónde ocurrirá la inelasticidad. Inherente al PBWD se tendrá un entendimiento profundo de dónde ocurrirá el comportamiento inelástico en la estructura. Actualmente se está estudiando si se requerirá un detallado optimizado para el PBWD. La inelasticidad permitida es muy baja en comparación con las condiciones sísmicas. A medida que avance la investigación, el comité considerará dónde la inelasticidad bajo cargas de viento requerirá mejoras en el detallado.

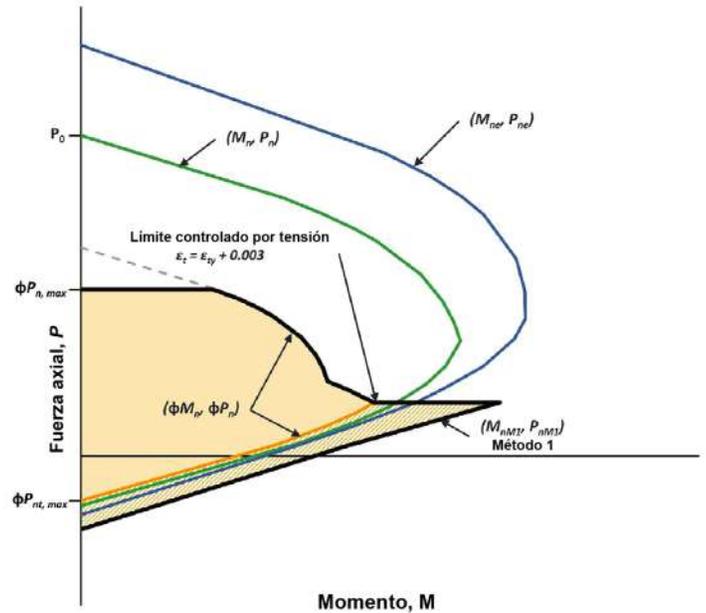


Figura. 4: Curva de combinación de carga axial y momento (PMM) para el Método 1

## Estudios futuros

A medida que avanza el concepto de niveles relativamente bajos de inelasticidad para elementos estructurales de concreto que forman parte del MWFRS, la investigación y los estudios adicionales seguirán siendo una parte importante del desarrollo y el uso de PBWD. Se recopiló una lista de temas de interés y posteriormente se redujo a los temas más importantes para complementar el estado actual de la investigación y la práctica para el diseño por viento de elementos estructurales de concreto. Esta lista se basó en una encuesta a los miembros del Comité 375 del ACI y otras personas asociadas con el comité, e incluye:

- Rigidez a flexión y degradación de rigidez de marcos tipo losa-columna;
- Vigas de acople reforzadas con secciones embebidas de acero estructural;
- Deformaciones asociadas con niveles modestos de fluencia de vigas de acople reforzadas con fibras de acero;
- Conexiones losa-columna y requerimientos de compatibilidad de deformaciones;
- Magnitudes de deformaciones inelásticas aceptables para una fluencia modesta; y
- Rigidez a flexión y degradación de la rigidez de muros de corte bajo condiciones de carga de viento en función del nivel de carga axial.

Un mayor estudio de estos temas se sumará a los recursos de orientación disponibles para los diseñadores, ayudándolos a beneficiar a sus clientes a través de las eficiencias asociadas con el PBWD.

## Referencias

1. "Guidelines for Performance Based Seismic Design of Tall Buildings," Report No. 2017/06, Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center/Tall Building Initiative (TBI), Berkeley, CA, May 2017, 147 pp., <https://peer.berkeley.edu/research/building-systems/tall-buildings-initiative>.

2. "An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region," 2020 edition, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC), Los Angeles, CA, June 24, 2020, 92 pp., [www.latallbuildings.org/documents](http://www.latallbuildings.org/documents).

3. PEER/ATC 72-1, "Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings," Applied Technology Council (ATC) and Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, Redwood City and Richmond, CA, Oct. 2010, 242 pp., <https://peer.berkeley.edu>.

4. ASCE 41-13, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2014, 518 pp.

5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.

6. Muthukumar, S.; Baldava, S.; and Garber, J., "Performance-Based Evaluation of an Existing Building Subjected to Wind Forces," *Advances in Hurricane Engineering: Learning from Our Past*, C.P. Jones and L.G. Griffis, eds., American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012, pp. 1217-1228.

7. Griffis, L.; Patel, V.; Muthukumar, S.; and Baldava, S., "A Framework for Performance-Based Wind Engineering," *Advances in Hurricane Engineering: Learning from Our Past*, C.P. Jones and L.G. Griffis, eds., American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012, pp. 1205-1216.

8. ASCE/SEI, "Prestandard for Performance-Based Wind Design," American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, 2019, 113 pp.

9. ASCE 7-16, "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, 2017, 800 pp.

10. Clifton, S.; Larsen, E.; and Aswegan, K., "Performance-Based Wind Design: The Next Frontier," *Structure magazine*, June 2020, pp. 16-18.

11. Spence, S., "Methods for the Efficient Estimation of the Reliability of Post-Elastic High-Rise Wind-Excited Structures Within a Performance-Based Design Setting," Final Report, Magnusson Klemencic Associates (MKA) Foundation, Seattle, WA, Dec. 2018, 188 pp.

12. Abdullah, S.; Wallace, J.; Aswegan, K.; and Klemencic, R., "Experimental Study of Concrete Coupling Beams Subjected to Wind and Seismic Loading Protocols," UCLA Structural/Earthquake Engineering Research Laboratory, May 2020.

13. ACI Committee 374, "Guide to Nonlinear Modeling Parameters for Earthquake-Resistant Structures (ACI 374.3R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 14 pp.

14. ACI Committee 369, "Standard Requirements for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings (ACI 369.1-17) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 110 pp.

15. NIST GCR 17-917-46v1, "Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings," Applied Technology Council, Redwood City, CA, Apr. 2017, 137 pp., <https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.17-917-46v1>.



**Jonathan Hurff**, miembro de la ACI, es un director y gerente de proyectos en Walter P Moore. Su experiencia incluye el diseño de edificaciones comerciales y de salud, instalaciones deportivas y la rehabilitación estructural a gran escala y ampliación de edificaciones existentes. Es miembro de los siguientes Comités del ACI: 357, Offshore and Marine Concrete Structures; 375, Performance-Based Design of Concrete Buildings for Wind Loads; y 377, Performance-Based Structural Integrity & Resilience of Concrete Structures, además del Subcomité 318-W del ACI, Wind Provisions.



**Ian McFarlane**, miembro de la ACI, es un director senior en Magnusson Klemencic Associates. Su experiencia incluye el diseño de edificaciones altas mediante diseño basado en desempeño. Es miembro de los siguientes Comités del ACI: 336, Footings, Mats, and Drilled Piers; 374, Performance-Based Seismic Design of Concrete Buildings; además del Subcomité 318-F del ACI, Foundations.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Costa Rica

*Título: Diseño por viento basado en desempeño - Próximamente en ACI 318*



**Traductor:**  
**Ing. Daniel Johanning Cordero**



**Revisor Técnico:**  
**Ing. Rolando Castillo Barahona PhD**

# Un año más cerca de un futuro con cemento neutro en carbono

por Michael Ireland

En esta época del año, muchas personas se encuentran comprometiéndose con sus propósitos de Año Nuevo, y en la Asociación de Cemento Portland (PCA) no somos diferentes. Nos hemos propuesto seguir avanzando hacia nuestro objetivo de neutralidad en carbono. Ya en las puertas del año 2023, no podemos evitar reflexionar sobre nuestros logros del año pasado, así como para también planificar el año que viene.

El cemento, el concreto y la construcción rara vez se encuentran en el centro de la atención nacional o en los titulares de las noticias de la noche. Pero eso está cambiando ahora que los fabricantes de cemento y concreto están en el centro del plan nacional para construir y reconstruir de una forma más sostenible y resiliente. Con esta creciente atención y comprensión de lo que significa la industria del cemento y el concreto para los objetivos de infraestructura de nuestra nación, existe una verdadera oportunidad para nosotros a medida que continuamos reduciendo nuestras emisiones de carbono.

El pasado mes de octubre se cumplió un año de la hoja de ruta de la PCA hacia la neutralidad en carbono. Organizaciones en todos los sectores están evaluando de manera introspectiva su papel en la lucha contra los fenómenos naturales severos, y las empresas miembros de la PCA buscaron ir más allá de un solo proceso, material o industria, y reunieron a toda la cadena de valor del cemento-concreto-construcción en este ambicioso plan que considera el ciclo de vida completo de una estructura.

Se incluyen los principales eslabones conocidos como las "Cinco C": clínker, cemento, concreto, construcción y carbonatación (el concreto como sumidero de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>]). La hoja de ruta también prioriza la cooperación continua en cada paso, demostrando el compromiso de posicionar la sostenibilidad en el núcleo del entorno construido.

## Hay una oportunidad para todos

Hemos visto que muchos enfoques para reducir las emisiones llaman a la colaboración, pero a menudo, esa tarea puede parecer vaga o difícil de aplicar en su propia empresa. La hoja de ruta cuenta con impulsos y acciones específicas descritas para el sector privado en cada paso, y aunque sin duda surgirán nuevas oportunidades para reducir las emisiones, este documento ofrece acciones tangibles para materializar un entorno construido más sostenible. Es probable que los lectores descubran que ya están poniendo en práctica algunas de estas recomendaciones, lo que ejemplifica cómo todos podemos mejorar, haciendo nuestra parte. Trabajar juntos es el vehículo para nuestro éxito.

## Progreso desde una vista de 360 grados

La mayoría de la gente considera que el cemento y el concreto son algunos de los materiales de construcción más básicos, pero sabemos que son todo menos mundanos, son algunos de los materiales más versátiles, adaptables y personalizables del mundo.

Nuestra industria está a la vanguardia de la innovación y la eficiencia, satisfaciendo una demanda creciente de cemento y concreto con bajas emisiones de carbono, para llegar a los objetivos cero emisiones por parte de diseñadores, propietarios y consumidores.

Hablando de consumidores, es prometedor observar que los promotores y otras empresas están invirtiendo en innovaciones de cemento para reducir significativamente las emisiones y cumplir con sus propios objetivos de cero emisiones. Por ejemplo, el promotor inmobiliario mundial Lendlease tiene un nuevo edificio de 440 unidades en el centro de Chicago, IL, EE. UU., que se construirá con una mezcla propia de concreto bajo en carbono, solicitada específicamente por la empresa. Estamos viendo cómo surge esta tendencia en otros lugares, como lo es el caso de Meta. Esa compañía está utilizando la inteligencia artificial para desarrollar una nueva mezcla de concreto, para sus centros de datos, que emita un 40% menos de CO<sub>2</sub>.

Los productores de cemento también ofrecen una mezcla "estándar" de bajas emisiones de carbono, y hemos visto un gran progreso en nuestro objetivo a corto plazo de adoptar de forma generalizada el cemento portland de piedra caliza (PLC). El PLC reduce la huella de la producción de concreto en aproximadamente un 10% y ahora ha sido aprobado por 45 departamentos de transporte estatales. La adopción de Caltrans en enero de 2022 fue especialmente importante, ya que California es el mayor mercado de cemento de los Estados Unidos. Esto tiene el potencial de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 28,000 tons (25,400 tonnes) métricas al año, el equivalente a retirar más de 6000 automóviles de la carretera. La demanda de cemento y concreto de bajas emisiones de carbono está aumentando a medida que más consumidores comprenden la necesidad de un concreto sostenible.

Más allá de incorporar mezclas de cemento reducida con emisión de carbono en los proyectos de construcción, el concreto también tiene muchas propiedades de sostenibilidad

inherentes. La reflectividad de las superficies incide sobre el clima, y la medición de la reflectividad de una superficie se conoce como albedo. Las ciudades, especialmente las más densas, donde el pavimento compone alrededor del 40 % del espacio urbano, están empezando a implementar pavimentos que incorporan concretos más ligeros y reflectantes, que crean un mayor albedo, absorben menos calor y compensan el CO<sub>2</sub>. Esta solución es crucial ya que cada vez más ciudades estadounidenses están experimentando olas de calor severas.

Según el Massachusetts Institute of Technology, un aumento del albedo del pavimento en todas las carreteras de EE. UU. ofrecería beneficios climáticos equivalentes a evitar el CO<sub>2</sub> producido por alrededor de 4 millones de automóviles conducidos durante un año. Ciudades como Chicago ya han incorporado en su planificación a largo plazo estrategias como la instalación de techos verdes o fríos y pavimentos reflectantes para ayudar a reducir las temperaturas urbanas. A medida que los responsables de la toma de decisiones se dan cuenta de los beneficios inherentes de la construcción con concreto, los fabricantes de cemento siguen impulsando innovaciones para aumentar la eficiencia y reducir las emisiones. Varios fabricantes de cemento de los EE. UU. están invirtiendo en investigaciones que les permitirán capturar el carbono antes de que sea emitido a la atmósfera, para almacenarlo o utilizarlo en un propósito distinto. Esto se conoce como captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS). Dos empresas miembros de PCA tienen proyectos CCUS que continúan avanzando con la financiación del Departamento de Energía de los EE. UU.

La PCA se enorgullece de los progresos realizados desde el lanzamiento de la hoja de ruta, y aplaude a todos nuestros miembros y socios que han dado los primeros pasos en este último año para crear e implementar las soluciones necesarias para acercarnos a un futuro neutro en carbono.

## Progreso a nivel federal, y próximos pasos

Los creadores de políticas a nivel estatal y federal también son importantes en este esfuerzo conjunto. Invertir en infraestructura no debería ser un tema partidista, es algo que es bueno para los Estados Unidos, independientemente de dónde viva y trabaje cada uno. Durante este año que finaliza, vimos grandes avances en política y financiación. Lo más significativo es que la Ley de Empleo e Inversión en Infraestructura (IIJA) que se aprobó en noviembre de 2021 creó un plan para los Estados Unidos, con la industria del cemento y el concreto en su centro.

Ya estamos viendo que se están utilizando los \$550 mil millones de dólares destinados a proyectos relevantes; actualmente, ya se han impulsado 5000 proyectos en 3200 condados de todo el país. La IIJA también financiará la investigación y el desarrollo de tecnologías CCUS, que son vitales para capturar el CO<sub>2</sub> creado en el proceso de fabricación de cemento, y que son fundamentales para nuestros planes de neutralidad en carbono.

Gracias a esta legislación integral y a otras disposiciones medioambientales en legislación aprobada recientemente, estamos en una posición más fuerte que nunca para alcanzar nuestros objetivos de sostenibilidad.

Ahora que nos embarcamos en nuestro segundo año, tenemos que aprovechar este impulso y continuar alineándonos con los responsables políticos de ambos costados del pasillo para impulsar estas tecnologías, así como para crear la red nacional de carreteras y tuberías que es necesaria para hacer posible la captura, el transporte y almacenamiento de carbono a gran escala. Hay más por hacer tanto a nivel federal como estatal. Actualizar la legislación es clave, incluida la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, la Ley Nacional de Política Medioambiental y el programa de Revisión de Nuevas Fuentes, nos permitirá reducir las emisiones a un ritmo incluso más rápido, haciendo que el concreto sea una solución de construcción sostenible

aún más convincente para los eventos climáticos extremos del futuro.

2022 fue un año de primeros avances, pero no hay una solución milagrosa para lograr nuestro objetivo, y en 2023 nos esperan desafíos. Si bien el panorama puede ser desconocido y siempre cambiante, el horizonte y nuestro objetivo se mantienen prácticamente idénticos. La PCA sigue comprometida con mantener el rumbo hacia la neutralidad en carbono. Con su ayuda, cada día estamos más cerca de lograr nuestro objetivo.

Para obtener más información sobre lo que en cada paso de la cadena de valor del cemento-concreto-construcción puede hacer para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la sostenibilidad, así como para leer la hoja de ruta hacia la neutralidad en carbono de la PCA, visite [www.cement.org/sustainability/roadmap-to-carbon-neutrality](http://www.cement.org/sustainability/roadmap-to-carbon-neutrality) o comuníquese con [customerservice@cement.org](mailto:customerservice@cement.org).



**Michael Ireland**, es el presidente y director general de la Asociación de Cemento Portland (PCA). Anteriormente, fue director ejecutivo Asociado de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), así como director general de otras dos asociaciones profesionales. Tiene experiencia en todas las fases de la gestión organizacional, incluido el liderazgo ejecutivo, el marketing y las comunicaciones, el desarrollo del personal, la filantropía y la recaudación de fondos y el desarrollo de la membresía.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

*Título: Un año más cerca de un futuro con cemento neutro en carbono*



**Traductor:**  
*Ing. Kevin Andrés Tamí Torres*



**Revisor Técnico:**  
*Dra. Nancy Torres Castellanos*

# Congestión del refuerzo en el concreto colado en el lugar

*Concesiones sobre las tolerancias de construcción y sobre la adecuada colocación y compactación*

*por James Klinger, Oscar R. Antommattei, Aron Csont, Trevor Prater, Michael Damme, and Bruce A. Suprenant*

Desde su edición de 1983,<sup>1</sup> el Comentario al Código ACI 318 ha advertido a los diseñadores que eviten la congestión del refuerzo en las estructuras resistentes a los sismos. Y desde su edición de 1999,<sup>2</sup> el Código ACI 318 exige a los diseñadores que tengan en cuenta las tolerancias de fabricación y colocación en las zonas de anclaje de los tendones de postensado. Las secciones pertinentes de la norma ACI 318-193 establecen:

**“R18.2.2** Análisis y proporcionamiento de elementos estructurales. A la hora de seleccionar el tamaño de los elementos para las estructuras resistentes a los sismos, es importante tener en cuenta los problemas de construcción relacionados con la congestión del refuerzo. El diseño debe ser tal que todo el refuerzo pueda ser ensamblado y colocado en la ubicación adecuada y que el concreto pueda ser colado y compactado correctamente. Utilizar los límites superiores de las relaciones de refuerzo permitidas puede ocasionar problemas de construcción.”

## “25.9.5 Detallado del refuerzo

**25.9.5.1** La selección del tamaño del refuerzo, la separación, el recubrimiento y otros detalles para las zonas de anclaje deberán hacer concesiones a las tolerancias en la fabricación y colocación del refuerzo, el tamaño del agregado, y la adecuada colocación y compactación del concreto.”

Aunque el ingeniero es responsable de

detallar el refuerzo, no hemos podido encontrar una guía en los Comentarios sobre la práctica razonable para el detallado o la aceptación de los detalles. Por lo tanto, el cumplimiento está abierto a una interpretación subjetiva. Sin embargo, está claro que muchos diseñadores tienen dificultades para ajustarse al espíritu del Comentario o al contenido del Código (véase la Fig. 1).



**Figura 1:** Ejemplos de montajes de refuerzo que plantearon retos de colocación para el contratista: (a) un muro antisísmico; y (b) una zona de anclaje para tendones de postensado

Además, los requisitos y recomendaciones de construcción no deberían limitarse únicamente a las estructuras resistentes a los sismos o a las zonas de anclaje de los tendones de postensado. Los ingenieros deben tener concesiones para las tolerancias de construcción y la necesidad de una adecuada colocación y compactación del concreto en todos los diseños.

Este artículo ofrece información sobre los pre-requisitos de diseño y detallado, los aspectos económicos de la congestión del refuerzo, las recomendaciones permisibles sobre las tolerancias relacionadas con la congestión del refuerzo y el lenguaje propuesto en el Código y los Comentarios con respecto a la capacidad constructiva.

## **ACI 309R, Recomendaciones de capacidad constructiva para el diseño y el detallado**

Los comentarios del ACI 318-77, en su sección 5.4<sup>4</sup>, hicieron la primera referencia al ACI 309R<sup>5</sup>

“Las recomendaciones para la compactación del concreto se dan en detalle en la 'Práctica recomendada para la compactación del concreto' reportada por el Comité 309 del ACI. (Presenta información actual sobre el mecanismo de compactación y da recomendaciones sobre las características del equipo y los procedimientos para varias clases de concreto).”

Dicha referencia continúa en el ACI 318-19, Sección de Comentarios R26.5.2.1(i), con pequeños cambios en la redacción:

“Las recomendaciones detalladas para la compactación del concreto se dan en el ACI 309R.<sup>[6]</sup> Esta guía presenta información sobre el mecanismo de compactación y ofrece recomendaciones sobre las características del equipo y los procedimientos para varios tipos de mezclas de concreto.”

La referencia del Comentario del ACI 318 al ACI 309R-05<sup>6</sup> sólo considera el vertido del concreto, una actividad del contratista. Nunca se ha hecho referencia a la selección o separación

de las varillas, aunque el ACI 309R-05, Sección 8.1-Requisitos de diseño y detallado, recomienda que se consideren los problemas de congestión del refuerzo durante el diseño estructural inicial.

La Sección 8.1 de ACI 309R-05 también proporciona orientación general sobre el diseño y el detallado:

“Al diseñar los elementos estructurales y detallar las cimbras y los refuerzos, se debe considerar la posibilidad de depositar el concreto recién mezclado lo más cerca posible de su posición final, de manera que se minimicen la segregación, los panales de abeja y otras imperfecciones superficiales e internas. Además, el método de compactación debe considerarse cuidadosamente al detallar el refuerzo y el cimbrado. Por ejemplo, para la vibración interna, deben proporcionarse aberturas en el refuerzo para permitir la inserción de los vibradores. Normalmente, se requieren aberturas de 100 x 150 mm (4 x 6 pulg.) a 600 mm (24 pulg.) de distancia entre sí”.

Esta sección recomienda además que “se preste especial atención al tamaño de los elementos, al tamaño del acero de refuerzo, a la ubicación, a la separación y a otros factores que influyen en la colocación y compactación del concreto. Esto es particularmente cierto en las estructuras diseñadas para cargas sísmicas, donde el refuerzo a menudo se vuelve extremadamente congestionado y la compactación efectiva del concreto, utilizando mezclas y procedimientos convencionales, se vuelve imposible”.

Por último, el ACI 309R-05, Sección 8.1, recomienda que el diseñador se comunique con el contratista durante la fase inicial del diseño estructural, cuando se pueden reconocer las áreas problemáticas, a tiempo para tomar las medidas correctivas adecuadas, como rediseñar el elemento o la configuración del acero de refuerzo, modificar la mezcla, en algunos casos para que sea autoconsolidable, utilizar pruebas de simulación para desarrollar un procedimiento, y alertar al contratista sobre las condiciones críticas.

Mientras que en la Sección del Comentario R26.5.2.1(i) en el ACI 318-19 instruye al ingeniero sobre temas que deben ser comunicados al contratista en los documentos de construcción, creemos que otras secciones del Comentario del Código deberían citar el ACI 309R-05, instruyendo así al ingeniero sobre temas que deben ser tratados en el diseño. Por ejemplo, otros dos lugares apropiados para las citas del ACI 309R serían el R18.2.2 *Análisis y proporcionamiento de los elementos estructurales* y el R25.9.5 *Detallado del refuerzo*.

## **Economía en la congestión del refuerzo**

Cuando se licitan zonas congestionadas, los subcontratistas de refuerzo indican que reducen el índice de productividad global entre un 10 y un 20%. Cuando elaboran un presupuesto para un proyecto, asignan los índices de productividad en función de la congestión del refuerzo. Por ejemplo, el índice de productividad de una zona muy congestionada, podría ser la mitad del de una zona no congestionada. Los contratistas de concreto también disminuyen sus índices de productividad para la colocación y compactación del concreto en áreas congestionadas. Además, el contratista debe tener en cuenta el riesgo y el costo de parchar los panales de abeja, que puede resultar en una actividad muy costosa.

Los costos del concreto aumentan si se requiere concreto fluido (un costo adicional de hasta \$20 dólares/yard<sup>3</sup>) o concreto autocompactable (SCC) (un costo adicional de hasta \$75 dólares/yard<sup>3</sup>) para superar la congestión del refuerzo. Y el costo del cimbrado también puede aumentar. El ACI 237R-07<sup>(19)</sup>, *Concreto Autocompactable*,<sup>7</sup> indica que las cimbras para el SCC pueden necesitar resistir altas presiones (hasta ser similar a la de un líquido fluido) y deben diseñarse y construirse para ser herméticas (las dos cosas se suman a los costos del cimbrado).

Los ingenieros especialistas se esfuerzan por optimizar el costo de las estructuras, a menudo minimizando el tamaño de los elementos estructurales. La selección de los

anchos mínimos de vigas y viguetas en función de los requisitos actuales del Código, disminuye los costos aparentes al minimizar el área de cimbrado y la cantidad de concreto. Sin embargo, cuando la reducción de los anchos de las vigas y las viguetas provoca una congestión del refuerzo, el costo final, incluida la instalación de las varillas de refuerzo, la colocación del concreto y la compactación, puede aumentar. Aunque los requisitos del código a menudo hacen referencia a valores mínimos o máximos, el capítulo 5 del ACI 315R-18, *Guía para la presentación de detalles de diseño del acero de refuerzo*, recomienda: “Las buenas prácticas de diseño deben esforzarse por evitar el uso indiscriminado de los valores mínimos del código, sin tomar en cuenta la capacidad de construcción.”<sup>8</sup>

Malik menciona: “El énfasis en minimizar el tamaño de los elementos de concreto, sin embargo, puede llevar a consecuencias no deseadas que pueden frustrar el objetivo global de minimizar el costo de construcción para el proyecto en general.”<sup>9</sup> Además, Malik considera que los elementos de concreto dimensionados exclusivamente en función de las cargas aplicadas pueden no ser lo suficientemente grandes como para alojar la cantidad necesaria de acero de refuerzo, con la separación adecuada entre varillas. Se pueden crear conflictos con el refuerzo del elemento en cuestión, con las varillas de refuerzo de los elementos adyacentes y con los pernos de anclaje incrustados o los pernos con cabeza. Estos conflictos pueden dar lugar a panales de abeja y huecos en el concreto, a un recubrimiento inadecuado y a un embebido inadecuado.

La reparación de los panales de abeja es costosa y puede aparecer en cualquier elemento de concreto con refuerzo congestionado. Los panales de abeja visibles suelen dar lugar a una investigación para determinar si también hay huecos interiores. Una investigación puede costar entre 10,000 y 50,000 dólares, y aún queda el costo por la reparación del panel.

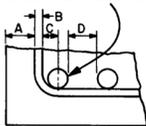
## Concesión para las tolerancias en la fabricación y la colocación del refuerzo

El Instituto del Concreto Reforzado con Acero (CRSI, por sus siglas en inglés) ofrece recomendaciones para la elección de los anchos de vigas y viguetas para permitir las tolerancias de fabricación y colocación: “El ancho de la viga determinado a partir del máximo  $M_u$  (mayor momento de flexión factorizado) debe utilizarse para todos los claros; esto ayudará a conseguir un cimbrado económico. Variar la cantidad de refuerzo de flexión a lo largo de las distancias de los claros para diferentes momentos de flexión ponderados es mucho más económico que variar el ancho (o la profundidad) de la viga.”<sup>10</sup>

Además: “Al seleccionar el ancho de la viga, es importante tener en cuenta el ancho de las columnas en los extremos de la viga. La mayor economía se consigue cuando la viga es tan ancha o más que la columna: el cimbrado es mucho más sencillo cuando la viga es más angosta que la columna. Aunque el cimbrado es más sencillo cuando el ancho de la viga es igual al de la columna, es una buena práctica tener una viga más ancha para evitar la interferencia entre las varillas longitudinales de la esquina de la viga y las varillas de la esquina de la columna. Se recomienda tener un ancho de viga de al menos 4 pulg. más que el de la columna en la que se enmarca.”<sup>10</sup>

Ancho mínimo de la viga =  $2(A + B + C) + (n - 1)(D + d_b)$  donde  $A + B + C - 1/2d_b \geq 2,0$  pulg. de recubrimiento requerido para las barras longitudinales, con las siguientes consideraciones:

Posición que se asume para la varilla más cercana a la cara lateral de la viga



para ACI 318

B = 0.375 pulg. para estribos #3

0.500 pulg. para estribos #4

D =  $1 d_b$

1 pulg.

1-1/3 tamaño nominal del agregado

**Figura 2:** Dado que este tipo de ayudas al diseño no contempla la concesión de las tolerancias en la construcción, ni en los requisitos para una adecuada colocación y compactación del concreto, pueden dar lugar a problemas de panales de abeja en las vigas y viguetas (extraído de la Tabla A-3 de la Referencia 11)

El Manual de Diseño del ACI<sup>11</sup> incluye una tabla que proporciona el ancho mínimo de la viga para cumplir con los requisitos del Código en función del número y tamaño de las varillas. La Figura 2 muestra la explicación detallada y la ecuación utilizada para determinar la información proporcionada en la tabla. Hay

que tener en cuenta que el planteamiento que se ofrece en estas ayudas al diseño, y que se suele utilizar en los programas informáticos de diseño actuales, no contempla ningún margen de tolerancia adecuado en la construcción o en la colocación y compactación del concreto, ni tampoco contempla los empalmes. Estas omisiones pueden dar lugar a problemas de construcción de vigas y viguetas.

## Recomendaciones del Comité de Construcción de la ASCC

La ecuación para calcular el ancho mínimo de la viga en la ayuda al diseño que se muestra en la Fig. 2 es:

$$\text{Ayuda al diseño del ancho de la viga} = 2(A + B + C) + (n - 1)(D + d_b)$$

Donde las variables también se definen en la Fig. 2. El objetivo es aumentar este mínimo mediante una tolerancia de fabricación de estribos y tolerancias de colocación de varillas. Las tolerancias para la fabricación del estribo son:

- $\pm 1/2$  pulg. para un estribo del N° 3, del N° 4 o del N° 5 con una longitud bruta < 12 pies;
- $\pm 1$  pulg. para un estribo del N° 3, N° 4 o N° 5 con una longitud bruta  $\geq 12$  pies; y
- $\pm 1$  pulg. para un estribo del n° 6.

Sumando estas dos tolerancias a la ecuación del ancho mínimo de la viga se obtiene:

Ancho de la viga que se puede construir =  $2(A + B + C) + (n - 1)(D + d_b) + \text{tolerancia de fabricación} + \text{tolerancia de colocación}$



**Figura 3:** Zonas de acceso para la manguera de bombeo y para el vibrador (pintura verde) en la parte superior de un muro de contención congestionado. Estas zonas estaban separadas por 10 pies en la parte superior del muro y eran continuas en toda la altura del muro. Las zonas se coordinaron previamente con el ingeniero y la agencia de inspección.

Las dos tolerancias pueden tratarse por separado o combinarse. Habrá una tolerancia de fabricación para el estribo envolvente, y una tolerancia para la colocación de la varilla aplicada a la cantidad de varillas en una capa a través del ancho de la viga.

El objetivo es determinar el ancho mínimo de la viga que garantice la construcción. En lugar de añadir las tolerancias por separado, el comité ASCC también ha propuesto utilizar la siguiente simplificación:

Ancho de la viga construible = ancho de la ayuda al diseño (1+1/12), redondeado a la pulgada más cercana.

Por ejemplo, los anchos de viga de ayuda al diseño de 9, 14, 24 y 42 pulg. resultarían en anchos de viga construibles de 10, 16, 26 y 46 pulg. respectivamente.

Las concesiones para las tolerancias de fabricación y de colocación no necesariamente se añaden a las concesiones para la adecuada colocación y compactación del concreto. Por ejemplo, si el SCC se especifica con un flujo superior a 24 pulg., sigue siendo necesario una concesión para las tolerancias de fabricación y colocación, aunque no sea necesario una concesión para la colocación y compactación. Sin embargo, si se emplean las recomendaciones propuestas para la concesión de la colocación y la compactación, es posible que no sea necesaria la concesión de la fabricación y la colocación. El ingeniero deberá decidir en cada caso.

## Concesiones para la adecuada colocación del concreto

Aunque el Código exige al ingeniero que garantice una adecuada colocación del concreto, hay muy poca información apropiada en los documentos del ACI respecto al refuerzo congestionado. El ACI 304R-00, Guía para la Medición, Mezclado, Transporte y Colocación del Concreto,<sup>12</sup> proporciona tres recomendaciones que normalmente no son posibles de satisfacer cuando se coloca el concreto a través y alrededor de refuerzo congestionado:

1. Colocar el equipo de manera que el concreto tenga una caída vertical sin restricciones hasta el punto de colocación;
2. El concreto no debe separarse al caer libremente sobre las varillas, separadores, refuerzos u otros materiales embebidos; y
3. El concreto debe depositarse en su posición final o cerca de ella, ya que tiende a segregarse cuando fluye lateralmente hacia su lugar.

El ACI 304.2R-17, Guía para la colocación de concreto por métodos de bombeo,<sup>13</sup> no proporciona información adicional para la colocación adecuada del concreto.

Los métodos de colocación deben ser compatibles con la mezcla de concreto. Lamentablemente, algunas especificaciones de proyectos no solicitan una mezcla de concreto que sea compatible con los métodos de colocación que se requieren con el refuerzo congestionado. Esto da lugar a inconsistencias en la oferta del concreto, en la reparación de los panales de abeja y en los cambios en la mezcla del concreto.



*Figura. 4: Zonas de acceso para la manguera de la bomba de concreto (pintura rosa). Estas zonas eran de 6 pulg. cuadradas y estaban separadas entre 8 y 10 pies. Generalmente, las varillas superiores de ambas capas se desplazaron a la posición de diseño adecuada y se aseguraron después de que se completara el bombeo de la capa inferior. El desplazamiento temporal del refuerzo de la capa superior se coordinó previamente con el ingeniero y la agencia de inspección.*



*Figura. 5: Tolva portátil para la colocación del concreto, de 16 pulg. de ancho por 12 pulg. de profundidad, utilizada en la parte superior del muro para permitir la colocación del SCC a través del lado del muro de corte congestionado. Se utilizaron varias tolvas de madera construidas en la obra para mantenerse delante del equipo de colocación. Los corazones obtenidos del elemento de prueba antes de la construcción a través del acero de refuerzo y en la parte inferior de los elementos delimitadores congestionados, indicaron que no había separación de agregados*

## Recomendaciones del Comité de Construcción de la ASCC

Entre las recomendaciones de colocación y mezcla que los contratistas han encontrado ventajosas para los refuerzos congestionados están las siguientes:

- Acomodar la distribución del refuerzo de manera que se pueda bajar una manguera de bombeo de 5 pulg. a través de la capa de refuerzo superior entre 8 y 10 pies sobre el centro (ver Fig. 3 y 4). Esto puede requerir el desplazamiento temporal de las varillas superiores hasta que se haya colocado el concreto sobre las capas inferiores del refuerzo;
- Utilizar canaletas de colocación portátiles a lo largo de la parte superior de un muro (Fig. 5). Sin embargo, se debe poner atención a que la corriente de concreto se depositará directamente dentro del armado del refuerzo, a menos que se prevea una abertura en el refuerzo vertical y horizontal;
- Desarrollar una mezcla de concreto que:
  - a. Fluya lateralmente si es imposible depositar el concreto en su posición final. La mezcla de concreto debe ser diseñada para fluir lateralmente al menos 10 a 15 pies sin segregación. Este requisito no sólo se debe a los refuerzos congestionados y a los elementos embebidos, sino también a los bloqueos y a los traslapes empalmados;
  - b. Disminuya la segregación cuando el flujo del concreto cae libremente sobre las varillas, los espaciadores, el refuerzo y otros elementos embebidos. Las maquetas de proyectos

realizadas por los contratistas de la ASCC, y respaldadas en la literatura,<sup>14</sup> indican que no hay problemas con la dirección del flujo de concreto a través del refuerzo; y

c. Reduzca al mínimo la segregación por caída libre. El ACI 237R-07(19), Sección 1.4, indica que se ha utilizado SCC en caídas libres de unos 15 pies sin causar segregación.

Podría ser necesario construir un elemento de prueba para probar los métodos de colocación y la compatibilidad de la mezcla de concreto con el grado de congestionamiento del refuerzo. Esto debería incluirse en las especificaciones y considerarse una partida en la oferta económica. La Sección 2.4 del ACI 237R-07(19), indica que cuanto mayor sea la cantidad de refuerzo y más congestionado sea la cimbra, mayor será la posibilidad de que se produzcan puentes y bloqueos de agregados que pueden provocar la segregación de una mezcla de SCC. Para solucionarlo, se utiliza un tamaño de agregado grueso más pequeño, generalmente de 1/2 pulg., para minimizar o eliminar los posibles puentes y bloqueos (también denominados en Europa como deformación de los agregados) causados por el refuerzo congestionado.<sup>15</sup> Incluso con un tamaño menor de agregado grueso, una mezcla de SCC debe ser lo suficientemente estable para reducir la separación de los agregados de la pasta cuando el concreto fluye entre las varillas de refuerzo.

Algunas especificaciones del proyecto establecen requisitos de fluidez del concreto. Una de esas especificaciones decía:

- El concreto fluido, de 9 pulg. de revenimiento + 1 pulg., puede usarse para colocar concreto en muros con una elevación uniforme, con un flujo lateral máximo de 10 pies; y
- El SCC puede colocarse en lugares y dejar que fluya hasta 50 pies.

Conceptualmente, el SCC debería fluir más que el concreto fluido; sin embargo, es difícil determinar esa distancia antes de preparar la mezcla de concreto y evaluar el porcentaje de refuerzo. El ACI 237R-07(19), la Sección 6.5.3, indica que la máxima distancia de propagación horizontal permitida para una mezcla de SCC utilizada en una losa, dependerá de la estabilidad

del concreto y normalmente se limita a 33 pies. En el caso de un refuerzo congestionado, sin la construcción de un elemento de prueba, sería prudente considerar 20 pies como una distancia de flujo máxima práctica para minimizar la deformación de los agregados.

## Concesiones para la adecuada compactación del concreto

Tanto el CRSI,<sup>10</sup> el ACI 309R-05, como Wight y MacGregor<sup>16</sup> y Roberts<sup>17</sup> han formulado recomendaciones sobre el detallado del refuerzo para permitir una compactación adecuada. Las recomendaciones incluyen:

- CRSI: “Dejar un espacio de 4 a 6 pulg. para colocar el concreto donde las varillas están estrechamente espaciadas. En los elementos fuertemente reforzados, como las vigas de transferencia, si es posible, donde el espacio entre las varillas es relativamente estrecho, deje un espacio de 4 a 6 pulg. entre las varillas. De acuerdo a la experiencia, un concreto con 4 pulg. de revenimiento y con un agregado de 3/4 pulg. no fluirá fácilmente a través de un espacio de 2 pulg. entre varillas. Además, las cabezas de los vibradores, que suelen tener un ancho de 2 a 3 pulg., pueden no caber entre las varillas o pueden atorarse entre ellas, si el espacio entre las varillas es demasiado pequeño”.<sup>10</sup>

- Sección 18.2.1 del ACI 309R-05: “Para lograr una adecuada compactación del concreto en áreas congestionadas por medio de la vibración interna, se necesitan tramos verticales con una sección transversal mínima de 100 x 150 mm (4 x 6 pulg.), libres de obstrucciones para permitir la inserción del vibrador. La separación horizontal de estos tramos verticales no debe exceder de 610 mm (24 pulg.) o de 1-1/2 veces el radio de influencia indicado en la Tabla 5.1. Además, estas aberturas no deben estar a más de 300 mm (12 pulg.) o 3/4 veces el radio de influencia de la cimbra. Si no se pueden brindar estos espacios sin comprometer la integridad estructural, el ingeniero debe especificar los detalles y procedimientos de construcción para lograr una compactación adecuada.”;

- Wight y MacGregor: “La disposición de las varillas dentro de una viga debe permitir que haya suficiente concreto en todos los lados de

cada varilla para transferir las fuerzas dentro y fuera de las mismas; suficiente espacio para que el concreto fresco pueda colocarse y consolidarse alrededor de todas las varillas; y suficiente espacio para permitir que un vibrador interno llegue hasta el fondo de la viga. Los vibradores de inmersión tipo lápiz que se utilizan para la compactación del concreto fresco tienen un diámetro de 1-1/2 a 2-1/2 pulg. Se debe proporcionar suficiente espacio entre las varillas de la viga para permitir que un vibrador llegue al fondo de la cimbra en al menos un lugar del ancho de la viga”.<sup>16</sup>;

- Roberts: “Cuando se crea que el refuerzo está congestionado, es decir, en la unión de una viga con otra, se pueden utilizar sistemas CAD para producir ilustraciones en 3D de la zona congestionada. Compruebe la ilustración para ver si un vibrador de pistón de 75 mm (3 pulg.) o 50 mm (2 pulg.) de diámetro puede pasar a través del refuerzo congestionado. En este ejercicio tenga en cuenta que las varillas ubicadas verticalmente unas sobre otras estarán ligeramente desplazadas en el dibujo de la vista en planta”.<sup>17</sup>;

Mientras que todas las referencias recomiendan una abertura de compactación, Wight y MacGregor<sup>16</sup> ofrecen una clave importante: proporcionar una abertura para permitir que el vibrador llegue al fondo de la colocación. ACI 309R-05, Sección 7.2, proporciona la justificación de esta recomendación: “El vibrador ejerce fuerzas hacia afuera del eje. Las bolsas de aire al mismo nivel o por debajo de la cabeza tienden a quedar atrapadas”. Como se ha indicado anteriormente, el ACI 309R-05, Sección 18.2.1, indica el espacio preferido para la compactación: una sección transversal mínima de 4 x 6 pulg. con una separación horizontal de estas aberturas que no debe superar las 24 pulg.

La implicación de esta recomendación no es obvia. Sobre la base de la separación de inserción recomendada por el ACI 309R-05 de 1.5 veces el radio de influencia y el radio de influencia proporcionado en la Tabla 5.1 del documento, el diámetro mínimo de la cabeza del vibrador para permitir la separación horizontal a 24 pulg. en el centro sería de aproximadamente 5 pulg. La mayoría de los contratistas no utilizan un vibrador con cabeza de 5 pulgadas de diámetro. Una

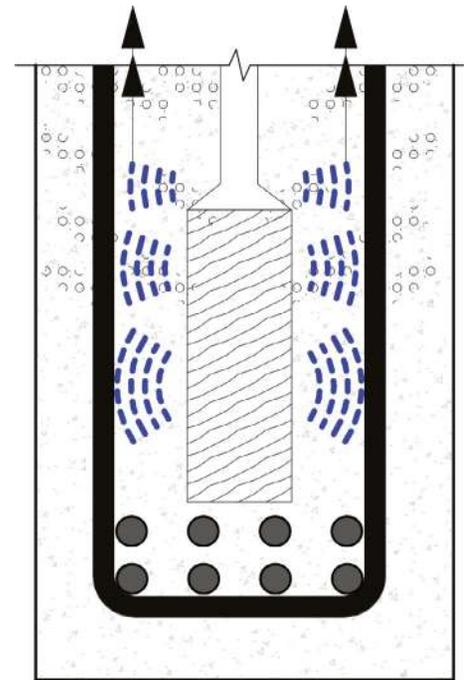
opción más práctica es una cabeza de vibrador de 2-1/2 pulg. (véase la sección Selección de un Vibrador), lo que se traduce en aberturas de aproximadamente 16 pulg. en el centro.

El ACI 309R-05, en su Sección 18.2.1, requiere que el tamaño máximo del agregado sea 3/4 del espacio libre entre varillas. Por lo tanto, para una separación de 1 pulg., el tamaño máximo del agregado sería de 3/4 pulg. Para múltiples capas de varillas, el agregado puede serpentear entre las varillas que no están colocadas directamente una encima de la otra. Como señaló Roberts,<sup>17</sup> las varillas colocadas dentro de la tolerancia, pueden no estar “directamente” unas sobre otras. La longitud interna de la cabeza del vibrador varía de unas 6 a 9 pulg. para las cabezas cortas y de 12 a 16 pulg. para las cabezas comunes. Los cabezales rígidos del vibrador no podrán seguir el mismo camino tortuoso de una partícula de agregado mientras serpentea a través de las aberturas entre varillas. Si el agregado necesita 3/4 del espacio libre, el diámetro de la cabeza del vibrador debería ser igual o menor, quizás 1/2 de la abertura libre. Basándose en los requisitos del Código sobre el espacio libre entre varillas, esto limitaría el tamaño de la cabeza del vibrador a 3/4 de pulg. o menos para “hacer cosquillas” al agregado en el concreto. Está claro que esto no corresponde a una compactación eficaz.

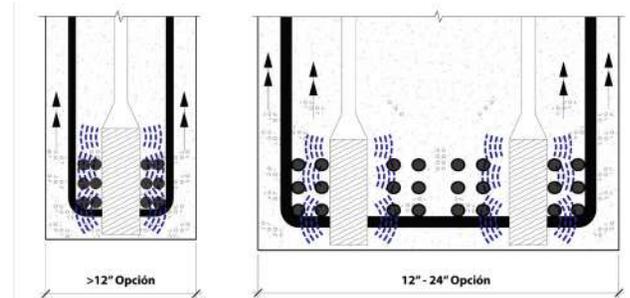
## Recomendaciones del Comité de Construcción de la ASCC

Se proponen las siguientes recomendaciones para una adecuada compactación del concreto, a menos que no se especifique o se requiera la compactación:

- Las aberturas deben permitir que el vibrador llegue a la parte inferior de la viga o viguetas (Fig. 6);
- Den base a una cabeza del vibrador con un diámetro mínimo de 2-1/2 pulg., debe haber una abertura por cada 16 pulg. de ancho de la viga o vigueta (Fig. 7); y
- El tamaño de la abertura debe ser de un mínimo de 16 pulg.<sup>2</sup> (4 x 4 pulg.) con un espacio de 16 pulg. en el centro.



**Figura. 6:** Un vibrador interno sumergido en el concreto fresco genera ondas de compresión circulares recurrentes. Estas ondas compactan el concreto y permiten que el aire atrapado salga. Las bolsas de aire al mismo nivel de la cabeza o por debajo tienden a quedar atrapadas. Por lo tanto, la recomendación de Wight y MacGregor<sup>16</sup> de proporcionar suficiente espacio entre las varillas de la viga para permitir que un vibrador llegue al fondo de la cimbra es un requisito necesario si se quiere compactar el concreto en la parte inferior de la viga



**Figura. 7:** Ilustra las recomendaciones para una adecuada colocación y compactación para una viga de menos de 12 pulg. de ancho (una abertura del vibrador) y una viga de 12 a 24 pulg. de ancho (dos aberturas del vibrador). Tenga en cuenta que esto ofrece acceso para que una cabeza de vibrador de 2-1/2 pulg. de diámetro llegue a la parte inferior de la viga para compactar todo el concreto

## Cómo seleccionar el tamaño del vibrador

Para acelerar y facilitar la compactación, el contratista selecciona el cabezal de mayor diámetro posible para el proyecto. Basándose en una mayor amplitud de vibración, las cabezas más grandes tienen un mayor radio de influencia; por lo tanto, requieren menos inserciones del vibrador para un mayor espaciamiento entre inserciones con el fin de lograr una compactación adecuada. Un menor número de inserciones se traduce en

tiempos de trabajo más rápidos. Sin embargo, las zonas de congestión del refuerzo limitan el diámetro de la cabeza del vibrador que puede insertarse entre el espacio libre de refuerzo especificado. Además, las tolerancias de fabricación y colocación permitidas pueden reducir el espacio libre por debajo del especificado.

Como se ha mencionado, el radio de influencia es un factor importante a la hora de seleccionar el diámetro de la cabeza del vibrador. La Tabla 1 proporciona el radio de influencia del ACI 309R-05 y los valores enumerados por cuatro fabricantes de vibradores. En base a la experiencia, los valores enumerados en ACI 309R-05 parecen ser conservadores, quizás basados en un concreto de bajo revenimiento. Los valores indicados por los fabricantes son hasta cuatro veces superiores a los del ACI 309R-05 y pueden no ser apropiados.

**Tabla 1 Radio de influencia del vibrador interno de concreto (distancia desde el centro del vibrador hasta el borde exterior donde se produce la compactación completa)**

Diámetro de la cabeza, pulg.	Radio de influencia, pulg.				
	ACI	Fabricante			
	309R-05	A	B	C	D
3/4	3	3	5	-	5
1-1/4	5	5	20	10	7
1-1/2	6	6	24	14	13
2	7	11	28	-	19
2-1/2	10	13	32	16	24
3	12	-	-	18	-
3-1/2	14	-	48	-	-

*\*El radio de influencia puede ser el doble de los valores indicados cuando el revenimiento es alto o se utilizan HRWRAs*

Basándose en la información proporcionada en el ACI 309R-05 para cabezas de vibradores de diferentes diámetros, la Tabla 2 incluye el radio de influencia, la separación máxima de inserción, el ancho máximo de la viga para una inserción del vibrador en el centro y el espacio de acceso del vibrador limitado a una separación de 3/4 pulg.

**Tabla 2 Información sobre la compactación con vibradores basada en el ACI 309R-05**

Diámetro de la cabeza del vibrador, pulg.	Radio de influencia*, pulg.	Distancia máxima de inserción, pulg.	Ancho máximo de la viga para una inserción en el centro de la misma, pulg.	Espacio del acceso en base al tamaño del agregado, pulg.
3/4	3	4.5	4.0	1.00
1	4	6.0	5.5	1.33
1-1/4	5	7.5	6.5	1.66
1-1/2	6	9.0	8.0	2.00
1-3/4	7	10.5	9.5	2.33
2	8	12.0	10.5	2.66
2-1/4	9	13.5	12.0	2.99
2-1/2	10	15.0	13.5	3.33
2-3/4	11	16.5	14.5	3.66
3	12	18.0	16.0	3.99
3-1/4	13	19.5	17.0	4.32
3-1/2	14	21.0	18.5	4.66

*\*Depende del revenimiento del concreto*

En base al tamaño del vibrador, la Tabla 3 muestra el número de inserciones de vibración por ancho de viga, para vigas, viguetas o muros de 30 pies de longitud. Como ejemplo, considere un ancho de 24 pulg., pero en el que sólo puede utilizarse un vibrador con cabeza de 3/4 pulg. debido a los detalles del refuerzo. El vibrador de 3/4 pulg. tendría que insertarse seis veces a lo ancho y 80 veces a lo largo de los 30 pies para un total de 480 inserciones. Una opción más realista puede ser utilizar un cabezal de 2-1/2 pulg. de diámetro, lo que daría lugar a 54 inserciones para cubrir 30 pies del ancho de 24 pulg. Sin embargo, la opción de utilizar el cabezal de 2-1/2 pulg. sólo puede considerarse si el detalle del refuerzo puede acomodar al menos un espacio de acceso de 3-1/2 pulg<sup>2</sup>. a una separación lateral de aproximadamente 16 pulg. Tenga en cuenta que se trata de inserciones de vibradores por elevación. Si la viga/vigueta/muro requiere más de una elevación, el número de inserciones del vibrador para ese elemento debe multiplicarse por el número de elevaciones.

## **Recomendaciones del Comité de Construcción de la ASCC**

Si el concreto requiere compactación, durante el diseño, el ingeniero debe considerar una cabeza de 2-1/2 pulgadas de diámetro como el tamaño mínimo del vibrador. Se pueden utilizar vibradores más pequeños para complementar los vibradores más grandes, pero los vibradores más pequeños no deben ser considerados como de uso habitual.

## **Consideraciones sobre la mezcla de concreto**

En el Código de Construcción ACI de 1941, Sección 404 (d), se prevén cambios en la mezcla de concreto para tener en cuenta las áreas con refuerzos congestionados: “Cuando las condiciones dificulten la compactación, o cuando el refuerzo esté congestionado, se depositarán primero en las cimbras lotes de mortero que contengan las mismas proporciones de cemento y arena que las utilizadas en el concreto, hasta una profundidad de al menos una pulgada”.<sup>18</sup> En este Código, la distancia

mínima libre entre las varillas paralelas era de 1-1/2 veces el diámetro para las varillas redondas y de dos veces la dimensión lateral para las varillas cuadradas. El tamaño máximo del agregado no podía ser mayor que 3/4 de la distancia libre mínima entre varillas de refuerzo.

La disposición de utilizar los lotes de mortero cuando el refuerzo está congestionado continuó en los Códigos de 1947, 1951, 1956, 1963 y en el de 1971. Se suprimió en el Código de 1977, como se indica en el comentario de la Sección 5.4: “Este requisito se suprimió del Código de 1977, ya que las condiciones para las que era aplicable no podían definirse con suficiente precisión para justificar su inclusión como requisito del Código. Sin embargo, la práctica tiene mérito y debería incorporarse a las especificaciones de los trabajos cuando sea apropiado, siendo su aplicación específica responsabilidad del supervisor de la obra. El uso de lotes de mortero ayuda a evitar la formación de panales y la mala adherencia del concreto con el refuerzo”<sup>19</sup>.

**Tabla 3 Número de inserciones del vibrador para una colocación/elevación del concreto**

Número de inserciones del vibrador por cada 30 pies de longitud*.												
Diámetro de la cabeza del vibrador, pulg.	A través de	Ancho de la viga/vigueta/pared, pulg.										
		8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
0.75	Ancho	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Largo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	<b>Total</b>	<b>160</b>	<b>240</b>	<b>320</b>	<b>400</b>	<b>480</b>	<b>560</b>	<b>640</b>	<b>720</b>	<b>800</b>	<b>880</b>	<b>960</b>
1.25	Ancho	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8
	Largo	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>144</b>	<b>192</b>	<b>192</b>	<b>240</b>	<b>240</b>	<b>288</b>	<b>336</b>	<b>336</b>	<b>384</b>
1.75	Ancho	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6
	Largo	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>175</b>	<b>175</b>	<b>210</b>
2.25	Ancho	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	Largo	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
2.50	Ancho	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4
	Largo	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
2.75	Ancho	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4
	Largo	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>88</b>	<b>88</b>

El CRSI<sup>10</sup> recomienda el uso de concretos de alto comportamiento cuando se espera que la colocación y compactación sean difíciles. El concreto de alto comportamiento se define como el que cumple con combinaciones especiales de requisitos de rendimiento y uniformidad que no siempre pueden lograrse de forma rutinaria, utilizando los ingredientes convencionales y las prácticas normales de mezclado, colocación y curado. Estos requisitos podrían potencialmente aumentar la facilidad de colocación y de compactación.

La Sección 18.2 del ACI 309R-05 recomienda que la compactación en zonas congestionadas puede mejorarse aumentando la fluidez de la mezcla, mediante el uso de aditivos químicos. Los aditivos químicos, como los aditivos reductores de agua de alto rango (HRWRA), proporcionan un concreto con alto revenimiento, sin alterar la relación agua-material cementante (a/cm) seleccionada. Sin embargo, el apartado 18.2.2 indica que el uso de aditivos químicos no sustituyen el requisito de una buena compactación por vibrado.

El ACI 212.3R-16<sup>20</sup> proporciona información sobre el concreto fluido (Capítulo 17) y el SCC (Capítulo 18), especificado en algunos proyectos con congestión del refuerzo. Se trata de una consideración a tener en cuenta a la hora de decidir las tolerancias de fabricación y colocación, así como la colocación y compactación del concreto. El uso de concreto fluido o SCC puede minimizar el efecto de la congestión, pero no garantiza la ausencia de panales de abeja.

Para el SCC, el valor del flujo de revenimiento permite comparar el flujo lateral y el potencial de llenado de diferentes mezclas. Un rango común de flujo de revenimiento para el SCC es de 450 a 760 mm (18 a 30 pulg.). Cuanto mayor sea el flujo de revenimiento, más lejos puede viajar el HAC bajo su propio peso, desde un punto de descarga dado, y más rápido puede llenar una cimbra. Para los refuerzos congestionados, el Comité de Construcción de la ASCC recomienda un valor de flujo de revenimiento superior a 26 pulg. con un tamaño máximo de agregado grueso de 1/2 pulg.

La Sección 1.1 del ACI 237R-07(19) define al SCC como un concreto altamente fluido y sin segregación que puede extenderse en su lugar, llenar la cimbra y encapsular el refuerzo sin vibración mecánica. Algunas especificaciones de proyectos exigen que no haya compactación para el SCC, lo que indica a los contratistas que no deben poner precio a este concepto. Sin embargo, esta indicación debe examinarse cuidadosamente para el SCC en proyectos con refuerzos altamente congestionados. La Tabla 2.5 del ACI 237R-07(19) sí recomienda la compactación para un alto volumen de refuerzo y para un SCC con un flujo de revenimiento inferior a 550 mm (22 pulg.). La variabilidad del flujo de revenimiento entre lotes también puede presentar la necesidad de compactar el concreto. Sin embargo, el deseo de vibración interna del SCC depende de la congestión del refuerzo.

El SCC de alta resistencia se utiliza a menudo en los elementos verticales. Esta mezcla suele estar compuesta por una baja  $a/cm$  de 0.23 a 0.35, altos contenidos de cementante (de 700 a 1000 lb/yd<sup>3</sup>), uno o más materiales cementantes suplementarios (ceniza volante, escoria de cemento o humo de sílice), tamaños de agregados gruesos más pequeños (1/2 pulgada como máximo), un aditivo modificador de la viscosidad y altas dosis de HRWRAs (típico retardante). Esta mezcla, en muros gruesos o en losas de cimentación, podría crear un problema térmico y debe reconocerse en la fase de diseño, especialmente si son necesarias las tuberías de refrigeración internas. Si lo son, sólo aumentarán el problema de la congestión. Además, esta mezcla también generará problemas de construcción adicionales si es necesario encharcar las losas circundantes.

## Embebidos y penetraciones

Además del refuerzo, los elementos embebidos, como las placas soldadas con pernos, pernos de anclaje y elementos de acero estructural, así como las penetraciones MEP también se suman a la congestión. Schafer afirma que el ingeniero necesita “coordinar nuestros dibujos y diseños con otras disciplinas”<sup>21</sup>, incluidos los requisitos mecánicos

y eléctricos. Cuando la coordinación no tiene lugar durante la fase de diseño, pueden producirse cuellos de botella. Por tal motivo, es necesario coordinar el trabajo de las distintas disciplinas durante la fase de diseño, o se generarán costos adicionales y retrasos en la construcción.

## Densidad del refuerzo para activar la revisión anticipada del diseño

Munshi y Saini<sup>22</sup> llegaron a la conclusión de que la construcción de centrales nucleares ha llegado a un punto en el que la cantidad de refuerzo necesaria puede amenazar seriamente la viabilidad de la construcción de las mismas. Indicaron que eran habituales las armaduras muy densas (del N° 11 o más, agrupadas dentro de anclajes o espigas estrechamente espaciadas) con densidades de varilla de refuerzo superiores a 400 lb/yd<sup>3</sup> de concreto. Y que la actual construcción de centrales nucleares ha experimentado este problema y se enfrenta a serias implicaciones en cuanto a costos, programas y comportamiento del concreto a largo plazo.

Ciertamente, el refuerzo requerido en la construcción de edificios, especialmente para el diseño sísmico, también ha alcanzado un nivel crítico. Las densidades de las varillas de refuerzo para las losas de cimentación se acercan a las 600 lb/yd<sup>3</sup> y los muros a las 700 a 800 lb/yd<sup>3</sup> (Fig. 8). Un muro en una región no sísmica se acerca a las 1000 lb/yd<sup>3</sup> de refuerzo. Cuando se determinan en el campo, estos niveles de densidad de varillas obligan a los contratistas a trabajar con el ingeniero para rediseñar la disposición del refuerzo, lo que supone un costo adicional y retrasos.



Figura. 8: La densidad de las varillas de refuerzo de este elemento se aproximaba a las 800 lb/yd<sup>3</sup>. Después de la construcción, el ingeniero cambió el tamaño de las varillas, las agrupó y reorganizó los empalmes para que hubiera acceso para la colocación del concreto.

Munshi y Saini propusieron que la densidad de las varillas se utilizara como una revisión de activación temprana:

“Para facilitar una temprana percepción y corrección del rumbo antes de que sea demasiado tarde, es aconsejable incluir una revisión detallada de los avances del diseño en las primeras fases del mismo, para garantizar que los criterios de diseño, los supuestos, los procesos y los métodos están dando lugar a un diseño y refuerzo razonables. En esta fase temprana debería realizarse una revisión de las densidades de las barras de refuerzo, para ayudar a identificar posibles áreas de altas densidades de barras de refuerzo que necesitan ser críticamente evaluadas para entender la causa raíz y corregidas a tiempo antes de que se finalice el diseño. Como regla general, las densidades de las barras de refuerzo que superen las 200 lb/yd<sup>3</sup> pueden utilizarse como punto de partida para evaluar los diseños en las primeras fases”.<sup>22</sup>

No está claro por qué Munshi y Saini eligieron 200 lb/yd<sup>3</sup> como punto de activación para evaluar los diseños. Para algunas construcciones, este límite podría dar lugar a una revisión de congestión de cada miembro. Basándose en nuestra experiencia, el Comité de Construcción de la ASCC optó por identificar las densidades de refuerzo desencadenantes por elemento, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Puntos de activación de las densidades de refuerzo por elemento

Elemento de concreto	Densidad del refuerzo, lb/yd <sup>3</sup>
Vigas/viguetas	350/400
Columnas	400
Zapatas, extensión	250
Cimientos, losas de cimentación	300
Vigas gruesas	300
Losas	200
Muros	300
Muros, cortante	400

## Disposiciones propuestas en el Código y en sus Comentario

El Comité de Construcción de la ASCC está proponiendo disposiciones del Código ACI 318 y de sus Comentarios relacionados con la construcción en relación con la congestión del refuerzo. Estos cambios propuestos, especialmente en un sistema de entrega de diseño-licitación-construcción, deberían resolver los problemas de congestión, evitando así innumerables solicitudes de información (RFI).

Las disposiciones del Código ACI 318 y Comentario propuestos para mejorar la construcción incluyen:

### Código

#### Detalles del refuerzo

La selección del tamaño del refuerzo, la separación, el recubrimiento y otros detalles deberán contemplar las tolerancias en la fabricación y colocación del refuerzo; el tamaño del agregado; y la adecuada colocación y compactación del concreto.

## Comentario

### *Detalles del refuerzo*

Los requisitos del Código suelen referirse a valores mínimos o máximos. Las buenas prácticas de diseño (ACI 315) generalmente se esfuerzan por evitar el uso indiscriminado de los valores mínimos del Código, sin considerar la posibilidad de construcción. La construcción es una parte importante para proporcionar al propietario una estructura dentro de las limitaciones del costo, el programa y la calidad.

Para tener en cuenta las tolerancias en la fabricación y colocación de la armadura, considere la posibilidad de seleccionar: (a) la viga/viguetas por lo menos 1 pulg. por pie (del ancho de la viga/ viguetas) más grande que el mínimo requerido; o (b) la viga/ viguetas por lo menos 2 pulg. más grande en cada lado que la columna de intersección para permitir que las viguetas horizontales más externas en la viga/ vigueta pasen por las barras longitudinales verticales con una interferencia mínima.<sup>10</sup>

Para permitir una compactación adecuada del concreto, considere la posibilidad de proporcionar acceso para una manguera de bombeo de 5 pulg. de diámetro a espaciamientos regulares y diseñar una mezcla de concreto que sea compatible con el espaciamiento de inserción del concreto. Puede ser necesaria la construcción de un elemento de prueba para evaluar esta combinación de parámetros. Los intervalos de acceso a la bomba deben figurar en los documentos de construcción.

Para permitir una adecuada compactación del concreto, considere la posibilidad de proporcionar una abertura cuadrada de 4 pulg. para un vibrador interno con un diámetro de cabeza de 2-1/2 pulg., para llegar a la parte inferior de la viga/vigueta<sup>16</sup>, para al menos una posición por cada 16 pulg. de ancho de la viga/vigueta y suficientes aberturas para las inserciones de vibración interna a una distancia máxima de 16 pulg. en el centro.<sup>6, 10</sup>

Los planos estructurales deben mostrar la secuencia de colocación, especialmente la estratificación de las intersecciones entre vigas

y viguetas, teniendo en cuenta la profundidad de las intersecciones entre vigas y viguetas y el recubrimiento de concreto para cada uno de los elementos de intersección.<sup>8</sup>

Se recomienda la coordinación de las diferentes disciplinas de diseño en la fase inicial de diseño<sup>21</sup> para minimizar la congestión que afectaría negativamente al refuerzo, a la colocación y a la compactación del concreto.

## Referencias del Comentario

ACI 309R-05—Guide for Consolidation of Concrete.

ACI 315-18—Guide to Presenting Reinforcing Steel Design Details.

CRSI 10-DG-STRUCTURES —Design Guide for Economical Reinforced Concrete Structures, 2016.

Schaefer, S.E., “Coordinated and Complete Construction Documents—CASE’s Answer to ‘Botched Plans’,” STRUCTURE magazine, Feb. 2004, pp. 27-29.

### **Comité de Construcción de la ASCC:**

Oscar Antommattei, Kiewit  
Brian Carson, Osburn Contractors  
Eamonn Connolly, McHugh Concrete Construction, Inc.  
Aron Csont, Barton Malow  
Michael Damme, Sundt Construction, Inc.  
Jim Dick, Charles Pankow Builders  
Ralph Jessop, Phaze Concrete, Inc.  
Jim Klinger, American Society of Concrete Contractors  
Kevin MacDonald, Beton Consulting Engineers, LLC  
Guy McGriff, Keystone Structural Concrete, LLC  
John Paleologos, Miller & Long Co., Inc.  
Trevor Prater, Swinerton Builders

## La responsabilidad del diseñador

Wyllie y LaPlante<sup>23</sup> ofrecen sugerencias a otros ingenieros estructuristas sobre su obligación de diseñar y detallar las estructuras de concreto reforzado para que el contratista y el subcontratista del acero de refuerzo puedan construirlas de la manera más fácil y económica posible. Los autores afirman que, de acuerdo a su experiencia, un conjunto de dibujos bien detallados, en los que se han abordado cuestiones de construcción, da lugar a precios de oferta más bajos.

## Referencias

1. ACI Committee 318, "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)," ACI 318R-83, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1983, 155 pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 391 pp.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
4. ACI Committee 318, "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)," ACI 318R-77, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1977, 155 pp.
5. ACI Committee 309, "Recommended Practice for Consolidation of Concrete (ACI 309-72)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1972, 40 pp.
6. ACI Committee 309, "Guide for Consolidation of Concrete (ACI 309R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 36 pp.
7. ACI Committee 237, "Self-Consolidating Concrete (ACI 237R-07) (Reapproved 2019)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, 30 pp.
8. ACI Committee 315, "Guide to Presenting Reinforcing Steel Design Details (ACI 315R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 50 pp.
9. Malik, J.B., "Designing to Minimum Concrete Dimensions," *Concrete International*, V. 29, No. 7, July 2007, pp. 44-47.
10. "Design Guide for Economical Reinforced Concrete Structures," first edition, 10-DG-STRUCTURES, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2016, 88 pp.
11. MNL-17(21), "ACI Reinforced Design Handbook," V. 3: Design Aids, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 99 pp.
12. ACI Committee 304, "Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R-00)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2000, 41 pp.
13. ACI Committee 304, "Guide to Placing Concrete by Pumping Methods (ACI 304.2R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 20 pp.
14. "The Effects of Free Fall Concrete in Drilled Shafts," ADSC: The International Association of Foundation Drilling, Southlake, TX, 1994, 106 pp.
15. Roberts, D., "Congested Reinforcement: Effects on Placing and Compacting Concrete," *Concrete Advice* No. 04, The Concrete Society, Surrey, U.K., 2016, 2 pp.
16. Wight, J.K., and MacGregor, J.G., *Reinforced Concrete—Mechanics & Design*, fifth edition, Prentice Hall, Inc., Hoboken, NJ, 2009, 1112 pp.
17. Roberts, D., "Congested Reinforcement: Effects on Placing and Compacting Concrete," *Concrete Advice* No. 04, The Concrete Society, Surrey, U.K., 2003, 2 pp.
18. ACI Committee 318, "Building Regulations for Reinforced Concrete (ACI 318-41)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1941, 63 pp.
19. ACI Committee 318, "Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1977, 103 pp.
20. ACI Committee 212, "Report on Chemical Admixtures for Concrete (ACI 212.3R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 76 pp.
21. Shaefer, S.E., "Coordinated and Complete Construction Documents—CASE's Answer to 'Botched Plans,'" *STRUCTURE* magazine, Feb. 2004, pp. 27-29.
22. Munshi, J., and Saini, J., "Reinforcement in Nuclear Construction - How Much is Too Much!," *Proceedings of 25th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology 2019 (SMiRT-25)*, Charlotte, NC, Aug. 4-9, 2019, V. 5, pp. 3635-3640.
23. Wyllie, L.A. Jr., and LaPlante, R.W., "The Designer's Responsibility for Rebar Design," *The Structural Bulletin Series*, Number 1, Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI), Schaumburg, IL, 2003 (Revised 2008), 16 pp.



**James Klinger**, miembro ACI, es especialista en construcciones de concreto de la American Society of Concrete Contractors (ASCC), St. Louis, MO. Es miembro de los Comités ACI 134, Construcción con Concreto, y 318, Código de Construcción con Concreto Estructural; del Subcomité ACI 318-A, General, Concreto y Construcción; y del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias. Ha recibido el Premio ACI de Construcción 2020 y el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor con Concreto 2022. Klinger recibió su maestría en ingeniería estructural de la Universidad de Maryland, College Park, MD, USA.



**Michael Damme**, miembro ACI, ha estado en la industria de la construcción desde 2006. Lleva casi 15 años en Sundt Construction y actualmente es director de construcción y superintendente general de su División de Concreto. Es miembro de varios comités de ACI y es instructor y formador certificado por NCCER. Dirige un curso para el Programa de Desarrollo de Capataces de Concreto de Sundt, y en 2009, ganó el premio al Aprendizaje Sobresaliente de la AGC. Es miembro del Comité de Construcción de la ASCC.



**Oscar R. Antommattei**, FACI, es Gerente de Ingeniería de Concreto en Kiewit Engineering Group Inc. en Lone Tree, CO, EE.UU. Cuenta con 20 años de experiencia en el sector de los materiales de concreto con enfoques que van desde el apoyo técnico hasta el diseño de infraestructuras y proyectos de construcción civil pesada. Es Presidente del Comité ACI de Vinculación con la Construcción, y miembro de los Comités ACI 134, Construcción con Concreto; 201, Durabilidad del Concreto; 207, Concreto Masivo y Controlado Térmicamente; 305, Concreto en Clima Caliente; 308, Curado del Concreto; y 321, Código sobre Durabilidad del Concreto; y miembro del Subcomité ACI 301-H, Concreto Masivo- Sección 8.



**Trevor Prater**, miembro ACI, es Director de Proyectos de la División de Concreto de Swinerton Builder en el Norte de California. Es miembro del Comité de Construcción de la ASCC y miembro de la Sección Norte de California y Oeste de Nevada del ACI. Obtuvo su licenciatura en la Universidad de California, Santa Cruz, CA, EE.UU., y su maestría en administración de la construcción con concreto en la Universidad Estatal de Chico, Chico, CA. Es ex alumno y miembro del Patronato del programa de Administración de la Industria del Concreto de la Universidad Estatal de Chico.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, es el Director Técnico de la ASCC, St. Louis, MO. Es miembro de los Comités ACI 134, Construcción con Concreto, y 302, Construcción de Pisos de Concreto; y de los Comités Conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Concreto Decorativo. Entre sus reconocimientos se encuentran el Premio Internacional del Concreto del ACI 2022, la Medalla Arthur R. Anderson del ACI 2021, el Premio ACI a la Construcción 2020, el Premio ACI Certificación 2013, el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor con Concreto 2010 y el Premio ACI de Construcción 2010.



**Aron Csont**, miembro de ACI, es Director de Proyectos en Barton Malow, Southfield, MI, Estados Unidos. Tiene más de 20 años de experiencia en la supervisión y gestión de grandes y complejos proyectos de concreto estructural. Es miembro de los Comités ACI 134, Construcción con Concreto, y E703, Prácticas de Construcción con Concreto. También es miembro de la ASCC y es el actual Director del Consejo de Seguridad y Gestión de Riesgos.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

*Título: Congestión del refuerzo en el concreto colado en el lugar*



*Traductor:  
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez*



*Revisor Técnico:  
Dr. Alejandro Durán Herrera*

## Concreto carbono neutro

*¿Que significa realmente?*

*por Andrea Shokker*

Nos golpean con una plétora de términos: verde, resiliente, baja huella de carbono, sostenible, de bajas emisiones, de carbono compensado, ecológico, cero neto, renovable, potencial de calentamiento global, carbono neutro, y la lista continúa. Lo primero que hay que tener en cuenta es que la palabra carbono se está utilizando para representar CO<sub>2</sub>, o en algunos casos, CO<sub>2</sub> equivalente (impacto combinado de todos los gases de efecto invernadero). Dado nuestro nombre, NEU: un centro de Excelencia para Concreto de Carbono Neutro del ACI, me centraré en el término carbono neutro. Vemos que NEU en el nombre no es un acrónimo, sino que proviene de la palabra NEUtro, ya que ese es nuestro objetivo.

En el contexto de la industria del concreto, esfuerzos se han enfocado en torno a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento portland, específicamente la combustión de combustibles fósiles al transformar la piedra caliza en Clinker (calcinación), que es molido y mezclado con yeso para crear el cemento. Sabiendo que la calcinación produce la mayor parte de las emisiones de carbono en este proceso y que el cemento es un componente del concreto, puede ser difícil imaginar cómo esperaríamos llegar a un concreto de carbono neutro. Comencemos definiendo dos términos:

- Carbono neutro significa efecto nulo del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas deben ser equilibradas por una cantidad igual de CO<sub>2</sub> eliminado

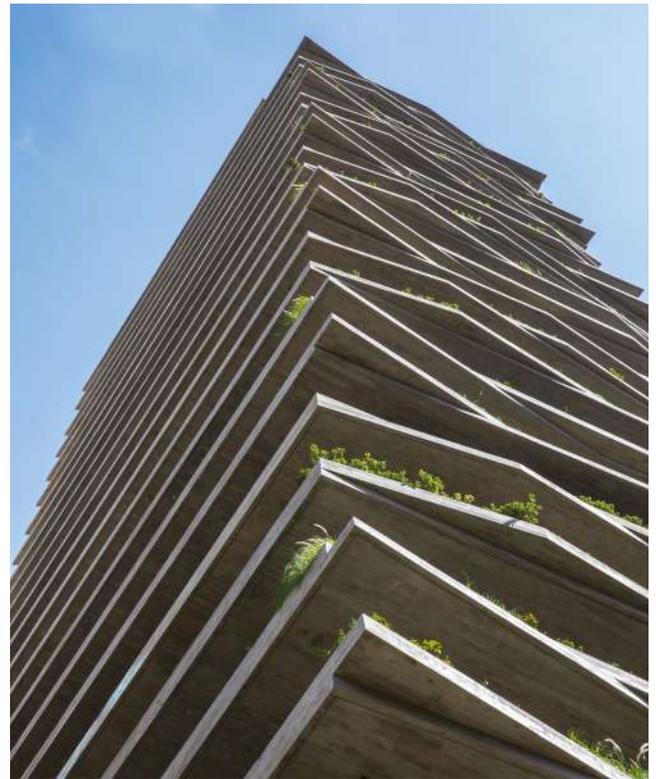
de la atmósfera a través de sumideros de carbono, captura y almacenamiento de carbono (CCS), o compensaciones. Sumideros incluyen los bosques, los océanos y el suelo, los cuales absorben el CO<sub>2</sub>. El concreto en sí también lo es, pero no puede absorber CO<sub>2</sub> lo suficientemente rápido o en cantidades suficientes para equilibrar las emisiones de su producción.

- Cero neto en las emisiones de carbono se refiere a una actividad que libera un neto de cero CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Estos dos términos son muy similares, y el resultado para ambos es equilibrar las emisiones de carbono. La diferencia es que en el caso de cero neto, no se emitió carbono por la actividad en primer lugar. Para llegar a cero neto, debemos comenzar por implementar prácticas de carbono neutro.

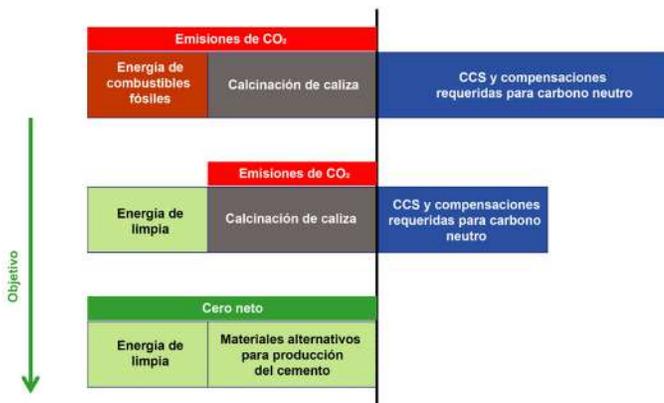
La Figura 1 muestra un ejemplo simplificado de este concepto. Los dos primeros casos son carbono neutro si el lado izquierdo (emisiones) se equilibra con el lado derecho (CCS y compensaciones). El tercer caso es cero neto y no necesita de CCS o compensaciones para ser carbono neutro. Cuanto más podamos reducir del lado de las emisiones, menos necesitamos en CCS y compensaciones. Una contribución cero neto en las emisiones de carbono para concreto en todo el mundo es poco probable que sea factible en el corto plazo. Sin embargo, la ciencia detrás del concreto cero neto y los proyectos piloto asociados están en el horizonte.

Es importante entender que el concreto carbono neutro y el cemento carbono neutro tienen diferentes niveles de alcance. En el caso de cemento carbono neutro, las reducciones de carbono necesitarían compensar las emisiones de la producción de cemento. La industria del cemento ha reducido su huella de carbono a través de la reducción en el uso de combustibles fósiles, modernización de plantas, y muchos otros cambios. Estas reducciones han sido críticas en la reducción del carbono incorporado en el producto final - concreto. En el futuro, tendremos una solución escalable para producir cemento a partir de un material base diferente que sea cero neto. Mientras tanto, debemos continuar actuando en todos los frentes posibles mientras consideramos el alcance más amplio del concreto y los productos en los que se usa el concreto. Cualquier reducción de carbono en el cemento se aplicará directamente al concreto.



*El edificio residencial Leopoldo 1201 en la ciudad de São Paulo, Brasil, fue ganador del primer lugar en la Categoría de Edificios de Gran Altura en el Programa de Premios a la Excelencia en Construcción de Concreto ACI 2021. El uso de concreto de altas prestaciones en este proyecto permitió construir columnas con una sección transversal reducida, disminuyendo el consumo total de materiales.*

El enfoque de NEU está en el panorama más amplio del concreto carbono neutro. El cemento es obviamente una parte importante de este.



**Figura. 1: Balance para neutralidad de carbono del cemento**

Sin embargo, si no consideramos todos los componentes del concreto, perdemos de vista el panorama completo. Gran parte del lenguaje actual y propuesto sobre la reducción de la huella de carbono del concreto se centra más en el carbono incorporado que en el producto final y su desempeño (por ejemplo, un edificio, un pavimento o un puente). Siendo el concreto el material de construcción más utilizado, sabemos que a gran escala no puede ser simplemente reemplazado por otro material. Aún más importante es que el concreto brinda una solución duradera y resiliente a un costo razonable que otros materiales no pueden igualar. El análisis del ciclo de vida de las emisiones de carbono de un producto final, como el evaluado a través del modelado de todo un edificio (u otra estructura), deben liderar nuestros objetivos de neutralidad de carbono para el planeta. Considerar solo las emisiones de carbono incorporadas, es centrarse solo en el corto plazo, en lugar del largo plazo que es aún más importante. Un edificio que tenga una larga vida útil, que pueda soportar

tormentas extremas, inundaciones, daños por incendios y que reduzca el consumo de energía para calefacción y refrigeración, es el camino que debemos tomar para lograr un futuro sin emisiones de carbono mientras reducimos la huella de carbono.

La captura, almacenamiento y el uso de carbono (CCUS) jugarán un papel importante en un futuro de carbono neutro. El objetivo de NEU es apoyar una reducción de las emisiones de carbono del concreto tanto como sea posible para que se minimice la cantidad de CCUS necesaria. El enfoque de NEU es apoyar los esfuerzos para alcanzar la neutralidad de carbono en el concreto al considerar todos los puntos del proceso, desde las materias primas hasta el ciclo de vida del elemento en concreto y más allá, hasta una nueva vida potencial. Esto incluye todas las etapas, incluidos los materiales, la construcción, la reparación y el uso final. El resultado de estos esfuerzos no solo será el cambio evolutivo necesario para el concreto, sino también un cambio revolucionario en la industria del concreto.

Para obtener más información acerca de NEU, visite [www.neuconcrete.org](http://www.neuconcrete.org).



**Andrea Schokker** es miembro de FACI, es Consultora Técnica Senior y Asesora de la Junta para NEU: un Centro de Excelencia de ACI para Concreto Carbono Neutro. Schokker puede ser contactada en +1.248.848.3764 o [andrea.schokker@neuconcrete.org](mailto:andrea.schokker@neuconcrete.org).

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

*Título: Concreto carbono neutro*



Traductor y Revisor Técnico:  
Phd Margareth Josefina Dugarte Coll

# ¿Sabías qué...

*a partir de 2023 puedes publicar tus artículos de investigación y casos de estudio en nuestra Revista?*

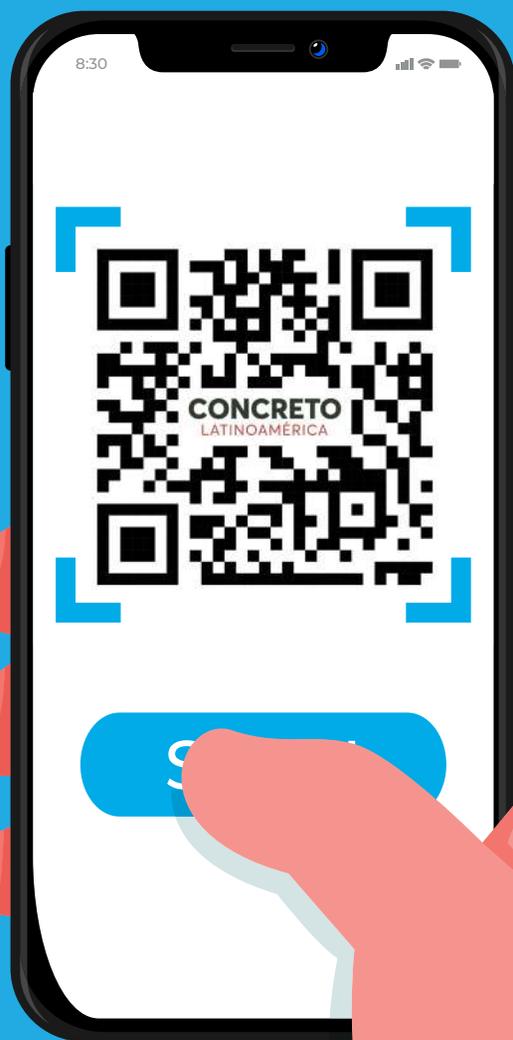
*¡Es muy fácil!*

*Podrás descargar la Guía de Publicación y Carta de Solicitud en estos Códigos QR*

*Una vez descargada la Guía conocerás los requisitos para publicación, y podrás llenar la solicitud, firmarla y enviarla a la Revista Concreto Latinoamérica, a través de la dirección [concretolatam@gmail.com](mailto:concretolatam@gmail.com)*

*¡Listo!*

*Tú solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.*



*Carta Solicitud Publicación*



## La certificación ACI llega a la Argentina

El equipo de Certificación del ACI, trabajando en estrecha colaboración con representantes del Capítulo Argentino del ACI y el Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), ha completado el desarrollo del programa de certificación de Técnicos en Ensayos de Concreto en Campo considerando las especificaciones del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), constituyéndose de esta forma en el primer programa de certificación ACI en la Argentina.

El desarrollo del programa fue liderado por Luis Fernandez Luco, Profesor de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (UBA); Matías Polzinetti, Coordinador de Tecnología del Concreto del ICPA; y Nate Mohler de Programa de Certificaciones del ACI. Estas acciones culminaron la primavera pasada con los exámenes escritos y manuales aprobados por el comité formado a tal fin. Como parte del protocolo del programa de desarrollo de certificaciones del ACI, un programa piloto y una sesión de orientación fueron realizados en Buenos Aires, Argentina.



**Figura. 1:** Morrison asistiendo a un Examinador Suplementario durante el examen de performance



**Figura. 2:** Mohler demostrando la aplicación correcta de la IRAM 1602 (Contenido de Aire por el Método de Presión) al equipo de Examinadores Suplementarios

La Facultad de Ingeniería de la UBA fue anfitriona de las sesiones de orientación y el programa piloto durante la semana del 1 de agosto del 2022. Polzinetti y Mohler lideraron las acciones, incluyendo las sesiones de prácticas manuales con los 10 nuevos examinadores y examinadores suplementarios seguidos por los exámenes escritos y manuales. Michael Morrison, ACI Manager del Certification Program Development, y John Nehasil, ACI Managing Director de Certification, también colaboraron en las tareas desarrolladas durante la semana. Los miembros del equipo de orientación representaban a toda la producción de cemento de la Argentina incluyendo a las empresas propietarias de las 17 plantas de cemento distribuidas en distintas regiones del país: Holcim Argentina, Loma Negra, Cementos Avellaneda y Petroquímica Comodoro Rivadavia, así como el Instituto Nacional de Tecnología Industrial dependiente del gobierno nacional y el ICPA. Luego de los dos días de orientación tuvo lugar el programa piloto también de dos días de duración. Esta última sesión incluyó a 15 técnicos, inspectores e ingenieros de la comunidad del concreto en Argentina con

diferentes niveles de experiencia en el ensayo de hormigón fresco. Fue liderada en conjunto por el staff del ACI, y los ingenieros Polzinetti y Luco. Algunos de los nuevos examinadores suplementarios participaron también, en tal carácter, durante el examen práctico piloto del último día.

En total, las sesiones de orientación y el programa piloto fueron un éxito resonante. La certificación de Técnicos de Ensayos de Concreto en Campo ACI IRAM, el primero en Argentina, está actualmente implementada a partir de estas acciones y desarrolladas en la Facultad de Ingeniería de la UBA y el liderazgo del Staff del ACI y el ICPA.

### **Reunión del Equipo de Certificación ACI con los representantes de la Industria de la Construcción Argentina**

El equipo de Certificación ACI se reunió con más de 10 representantes de la Industria de Construcción Argentina, incluyendo asociaciones, institutos, gremios de la construcción y agencias gubernamentales nacionales y locales. La reunión se realizó el 3 de agosto del 2022 en Buenos Aires en la sede del ICPA con Polzinetti como anfitrión.

Nehasil realizó una presentación señalando las fortalezas y el liderazgo del ACI en la industria de concreto y la historia del programa de Certificación del ACI, incluyendo los programas en desarrollo y la expansión actual a 31 certificaciones diferentes así como la presencia de los programas de certificación del ACI en 54 países. Nehasil resaltó que la Certificación ACI ha estado operativa por ya casi 40 años y su calidad y resultados son reconocidos y respetados alrededor del mundo.



**Figura. 3:** Luco comentando el procedimiento sobre la densidad del hormigón fresco (IRAM 1582)



**Figura. 4:** Miembros del Capítulo Argentino del ACI, el staff del ICPA y del ACI con los candidatos durante la primera sesión de certificación de técnicos de ensayo de concreto en campo IRAM, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.



**Figura. 5:** Representantes de la Industria de la Construcción Argentina participando de una reunión en la sede del ICPA en Buenos Aires explicando el nuevo programa de certificación y su potencial impacto en el aseguramiento la calidad del concreto en Argentina

A continuación, Polzinetti explicó el desarrollo de la certificación de técnicos de ensayos de concreto en campo basada en la normativa IRAM, detallando el extenso proceso seguido para la implementación del programa de Certificación ACI. A su vez, resaltó la importancia de la participación del Staff del ACI en Buenos Aires en las sesiones de orientación y entrenamiento de aquellos profesionales que habían sido seleccionados en Argentina para ejecutar un programa piloto con candidatos que típicamente ejecutan este trabajo en el campo. Polzinetti explicó también la implementación futura del programa a lo largo de todo el país.

El Capítulo Argentino del ACI y el ICPA prevén que el programa esté disponible para la industria de la construcción en múltiples ciudades de la Argentina a partir del primer cuatrimestre del año 2023.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Argentina

*Título: La certificación ACI llega a la Argentina*



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

## Ganadores de la octava edición reconocimientos a la excelencia en la construcción con concreto del ACI.

Durante los últimos 8 años el ACI, a través de los Reconocimientos a la Excelencia a la Construcción con Concreto, ha celebrado la innovación y la excelencia globales. Ahora más que nunca, el diseño y construcción con concreto deben integrar técnicas creativas para mantenerse al día con las exigencias medioambientales, estéticas y económicas que están en constante evolución; y los reconocimientos a la Excelencia del ACI continúan brindando una plataforma perfecta para reconocer estos proyectos excepcionales de construcción con concreto en todo el mundo.

Las nominaciones de proyectos fueron presentadas por la red de Capítulos ACI en todo el mundo, Socios Internacionales y propietarios de proyectos y/o miembros de los equipos de proyectos de las obras propuestas, agrupandolas en las siguientes categorías:

- Estructuras de baja altura (hasta tres pisos)
- Estructuras de mediana altura (de cuatro a 15 pisos)
- Estructuras de gran altura (más de 15 pisos)
- Obra de Infraestructura
- Reparación y restauración
- Concreto decorativo y
- Superficies planas (Esta categoría se empezó a incluir en la edición 2021)

La dura competencia generada por las nominaciones de este año requirieron de un panel de 30 expertos de la industria (27 categorías y tres jueces generales). El panel eligió proyectos basados en su importancia desde los puntos de vista de ingeniería y arquitectura, así como por su creatividad, innovación técnica o soluciones constructivas; uso innovador de materiales, ingenio, sostenibilidad, resiliencia y funcionalidad.

Los proyectos ganadores fueron anunciados el 24 de octubre de 2022 durante la Gala de los Reconocimientos a la Excelencia en la Construcción con Concreto ACI durante la Convención de otoño 2022 en Dallas, TX, EE. UU. NEU: El Centro de Excelencia ACI para la promoción de Concreto Carbono Neutral, fue el principal patrocinador del evento. Los proyectos ganadores fueron:



## Museo Chau Chak Wing, Sídney, NSW, Australia

Nominado por: Instituto del Concreto de Australia (CIA)

Propietario: La Universidad de Sídney

Estudio de Arquitectura: JPW

Empresa de Ingeniería: Northrop Consulting Engineers

Contratista General: FDC Construction (NSW) Pty Ltd.

Contratista de Concreto: Azzurri Concrete

Proveedor de Concreto: Boral Limited

Tecnología del Concreto: Mahaffey Associates

Fecha de Terminación del proyecto: 8 de enero de 2021

Tamaño del Proyecto: Seis pisos con 7,740 m<sup>2</sup> (83,310 ft<sup>2</sup>) de espacio en piso.

Su principal característica es una caja flotante que tiene 52 m (170 pies) de largo, 34 m (112 ft) de ancho y 9 m (30 ft) de altura, con una viga en voladizo de 14 m (46 ft)

Volumen Utilizado de Concreto: 6,000 m<sup>3</sup> (7,850 yd<sup>3</sup>)

Duración del Trabajo de Construcción: 20 meses

Premio General a la Excelencia y Primer Lugar en la categoría de Estructuras de Mediana Altura:

El Museo Chau Chak Wing de la Universidad de Sídney es la culminación de años de planeación estratégica que consolida las colecciones de arte Nicholson, Macleay, Power y University de la propia Universidad, y exhibe algunas de las colecciones de arte más importantes de Australia tales como artefactos artísticos, científicos y arqueológicos. La construcción del museo requirió de una gran excavación y la construcción de un edificio de seis niveles, incluyendo un nivel de planta y dos niveles de sótano. La elección del concreto como material de construcción fue simple. Permitted que la estructura y el revestimiento fueran uno, lo que hizo que la ingeniería fuera eficiente y la construcción aparentemente sencilla.

Se idearon y adoptaron numerosas técnicas de construcción innovadoras y a la medida para crear el elemento más llamativo del museo: la "Gran Caja" de concreto flotante situada sobre su podio de vidrio y piedra arenisca. La "Caja" es una construcción completamente in situ que tenía limitaciones específicas en términos de juntas de construcción, deflexión y apuntalamiento, para garantizar que se lograra la máxima calidad con reducido agrietamiento y deformaciones. El podio es un conjunto de elementos de concreto cuidadosamente colocados que se prefabricaron fuera de la obra, y la estructura se construyó encima. Todos los aspectos de la construcción de concreto se consideraron cuidadosamente, desde el prototipo, el diseño de la mezcla de concreto, los detalles de la armadura y el postensado, así como las estrategias y procesos de bombeo.



### **Estructuras de Baja Altura: Primer Lugar:**

Bodega Chai Château Haut-Bailly Winery, Léognan, Gironde, Francia

Nominado por: Capítulo de ACI París

Propietario: (SAS) Château Haut-Bailly

Estudio de Arquitectura: Agence Romeo Architecture

Empresa de Ingeniería: Cap Ingelec

Contratista General: Spie Batignolles Sud-Ouest

Arquitecto Paisajista: D&H Paysages

Ingeniero Asociado (estructura): TECHNIB

Empresa de Inspección: Bureau Veritas Construction

El renovado edificio de la bodega del Château Haut-Bailly ha permitido conservar el patrimonio de los edificios existentes y ha combinado el paisaje de viñedos y jardines de la finca. El nuevo complejo alberga tanto las instalaciones vitivinícolas, como las áreas de añejamiento y almacén.

Se afrontaron tres grandes retos:

- Integrar el nuevo edificio moderno en su paisaje, encajar en la continuidad volumétrica existente y la compleja disposición, conservando al mismo tiempo la imagen central del Château. Sin embargo, el aspecto funcional del edificio requería grandes volúmenes de espacio. Esto condujo a un edificio circular que integraba un paisaje ascendente.

- Garantizar la eficacia estructural de la bóveda de 38m (125 ft) de luz, que domina la sala de barricas, a una altura de 8.8m. (29 ft.) sin postes, y que soporta un jardín colgante de 2,400 m<sup>2</sup> (25,830 ft<sup>2</sup>). El uso del concreto hace posible esta hazaña arquitectónica, y

- Gestionar el enfoque del espacio abierto, el flujo de visitantes y la experiencia sensorial. El proyecto se organiza en torno a una sala de barricas que permite una integración optimizada del movimiento logístico. Al descubrir la bodega desde la parte superior de la recepción, el visitante contempla la zona de la recepción de la cosecha de uvas desde un puente peatonal; luego, al llegar a la sala de barricas percibe físicamente la expansión de la sala y al pasar entre las barricas la reducción del espacio.



### **Estructuras de Baja Altura: Segundo Lugar.**

Complejo Acuático de Brossard, Brossard, QC, Canadá

Nominado por: Capítulo de ACI Québec y Ontario Oriental

Propietario: Ciudad de Brossard

Estudio de Arquitectura: Héloïse Thibodeau architecte y

Consorcio de Arquitectura PRISME

Empresa de Ingeniería: CIMA

Contratista General: EBC

Contratista de Concreto: Fox Construction

Proveedor de Concreto: Lafarge Canadá

Proveedor e Instalador de Acero de Refuerzo: Acier AGF Inc.

Director del Departamento Acuático (Ciudad de Brossard): Éric Leuenberger.

Este centro polivalente cuenta con dos piscinas cubiertas: una de competición de 50 m (164 ft) con plataformas de concreto de gran altura, y una piscina recreativa con cinco carriles, fuentes de agua y un tobogán. La piscina para competencias cuenta con asientos de estadio de concreto armado, apoyados en vigas de también concreto armado que están en voladizo hasta 2.3 m (7.5 ft), lo que hace que la zona de asientos parezca flotar.

Para garantizar un acabado homogéneo en las plataformas de salto, la mezcla de concreto incluía un tamaño máximo de agregado de 14 mm (0.6 in.), y en la cimbra se incluyó un revestimiento textil. Para construir las plataformas y sus largos voladizos por encima de la sección profunda de la piscina, se extendieron puntales desde el fondo de la piscina a una estructura de soporte hecha a medida que seguía los arcos de los voladizos. Se utilizó concreto armado para los cimientos, la planta baja y la estructura del segundo piso del espacio adyacente a la piscina. La estructura de la segunda planta consiste en una losa unidireccional apoyada en vigas de hormigón armado. En el perímetro del edificio, la estructura de acero de la cubierta se apoya en pilares de acero anclados en vigas de concreto armado que están en voladizo a 2 m. (6.6 ft) más allá de los pilares de concreto armado. En una esquina del edificio, la estructura de la segunda planta sobresale 5.4 m (18 ft) por encima del nivel del suelo, creando un elemento arquitectónico distintivo en la fachada.



## Estructuras de Mediana Altura: Segundo Lugar

Complejo de Operaciones de Agua de Denver - Edificio de Administración, Denver, CO, EE.UU.

Nominado por: Capítulo de ACI Rocky Mountain

Propietario: Denver Water

Estudio de Arquitectura: Stantec

Empresa de Ingeniería: KL&A Engineers and Builders

Contratista General: Mortenson

Proveedor de Concreto: Martin Marietta Materials

El Edificio de Administración del Agua de Denver es parte de un proyecto de 4 años de duración que demolió 15 edificios ineficientes/obsoletos, se renovaron dos y se construyeron siete estructuras nuevas. El Edificio de Administración se encuentra en la última fase de la reurbanización, y fue terminada a finales de 2019. El edificio tiene seis niveles y 196,000 ft<sup>2</sup> (18,200 m<sup>2</sup>), construidos de concreto estructural postensado (PT). Las losas de concreto aparente con textura sirven como elemento principal de calefacción y refrigeración al irradiar agua fría en verano y agua caliente en invierno. En el momento de la construcción, se sabía que esta era la única estructura en los Estados Unidos con este diseño. Las losas estructurales tienen un grosor de 9 in. (230 mm) con tubos radiantes de 5/8 in. (16 mm) en el centro de 6 in. (152 mm) barras de refuerzo de 3/8 in. (9.5 mm) en ambas direcciones, cables de postensado en ambas direcciones y conductos eléctricos de 1 in. (25 mm) dentro de la losa. La estructura requería una junta de dilatación de 4 in. (102 mm) y dos curvas de 22.5 grados en las que deben superponerse todos los sistemas. Mortenson construyó el edificio sin que se produjeran accidentes que representaran bajas laborales; 10,616 yd<sup>3</sup> (8,120 m<sup>3</sup>) de concreto; 8,356 ton. (7,580 toneladas métricas) de acero de refuerzo; 2,355 tiras de pernos; y 391,764 ft (119,410 m) de cables o tendones de postensado. Además, el proyecto recibió la certificación LEED Platino.



## **Estructuras de Gran Altura: Primer Lugar.**

100 Above the Park, St. Louis, MO, USA

Nominado por: Capítulo de ACI Missouri

Propietario: Mac Properties

Estudio de Arquitectura: Studio Gang

Empresa de Ingeniería: Magnusson Klemencic Associates

Contratista General: Clayco

Contratista de Concreto: Concrete Strategies, LLC

Proveedor de Concreto: Kienstra Co.

One Hundred Above the Park es una torre residencial de 36 pisos con 316 departamentos y que está situada en la esquina noreste del histórico Forest Park de St. Louis Missouri. La torre One Hundred es una referencia audaz en el horizonte de la ciudad, con una geometría única y una fachada de muro cortina inclinada diseñada por Jeanne Gang y Studio Gang de arquitectura. La fachada inclinada se construyó con placas en forma de hojas con bordes dentados y ángulos en todo el perímetro. Cada piso subsiguiente se escalona hacia el exterior en una serie de niveles apilados de cuatro y cinco pisos que forman la pendiente del muro cortina exterior, el último piso de cada hilera crea un balcón para el primer piso de la hilera siguiente.

El diseño visionario se logró utilizando una estructura de concreto postensado y un núcleo central para soportar los pisos en voladizo de cada nivel. La geometría de cada piso permite vistas multidireccionales y abundante luz natural a través de una esquina de 90 grados en cada salón. La fachada inclinada reduce el calor del sol y favorece las impresionantes vistas de Forest Park y The Gateway Arch. El edificio también ofrece espacio comercial en la planta baja, estacionamiento cerrado, una planta de servicios con un gimnasio, terraza y una piscina.



## Estructuras de Gran Altura: Segundo Lugar.

Plaza Faria Lima, São Paulo, Brasil

Nominado por: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)

Propietarios: VR Assessoria de Investimentos Ltda. Y HSI - Hemisfério Sul Investimentos

Estudio de Arquitectura: Kohn Pedersen Fox Associates (KPF)

Empresa de Ingeniería: Constructora Fonseca & Mercadante

Contratista General: VR Asesoría de Investimentos Ltda.

Contratista de Concreto: Constructora Fonseca & Mercadante

Proveedor de Concreto: Votorantim Cimentos S.A. - Engemix

Empresa de Diseño Estructural: Pasqua e Graziano Asociados

Empresa consultora de Concreto: DESEK

El edificio Faria Lima Plaza tiene una altura aproximada de 110 m (360 ft.) y tiene columnas inclinadas. El concepto arquitectónico se basa en dos formas que se entrelazan entre sí de forma dinámica. La audaz arquitectura requirió ingeniería de alto nivel para su exitosa construcción, teniendo en cuenta no sólo los desafíos técnicos del proyecto sino también las dificultades logísticas de construir un edificio de este tamaño en una zona muy transitada de São Paulo.

El edificio también obtuvo la precertificación LEED Gold, confirmándose como una estructura sostenible, eficiente y económica. La optimización de los diseños de las mezclas con una reducción del contenido de cemento también contribuyó a lograr una construcción más sostenible. La solución estructural para los cimientos requirió de la construcción de una zapata combinada, con un volumen de 1,400 m<sup>3</sup> (1,830yd<sup>3</sup>) de concreto y 3m (10 ft) de altura; estudios térmicos detallados definieron el plan de colocación del concreto así como los niveles de pre-enfriamiento para el concreto fresco. Los pilares inclinados diseñados por el arquitecto hicieron necesaria la realización de varias pruebas de concreto incluyendo pruebas de contracción a largo plazo (Creep test) para diferentes diseños de mezclas de concreto. No se tiene constancia de ningún otro proyecto de construcción en Brasil para el que se haya realizado esta prueba. El Faria Lima Plaza se ha convertido ya en un símbolo entre los numerosos rascacielos de São Paulo.



## Infraestructura: Primer Lugar

SCG-CPAC, Puente de Concreto de ultra alto desempeño, Bang Sue, Bangkok, Tailandia.

Nominado por: Asociación Tailandesa del Concreto (TCA)

Propietario: The Concrete Products and Aggregate Co. (CPAC)

Empresa de Arquitectura e Ingeniería: The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd. (CPAC)/Ingenieros Civiles y Estructurales Co.,Ltd. (CASE)

Contratista General: Channakorn Engineering Co., Ltd.

Contratista y Proveedor de Concreto: The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd. (CPAC)

En 2021, el primer puente de concreto de ultra alto desempeño (UHPC) de Tailandia se construyó en la sede de la empresa SCG en Bangkok. El concepto del diseño arquitectónico era una desafiante forma de arco bajo con una altura limitada en la mitad del claro de no más de 1.25 m (4 ft), mientras que la longitud del claro era de aproximadamente 28 m (92 ft). Dada la pequeña relación entre altura y el claro, la cimentación de ambos lados tenía que soportar fuerzas laterales muy elevadas debido a la acción de coceo del arco. Para superar las barreras arquitectónicas y de ingeniería, el puente de arco arquitectónico se rediseñó utilizando dos vigas curvas en voladizo que se extienden horizontalmente desde cada lado del estribo. Por lo tanto, se eliminaron las fuerzas horizontales que actuaban en ambos pilares. Sin embargo al ser vigas en voladizo tan largas, ambas vigas deben resistir el momento de flexión elevado, mientras que las vigas esbeltas son más deseables desde el punto de vista arquitectónico. El puente se diseñó para soportar una carga viva de  $500 \text{ kgf/m}^2$  ( $100 \text{ lbf/ft}^2$ ). Ambas vigas tenían una forma cónica (se reducen hacia el centro), donde el grosor mínimo en el extremo era de 0.30 m (1 ft). Para maximizar la capacidad de soportar el momento, para la fabricación de las vigas se usó concreto de ultra alto desempeño SCG-UHPC con 150 MPa (21,755 psi) de resistencia a la compresión y con alta capacidad para resistir esfuerzos de tensión y de cortante. En la mezcla, se utilizó un aditivo reductor de agua de alto desempeño a base de éter de policarboxilato, el cual fue desarrollado por el Centro de Investigación e Innovación de SCG Cement.



## Infraestructura: Segundo Lugar

Puente Rose Fitzgerald Kennedy, New Ross, Wexford, Irlanda

Nominado por: Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)

Propietario: Transport Infrastructure Ireland (TII)

Empresa de Arquitectura: Mott MacDonald y Yee Associates

Empresa de Ingeniería: Diseño Conceptual, Mott MacDonald;

Diseño Detallado, Carlos Fernández Casado S.L.

Contratista General: BAM Civil Limited y Dragados Ireland Limited

Contratista y Proveedor de Concreto: Roadstone

Diseño de Ingeniería: Diseño Conceptual, Mott MacDonald; Diseño Detallado,

Carlos Fernández Casado S.L., y ARUP

Asesor Técnico de la Autoridad: Mott MacDonald

Contratistas: BAM Civil Limited y Dragados Ireland Limited

Empresa Concesionaria/Sociedad Público-Privada: New Ross N25 By-Pass

D.A.C. (Iridium Concesiones de Infraestructuras, S.A., e Invesis Ireland Ltd.)

El puente Rose Fitzgerald Kennedy (RFK) sobre el río Barrow, de 887 m (2910 ft) de longitud y nueve claros, incluye un puente de tres torres con dos claros principales iguales de 230 m (755 ft) de longitud. La estructura es impresionante por su escala y esbeltez. Posee varios récords, entre ellos el de los claros extrapolados de concreto más largos del mundo y durante su construcción, el de los voladizos en equilibrio más largos para tableros de concreto extradosados así como de los puentes extradosados de concreto más largos del mundo. Las tres torres tienen alturas diferentes, la torre central es ligeramente más alta con 27 m (89 ft) de altura y solamente 16 m (52 ft) las laterales, mientras que el tablero tiene una esbeltez de  $L/65$  en la mitad del claro,  $L/35$  en las torres laterales y  $L/27$  en el soporte central. Proporcionado a la proporción áurea en altura y distribución de claros, con un único plano central de cables, realmente poco profundo en una disposición de arpa con un número de cables proporcional a la torre, el puente se funde con el suave paisaje de colinas. El tablero, una caja única con apariencia de sección transversal cerrada que combina elementos de fundición in situ y prefabricados, diseñado conscientemente como un tablero completo de concreto para minimizar el mantenimiento, soporta una autopista doble y garantiza la seguridad del tráfico fluvial de barcos que cruzan el río con una altura libre de 36 m (118 ft).



## Reparación y Restauración: Primer Lugar

La Corniche Kennedy, Marsella, Francia

Nominado por: Capítulo de ACI París

Propietario: Métropole Aix Marseille Provence (MAMP)

Estudio de Arquitectura: André Mascarelli Architecte

Empresa Principal de Ingeniería: setec tpi

Empresas Co-contratantes de Ingeniería: setec diadès, setec organisation.

Contratista General Principal (fase 1): Bouygues Travaux Publics

Regiones de Francia

Co-contratista General (fase 1): COREXCO

Contratista General Principal (fases 2 a 4): Eiffage Génie Civil

Contratistas generales co-contratantes (fases 2 a 4): GTM SUD, Freyssinet y Colas

Contratista de Concreto (Concreto Reforzado con Fibras de Ultra Alto Rendimiento [UHPFRC]; fase 1): InnoBéton

Contratista de Concreto (UHPFRC y losas; fases 2 a 4): Méditerranée Préfabrication

Proveedor de Concreto (fases 1 a 4): CEMEX

Control Externo: Ginger CEBTP

La Corniche Kennedy es una carretera emblemática que corre a lo largo del mar Mediterráneo. Se amplió en la década de 1960 para crear un paseo peatonal de 1.7 km (1 milla) en voladizo sobre el mar. Rebautizada como Corniche du Président John Fitzgerald Kennedy en 1963, la estructura está formada por 384 ménsulas ancladas en un muro de contención o en estructuras transversales, espaciadas cada 4 m (13 ft), sobre las que se apoyan las losas. La superestructura consta de dos aceras separadas por un banco, conocido como "el más largo del mundo", y un parapeto. Después de 60 años de exposición a la brisa y niebla marina, así como a la salpicadura de las olas, muchas secciones estaban deterioradas. El propietario, Métropole Aix Marseille Provence, emprendió una gran operación de rehabilitación. Como la estructura está situada cerca del Marégraphe, un monumento emblemático y protegido, los nuevos bancos y parapetos se diseñaron de acuerdo con el arquitecto de la oficina de edificación de Francia. Se realizaron restauraciones arquitectónicas específicas en las formas del parapeto. Dada la ubicación de la estructura entre vías de tráfico intenso y el mar y las rocas por el otro, se requirió de la adaptación de la carretera de acceso y el desarrollo de un carril adicional como acotamiento. Se utilizaron medios especiales de acceso: una plataforma rodante de baja altura, andamiaje anclado a los muros de contención y un camión bajo con grúa especializada. Tras cuatro fases de trabajo que comenzaron en 2018, la Corniche Kennedy se reabrió al público en la primavera de 2022.



## Reparación y Restauración: Segundo Lugar

Mercato di Corso Sardegna, Génova, Italia

Nominado por: Capítulo de ACI Italia

Propietario: Mercato di Corso Sardegna

Estudio de Arquitectura: Dodi Moss S.r.l.

Empresa de Ingeniería: Molfino e Longo

GenovaProgetti

Contratista General: Cosmo Costruzioni Moderne

Proveedor de Materiales de Restauración y Refuerzo: Kerakoll SpA

El objetivo del proyecto era restaurar y reutilizar el mercado de frutas y verduras de Génova, situado en Corso Sardegna el cual ocupa una superficie de 23,000 m<sup>2</sup> (247,570 ft<sup>2</sup>). El mercado se construyó en 1926 con una superficie rectangular y en su perímetro edificios para en almacenes, pórticos y marquesinas para la exposición de las mercancías. Algunos de estos edificios están sujetos a restricciones por ser considerados monumentos históricos. Durante el desarrollo del proyecto se mantuvo parte de los edificios protegidos como patrimonio histórico, concretamente las áreas perimetrales y los edificios catalogados. Cuatro edificios existentes fueron demolidos para crear un nuevo parque urbano. El objetivo del proyecto de restauración de los edificios históricos existentes era mantener la imagen del espacio del mercado, preservar la integridad material de las superficies y la unidad del conjunto, así como restaurar todos los edificios. El nuevo parque urbano favorece la mezcla de funcionalidades y usuarios, así como la comodidad de los espacios y el mobiliario. Un nuevo techo de cristal se extiende sobre una parte de los espacios públicos, aumentando la comodidad de los peatones durante el invierno.



### **Decorativo: Primer Lugar.**

Aquatic Gallery, Ahmedabad, Gujarat, India

Nominado por: Capítulo de ACI India

Propietario: Consejo de la Ciudad de la Ciencia de Gujarat

Estudio de Arquitectura: INI Design Studio Pvt. Ltd.

Empresa de Ingeniería: Ducon Consultants Private Limited

Contratista General y de Concreto: Shapoorji Pallonji and Company Private Limited (SPCPL)

Consultor de Gestión de Proyectos: Ernst & Young Global Limited

Empresa Conjunta de Construcción para las Obras Acuáticas:

Marinescape India Private Limited (MSIPL)

La Galería Acuática, el mayor acuario público de la India, forma parte del campus de la Ciudad de la Ciencia, y combina la ciencia, y la educación con el entretenimiento. El edificio, diseñado como un concha o caparazón, simboliza la vida acuática. La estructura del marco del edificio es totalmente de concreto, excepto la viga del techo del atrio central. El Acuario con paredes cónicas de concreto armado aparente, están inclinadas a 80.5 grados con alturas que varían 9.4 a 13.9 m (31 a 46 ft), forma una estructura en forma de concha.

Distribuida en cuatro pisos, la Galería alberga 72 tanques de exhibición. El edificio está formado por muros de concreto armado de color con acabados de clase F3. Está dividido en siete segmentos y cada segmento está rematado con una losa inclinada con todas las esquinas a diferentes alturas. El diseño geométrico de la estructura de concreto reforzado implicó un mayor consumo de material para cimbras y un mayor esfuerzo de mano de obra. Los muros tenían muchas ranuras horizontales y verticales que planteaban retos en el diseño de las cimbras y durante la colocación del concreto. Los pilares circulares de concreto fueron colados con el uso de cimbras plásticas, y los muros curvos de concreto con cimbras de aluminio hechas a la medida. El proyecto incluía gran cantidad de acabados arquitectónicos de alta calidad, que requerían una cuidadosa atención de los detalles así como una ejecución meticulosa para lograr los terminados definidos. SPCPL utilizó el modelo de información de construcción (BIM) para visualizar los detalles del diseño para evitar conflictos entre los distintos servicios y coordinar la elaboración de los planos de taller.



## **Decorativo: Segundo Lugar**

Hollywood Park, Edificio de Medios de Comunicación de la NFL en Inglewood, Ca. EE.UU.

Nominado por: Capítulo de ACI del Sur de California

Propietario: Hollywood Park

Estudio de Arquitectura: Gensler

Empresa de Ingeniería: Saiful Bouquet Structural Engineers

Contratista General: Pankow Builders

Contratista de Concreto: Shaw & Sons

Proveedor de Concreto: A&A Ready Mixed Concrete, Inc.; Catalina Pacifico

Contratista de GFRC y prefabricados: Willis Construction Co. Inc.

Contratista de Cimbras: San-Mar Construction

Contratista de Colocación: Superior Gunite; J.J. Fetalvero

Director de Desarrollo: Wilson Meany

El Hollywood Park NFL Media es un edificio de oficinas de clase A de 450,000 ft<sup>2</sup> (41,800 m<sup>2</sup>) que consta de una torre de ocho pisos con un ático mecánico de azotea, un sótano parcial y una base de apoyo de dos pisos que incluye un edificio de estudios de gran altura que alberga cinco estudios de radiodifusión. La forma del edificio de oficinas se deriva directamente del carácter único de su entorno dentro del plan maestro de Hollywood Park y de una relación intencionada con el vecino estadio SoFi, el resultado es un paralelogramo sesgado compuesto por dos fachadas elegantemente curvadas que culminan en dos ángulos del edificio. La masa superior de la torre está definida por una envoltura blanca de concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC) con aberturas repetitivas que proporcionan vistas uniformes y luz natural. El entramado se ve reforzado por ventanas curvas y balcones acristalados estratégicamente incrustados en la masa monolítica del (GFRC).

Debajo de los entramados de (GFRC) hay un zócalo de concreto lanzado de color gris oscuro que, al ser más sólido, refleja las reducciones en las necesidades de luz diurna para las funciones del grupo de estaciones de radio y televisión en su interior. La base de concreto arquitectónico envuelve toda la fachada para servir de zócalo sobre la cual que se asienta ligeramente la masa blanca de arriba. La fachada noreste cuenta con una ventana en forma de cinta que se extiende varios cientos de metros que ofrece vistas sin obstáculos del estadio y de la Gameday Plaza.



## Superficies Planas: Primer Lugar

Instalaciones del Campo y Pista de Pruebas del MSPT, Tiruvannamalai, Tamil Nadu, India.

Nominado por: Capítulo de ACI de la India

Propietario: Mahindra & Mahindra Ltd.

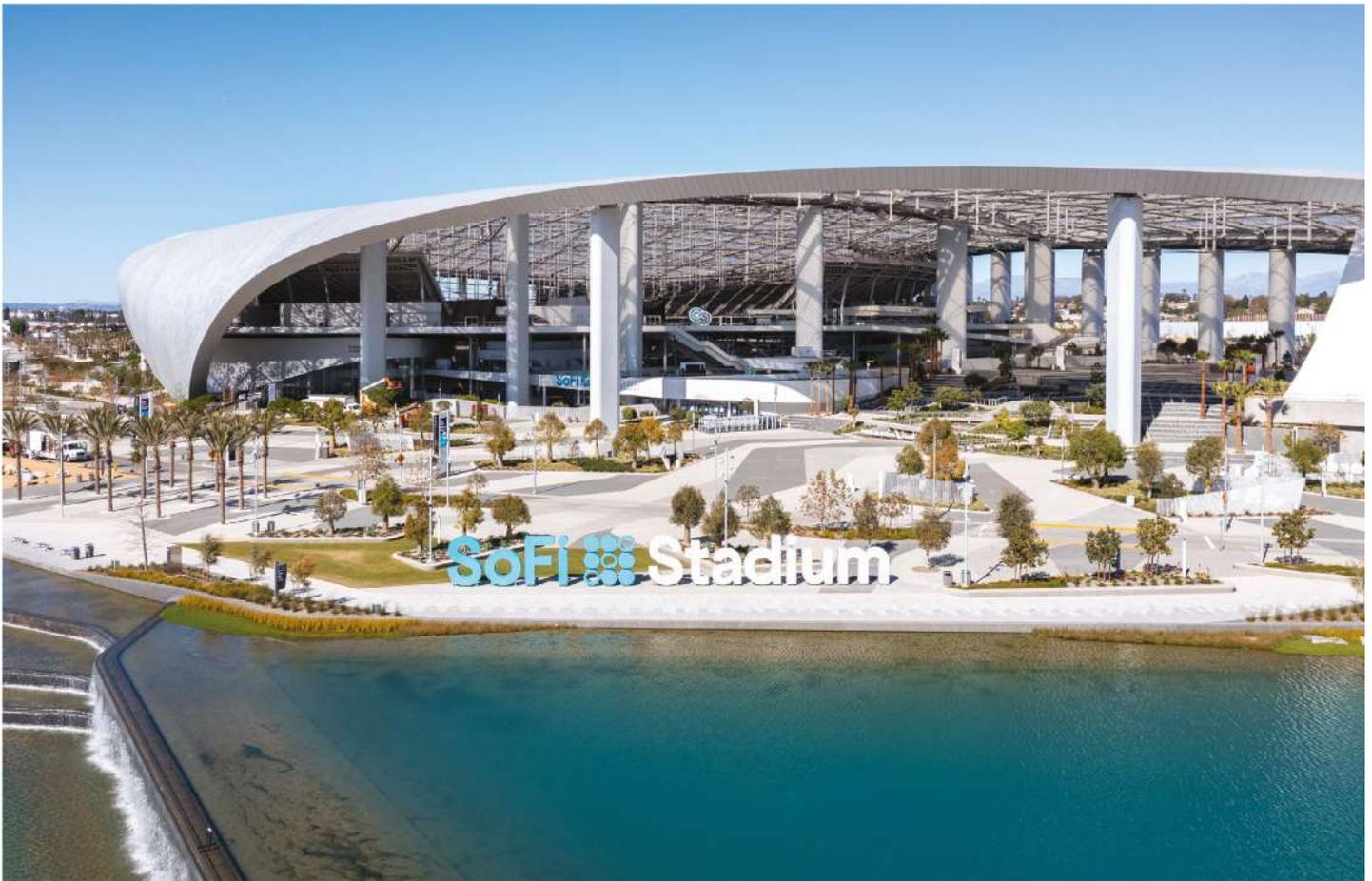
Estudio de Arquitectura: IDIADA

Empresa de Ingeniería: Intercontinental Consultants & Technocrats Pvt. Ltd.

Contratista General: Larsen & Toubro Ltd.

Contratista y Proveedor de Concreto: Larsen & Toubro Ltd.

La empresa independiente Buildings & Factories de Larsen & Toubro construyó una instalación de pruebas para vehículos, única en su género. El pavimento parabólico de alta velocidad (pavimento segmentado), con curvaturas de hasta 44.6 grados, está diseñado para una velocidad de cruce de 220 km/h (137 mph). Mientras se ajusta a las estrictas tolerancias de superficie usando tecnología propia para el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad y calidad de la iniciativa "Make in India", el proyecto marca un nuevo hito en la historia de la industria del automovilismo, y establece un nuevo punto de referencia para la industria automotriz, así como para el propietario Mahindra & Mahindra (M&M). Tiene dieciséis pistas con una longitud total de 44.56 km (28 millas) e incluye 58 tipos de superficies diferentes y especializadas, diseñadas para experimentos científicos y para la prueba de una amplia gama de productos automotrices. Las superficies de las pistas tienen varios coeficientes de fricción  $\mu$  entre 0.15 y 0.9 con diversas superficies como basalto, cerámica, asfalto de alta fricción y concreto pulido. Existen 28 perfiles diferentes, como los adoquines Belgas, baches, ondulaciones largas, generadores de torsión en la pista, piso de lavadero, adoquín, corrugados y espina de pez, que permiten a los fabricantes decidir sus propios ensayos de equipos entre una gama de opciones. Una pista de aventura "4 x 4" pone a prueba la capacidad todoterreno de los vehículos. También hay una pista de concreto de forma ovalada para pruebas de rendimiento de tractores y de conducción autónoma, así como instalaciones para prueba con agua que incluyen agua dulce y agua salada, simulación de lluvia y salpicaduras de agua para simular diferentes condiciones ambientales tropicales.



## Superficies Planas: Segundo Lugar

Estadio SoFi, Inglewood, CA, EE.UU.

Nominado por: Capítulo de ACI del Sur de California.

Propietario: Hollywood Park

Estudio de Arquitectura: HKS Inc.

Empresa de Ingeniería: Walter P Moore and Associates, Inc.

Contratista General: Turner-AECOM Hunt (empresa conjunta)

Contratista de Concreto: Trademark Concrete Systems, Inc.

Proveedor de Concreto: Catalina Pacific

El tamaño de este proyecto es notable. Nunca se había desarrollado nada tan grande en el mercado del concreto decorativo de Los Ángeles, con más de 720,000 ft<sup>2</sup> (66,890 m<sup>2</sup>) de pavimento decorativo. Todo en este proyecto está en otra escala de construcción con concreto decorativo, incluyendo la colocación día a día de 300 yd<sup>3</sup> (229 m<sup>3</sup>) de forma consecutiva, manteniendo los mismos acabados de las superficies con retardantes de manera consistente. La estructura de la cubierta del estadio se ancla al suelo en tres puntos del recinto llamados “los pilares”; en cada “pilar” la empresa Trademark construyó muros únicos de 14 ft (4 m) con inclinaciones de 11 a 39 grados y con un acabados aparentes logrados con retardantes. La mayor parte de los elementos verticales de la obra no consistían en una cara vertical de 90 grados, por lo que para la mayoría de los muros se utilizaron moldes de espuma cortada a medida para conseguir las formas y radios de curvatura únicos para cada caso. Los bordes de las butacas pasaron de 6 in. (152 mm) a alcanzar 18 in (457 mm) de altura mediante elementos de espuma que consiguieron la transición de las cimbras, conservando siempre los acabados de la superficie mediante el uso de retardadores. Todas las paredes verticales de la obra tienen acabados aparentes logrados con retardantes en la superficie, lo que significa que cada pared tuvo que ser descimbrada y acabada a mano para lograr los acabados especificados por el equipo de diseño y para lo cual los “acabadores” de la empresa Trademark dedicaron más de 2,400 horas para detallar los elementos del sitio.

## Presentar una candidatura

Si está interesado en nominar un proyecto para los Reconocimientos a la Excelencia de la Construcción con Concreto ACI para el 2023, la fecha límite de presentación de las propuestas es el 29 de abril de 2023. Los Capítulos de ACI y los socios internacionales pueden nominar un proyecto en cada una de las siete categorías de premios. Los propietarios y los miembros del equipo del proyecto también pueden auto-nominarse mediante el pago de la cuota correspondiente. La oportunidad de patrocinio está disponible.

Visite [www.ACIExcellence.org](http://www.ACIExcellence.org) para obtener más información.

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

*Título: Ganadores de la octava edición reconocimientos a la excelencia en la construcción con concreto del ACI*



*Traductor:  
Lic. Ana Durán Herrera*



*Revisor Técnico:  
Ing. José Lozano  
y Ruy Sánchez*

## Concreto Preguntas y Respuestas: Cargas de diseño para techos de vigueta de concreto

P

*Estoy trabajando en la remodelación de un edificio que tiene losas de viguetas de concreto. El edificio data de la década de 1930. Las viguetas de concreto son de 10-1/2 pulgadas (267 mm) de peralte con una losa de 2-1/2 pulgadas (64 mm) y están espaciadas a 25 pulgadas (635 mm) en el centro. Tienen una barra de refuerzo inferior que es continua y otra barra que está en la parte inferior a la mitad del tramo y se dobla para crear barras de refuerzo superiores en los apoyos. Las viguetas también parecen ensancharse en el plano cerca de los apoyos. He estado buscando en línea, sin tener éxito, tablas de carga para viguetas de techo. ¿Cuenta ACI con publicaciones históricas en las que aparezcan las cargas de diseño para losas de concreto con de vigueta?*

R

Los edificios históricos son un reto interesante. Desafortunadamente, ACI no publica tablas de carga; no obstante, algunos desarrolladores de sistemas de propietarios publicaron sus propias tablas de carga. Estas tablas de carga son específicas para sus sistemas, pero le darán un indicio de las cargas de diseño que se utilizaron en la década de 1930. Para obtener un ejemplo de un sistema propietario y de las tablas de carga, puede consultar Builders Handbook.<sup>1</sup> El manual incluye un sistema antiguo que utilizaba recubrimientos de ladrillo de arcilla como cimbras para un sistema de viguetas que fue popular en la década de 1930.

También puede verificar el código de construcción local de la jurisdicción en la que esté ubicada la estructura. En el Código ACI 1936,<sup>2</sup> existe una redacción que le señala al usuario el código de construcción general. En la versión de 1927 no se incluye la misma

redacción,<sup>3</sup> así es que esta debe haber sido la época en la que los códigos locales estaban empezando a ejercer control sobre las cargas. Las copias de los códigos ACI históricos y especificaciones están disponibles con una suscripción a ACI Collection of Concrete Codes, Specifications and Practices [Colección de ACI de Códigos, Especificaciones y Prácticas de Concreto] ([www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=COLOL&Format=SUBSCRIPTION&Language=English&Units=US\\_Units](http://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=COLOL&Format=SUBSCRIPTION&Language=English&Units=US_Units)).

# Concreto Preguntas y Respuestas: Concreto y vida de servicio del diseño

P

*Con respecto a la cubierta de concreto, por ejemplo, Tabla 20.5.1.3.1 en ACI 318-19,<sup>1</sup> ¿cuál es la vida del diseño supuesta o anticipada de la estructura a la que se le dan estos valores: 30, 50 ó 100 años? Para nosotros es importante entender esto desde la perspectiva de la durabilidad en caso de que estos valores no cubran la vida de diseño requerida de los miembros de concreto en nuestro diseño del proyecto, que necesita ser para 120 años.*

R

ACI 318-19 no considera una vida de diseño específico, tampoco el cumplimiento de las disposiciones del Código, significa que una estructura tendrá una vida de servicio especificada. Hay varias razones para el silencio del Código respecto a este asunto, estas están relacionadas ya sea con su desarrollo histórico o con el propósito principal del Código el cual es abordar los problemas de seguridad personal, que no incluyen durabilidad y vida de servicio. Algunas de las limitaciones de ACI 318 respecto a una vida de servicio específica son: 1) no se proporciona una definición del final de la vida de servicio; 2) el agrietamiento no se caracteriza; y lo más importante, 3) las categorías de exposición son amplias.

La vida de servicio anticipada no puede definirse sino hasta que acuerde usted los tipos de eventos que indiquen su fin. Somerville<sup>2</sup> proporciona tres definiciones para el final de la vida de servicio: técnica, funcional y económica; no obstante, la que más corresponde a esta disertación es la técnica. Todavía hay opciones que necesitan definirse para el final de la vida de servicio; por ejemplo, ¿es cuando inicia la corrosión o cuando hay suficiente daño que requiera reparaciones o puede ajustarse cierto nivel de reparaciones?

Aunque hay disposiciones en ACI 318-19 para mantener el agrietamiento a un nivel “aceptable”, no se define la cantidad de agrietamiento y no se proporcionan límites respecto al ancho o densidad de las grietas. Las diferentes estructuras tendrán distintos niveles de agrietamiento y éstos no se explican en los requerimientos incluidos en ACI 318-19.

Más importante aún, ACI 318-19 sólo cuenta con categorías de exposición limitadas en las que encajan todas las estructuras. Por ejemplo, todas las estructuras que estén expuestas a cloruros se encuentran en Exposición Clase C2. Éstas incluyen estructuras de estacionamientos en ambientes de deshielo, edificios en la costa de Florida expuestos a aerosoles de sal y muelles o embarcaderos en el Océano Atlántico en Maine. Los requerimientos para estas tres estructuras son las mismas, aunque la agresividad del ambiente es diferente.

Para determinar si un proyecto específico cumple con una vida de servicio deseada, es necesario llevar a cabo una evaluación separada del diseño de durabilidad y de la vida de servicio. El diseñador de durabilidad brindaría asistencia para determinar el final de la vida de servicio que sea aceptable para el propietario, caracterizará el ambiente y los mecanismos de deterioro anticipados y después establecerá los requerimientos de

desempeño adicionales que deberán cumplirse para obtener la vida de servicio objetivo. Este proceso se está haciendo común en grandes proyectos de infraestructura y hay consultores especialistas que pueden brindar estos servicios.

Con respecto a los documentos de ACI, los procedimientos que pueden utilizarse en las etapas de diseño y construcción para incrementar la vida de servicio de estructuras nuevas, así como información sobre la aplicación de métodos y herramientas disponibles para predecir la vida de servicio de estructuras existentes, se proporcionan en ACI 365-1R-17, "Reporte sobre Predicción de Vida de Servicio."<sup>3</sup>

## Referencias

- 1.1 "Builders Handbook of NATCO Hollow Tile Construction," National Fire Proofing Company, Pittsburgh, PA 1916, 31 pp., <https://archive.org/details/NationalFireProofingCopmany1916/mode/2up>.
- 1.2 ACI Committee 501, "Building Regulations for Reinforced Concrete (ACI 501-36T)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1936, 38 pp.
- 1.3. ACI Committee E-1, "Reinforced Concrete Building Design and Specifications (ACI E-1A-27T)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1927, 35pp.
  
- 2.1 ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
- 2.2 Somerville, G., "Service Life Prediction – An Overview," Concrete International, V. 14, No. 11, Nov. 1992, pp. 45-49.
- 2.3 ACI Committee 365, "Report on Service Life Prediction (ACI 365.1R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 56 pp.

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

*Título: Concreto Preguntas y Respuestas: Cargas de diseño para techos de viga de concreto / Concreto y vida de servicio del diseño*



*Traductor:*

*Lic. Ana Patricia García Medina*

*Revisor Técnico:*

*M.I. Sergio Valdes Constantino*

# La introducción al refuerzo de alta resistencia

*Vista previa del PBWD y el concreto  
por Jonathan Hurff e Ian McFarlane*

En el 2014, la Fundación ACI unió fuerzas con la Fundación Charles Pankow y otras organizaciones de la industria a fin de financiar la investigación necesaria para introducir una nueva tecnología a los códigos: El refuerzo de alta resistencia. La iniciativa de esta investigación fue apoyada por la Fundación ACI —una subsidiaria de propiedad absoluta del Instituto Americano del Concreto que invierte en investigación, innovación y becas con la finalidad de avanzar en la industria del concreto—y sus tres consejos: El Consejo de Investigación del Concreto, El Consejo del Innovación del Concreto y el Consejo de becas. Este artículo explica cómo la iniciativa se extendió por todo el sector del concreto armado para traer cambios significativos al ACI 318, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.”

A medida que los edificios crecen en altitud y se les exigen resistir fuerzas sísmicas más altas, el uso del refuerzo de alta resistencia parece ser una solución natural. Después de casi 50 años limitando la resistencia a la fluencia de refuerzo a Grado 60 en aplicaciones sísmicas y Grado 80 en general, el ACI 318-19, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural,”<sup>1</sup> incrementó los límites en las resistencias especificadas. La última actualización notable asociada con la resistencia de barras de reforzamiento fue realizada en 1971.<sup>2</sup>

“Este fue un paso generacional—un avance en la industria de gran impacto que hará una enorme diferencia en la construcción de edificios,” dijo Jack Moehle, FACI, quien se desempeñó como Presidente del Comité ACI 318, Reglamento de construcción para Concreto Estructural, para el período de normas 2019.

La norma del 2019 ahora permite un refuerzo de Grado 100 para algunos sistemas sísmicos especiales y ya no admite el uso de barras de reforzamiento de Grado 40 para el refuerzo de flexión en aplicaciones sísmicas. Los muros de corte pueden emplear barras de refuerzo de Grado 60, 80 o 100. Los pórticos resistentes a momentos pueden utilizar Grado 60 u 80.

Estos cambios se deben a una colaboración de investigación en toda la industria entre inversores, investigadores, fabricantes de acero, y los comités de códigos ACI, para los cuales la Fundación ACI aportó una financiación sustancial. La Fundación Charles Pankow (CPF) actuó como principal benefactor y entidad gestora del proyecto, así como otros accionistas destacados incluidos el Instituto de Acero Reforzado en Hormigón (CRSI), el Instituto de Concreto Prefabricado/Pretensado (PCI), y la Fundación Magnusson Klemencic Associates (MKA).

“Esta ha sido una iniciativa increíblemente importante que la Fundación ACI se complace en apoyar,” comentó Ann Masek, Directora Ejecutiva de la Fundación ACI. “Se alinea perfectamente con nuestra misión de realizar inversiones estratégicas en ideas, investigaciones, y personas para crear el futuro de la industria del concreto.”

El esfuerzo de la investigación necesitó de la participación de varios actores de la industria en todo el sector del concreto armado. “El alcance de esta iniciativa fue más grande de lo que una organización podía asumir. Sabíamos que podríamos avanzar más rápido y tener un mayor impacto si uníamos fuerzas y traíamos a todos a la fiesta,” explicó Moehle.

“Encontramos una verdadera superpotencia en colaboración de la industria,” añadió Anne Ellis, Directora Ejecutiva de la CPF, la cual proporciona liderazgo y financiación catalizadora para apoyar la investigación que cambia las reglas del juego en la industria de la arquitectura, la ingeniería, y la construcción (AEC). “Nuestros socios incluyen fabricantes del producto quienes suministran los materiales para las pruebas, así como diseñadores, contratistas, y educadores. Tenemos representantes de todo el ecosistema.” Hasta la fecha, se han completado 15 proyectos de investigación, y se espera que se lancen más como parte del esfuerzo combinado de la industria. Los proyectos completados han demostrado un rendimiento aceptable de los miembros de los sistemas sísmicos especiales reforzados con el refuerzo ASTM A706/A706M de Grado 80 y el refuerzo ASTM A706/A706M equivalente de Grado 100.

## Evaluando la Necesidad

Generalmente, cualquier barra de refuerzo con una resistencia a la fluencia mayor a 60 ksi (414 MPa) es considerada refuerzo de alta resistencia (HSR). Cuando se utiliza acero de mayor resistencia, pueden necesitarse menos barras de refuerzo. Esto se traduce en una menor congestión de barras, la cual posibilita una construcción de hormigón armado más sencilla y eficiente.

Por ejemplo, menos congestión facilita la fabricación de jaulas y la colocación del concreto. Estas mejoras normalmente resultan en pocos defectos y menos repeticiones. Además, cuando se necesita menos material, la mano de obra y los costes se reducen a lo largo de la cadena de suministros y mucho más en la entrega de la estructura.

“El HSR permite construir de forma rentable y más eficiente elementos que estaban siendo difíciles de construir con refuerzos de menor calidad,” explicó Moehle. “En definitiva, tendremos edificios de mayor eficiencia en términos de material empleado. Y eso es importante desde una perspectiva medioambiental.”

Sin embargo, la adopción por parte de la industria de grados de alta resistencia depende de la normatividad. Antes del período de normas del 2019 por el ACI 318, los códigos de construcción estadounidenses limitaban la resistencia de las barras de refuerzo basándose en investigaciones de décadas pasadas y en la suposición de que la mayor parte del refuerzo utilizado en la construcción del concreto en Estados Unidos es de Grado 60.

“El Grado 60 se introdujo en la década de 1950, y tomó 20 años convertirlo en una práctica estándar en Estados Unidos. Piensa en todas las innovaciones en materiales avanzados, incluido el acero, desde entonces,” comenta Ellis.

A principios de la década de los 2000, el progreso en la metalurgia resultó en la producción de barras de refuerzo casi dos veces más resistentes que hace varias décadas. El refuerzo con una resistencia a la fluencia superior a 75 ksi (517 MPa) se volvió más fácil de conseguir—incluyendo los Grados 80, 100, y 120.

La implementación de estos grados en proyectos estadounidenses no podría llevarse a cabo sin cambios en el Reglamento—y sin la investigación documentada que justifique esos cambios.



*La sustentabilidad de la industria del concreto armado recae en la adquisición de nuevas tecnologías. El paso al acero de refuerzo de alta resistencia aprovecha una tecnología existente con una adopción mínima debido a los impedimentos en el Reglamento. La resolución de estos impedimentos permite que la tecnología se adapte fácilmente, considerando que el único cambio importante será en la metalurgia del acero. Todos los demás procesos constructivos permanecerán esencialmente sin cambios*

En el 2012, la CPF comenzó a indagar las necesidades de investigación relacionadas con la incorporación de acero de refuerzo más fuerte a 60 ksi en la norma ACI 318. La búsqueda fue impulsada por el interés de los profesionales de la ingeniería estructural, e investigadores académicos clave quienes creían que las varillas de refuerzo de alta resistencia podrían conceder un beneficio significativo a la industria.

“Los ingenieros estadounidenses notaron que las barras de refuerzo de mayor resistencia se empleaban en el extranjero. Vieron el potencial de ayudar a simplificar el detallado y colocación de las varillas de refuerzo, así como para ahorrar tiempo y mejorar la seguridad en la obra. En conversaciones con otros ingenieros estructurales del ACI, descubrimos el interés colectivo en superar las barreras técnicas en los Estados Unidos para permitir la aceptación del mercado y la adopción de la barra de refuerzo de alta resistencia,” expresó Ellis.

Las barras de refuerzo de Alta Resistencia se estaban convirtiendo en el material preferido en ciertas aplicaciones de los Estados Unidos, especialmente en la Costa Oeste para el diseño sísmico, añadió Ellis. Esto se debió a la reducción en el número de barras necesarias en comparación con el uso de barras de Grado 60.

Era necesario un esfuerzo concentrado en todo el sector del concreto armado para documentar el comportamiento y el rendimiento de elementos estructurales reforzados con acero de alta resistencia. Este tipo de trabajo no se había llevado a cabo anteriormente, y se esperaba que los resultados llevaran el diseño y la construcción del concreto armado a un nuevo nivel.

## Tomando la iniciativa

El esfuerzo de investigación coordinado fue encabezado por Mark Perniconi, entonces Director Ejecutivo de la CPF. Ellis—expresidenta del ACI (2013-2014)—asumió el cargo cuando se convirtió en Directora Ejecutiva de la CPF en 2018.

Los esfuerzos iniciales de investigación de la CPF implicaban reuniones formales con un panel

de expertos que envolvía a varios líderes de la industria—incluyendo a Moehle y el entonces-Vice Presidente de Ingeniería del CSRI, Mike Mota, FACI. Véase en el recuadro una lista de los primeros colaboradores claves quienes ayudaron a iniciar el movimiento de indagación sobre el HSR.

Moehle también da crédito a Ron Klemencic, FACI, por ser el “impulsor e instigador” quien reunió todas las ideas. Klemencic, Director de la CPF, encabeza el equipo de liderazgo en la Fundación MKA, una organización sin fines de lucro financiada por MKA que involucra e invierte en investigación no patentada para avanzar en la industria de la ingeniería.

“Era necesaria la participación de muchas personas. Teníamos que comprometernos a hacer las cosas con rapidez si queríamos obtener los resultados de la investigación y revisarlos a tiempo para el período de normas del 2019,” Explicó Moehle.

Lo que siguió fue la puesta en marcha de varios proyectos de investigación que estudiaban la viabilidad técnica de emplear barras de alta resistencia, así como el desarrollo de una definición técnica del producto HSR. Al mismo tiempo, la CPF contrató productores de varillas de refuerzo de acero para que evaluaran la factibilidad técnica y financiera de comercializar barras de alta resistencia.

“Era muy importante agrupar a todas las partes en la misma sala al mismo tiempo para dejar en claro lo que los diseñadores necesitaban frente a lo que los productores podían proveer,” dijo Moehle. “A partir de ahí vino el proceso de reunirse en el medio para conseguir un producto seguro y económico que pudiéramos añadir al Código.”

A mediados del 2013, los estudios iniciales confirmaron la viabilidad técnica del uso del HSR en el diseño. Además, los productores de barras de refuerzo verificaron que las barras de alta resistencia podían fabricarse y estar disponibles a través de canales normales de distribución.

Un esfuerzo no relacionado financiado por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) confirmó la factibilidad del uso del HSR en aplicaciones sísmicas (NIST GCR 14-917-30, “Use of High-Strength Reinforcement in Earthquake-Resistant Concrete Structures”<sup>3</sup>). El informe también mostró un ahorro de costos de aproximadamente el 4% del costo de la estructura del concreto cuando se empleaba el Refuerzo de grado 80 en lugar de grado 60.

## Desarrollando un Plan de investigación

Una vez confirmada la viabilidad técnica y la capacidad de fabricación, la siguiente tarea era determinar la investigación aplicada y los estudios de ingeniería necesarios para apoyar una actualización en la norma ACI 318.

En el 2013, la CPF encargó al Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) crear un plan de acción para el uso y aplicaciones del HSR y el desarrollo de propuestas para el cambio de Reglamento. El plan de acción, denominada como Proyecto ATC-115,4 identificó unas 40 disposiciones en la norma ACI 318 que abarcaban más de 80 temas que necesitan documentación para su posible actualización. También identificó las lagunas de la investigación y conocimiento, estableciendo un plan para proporcionar los datos necesarios a fin de apoyar los cambios al Reglamento.

“El plan de acción ha sido muy valioso,” comenta Ellis. “Lo hemos utilizado con el fin de priorizar los temas que necesitamos investigar y así podíamos comenzar a trabajar en una lista.”

Tras la culminación del plan de acción en 2014, la Fundación ACI se unió a la iniciativa como socio financiador de la investigación, y según Moehle, el plan ha sido fundamental para ejecutar la inversión por la vía rápida. “Señalaba lo que necesitábamos estudiar y lo que no, de modo que cuando un investigador proponía un tema, sabíamos si iba a ser rentable. Teniendo la capacidad a través de una agencia o varias organizaciones de financiación, tomar decisiones rápidas sobre las propuestas es importante,” explicó.

## Investigación

El plan de acción de la investigación identifica 80 proyectos de indagación, y hasta ahora se han completado o están en progreso 18 (véase la barra lateral sobre los proyectos HSR). Dado el número de disposiciones del Reglamento afectadas, el alcance del esfuerzo de investigación incluye una amplia validación de requisitos de diseño para garantizar la seguridad y los rendimientos fiables de las estructuras. El objetivo general es proveer datos de investigación experimentales y adaptados adquiridos en aplicaciones tanto sísmicas como no sísmicas

Los proyectos de investigación se basan unos en otros, con los primeros proyectos revisando los fundamentos. Los proyectos iniciales incluían una inspección de los materiales de estudio por parte de los metalúrgicos quienes desarrollan los estándares de materiales sobre la resistencia a la fluencia de las barras de refuerzo, de los productores del acero de refuerzo con experiencia en metalurgia, el proceso de fabricación y el desarrollo de normas de materiales. Los proyectos posteriores han puesto a prueba las propiedades de fatiga de bajo ciclo del HSR y los requisitos para el desarrollo de barras y empalmes por traslapo—y han demostrado sus aplicaciones en cimientos, muros estructurales, vigas de acoplamiento, vigas y columnas para pórticos especiales resistentes a momentos.

Para cada proyecto se establece un comité asesor de la industria formado por las principales partes interesadas, con el fin de mantener a todas las partes informadas a medida que avanzan los proyectos, expresa Moehle. Los comités consultivos se reúnen en las convenciones del ACI dos veces al año y si es necesario, el resto del año. Los investigadores principales presentan lo que han aprendido en estas reuniones a las cuales asisten los Presidentes de los subcomités del Comité 318 del ACI. Los resultados de la investigación son compartidos con los subcomités y son empleados para informar de los cambios en el ACI 318.

“Desde el punto de vista de la redacción de normas, es importante asegurarse de que los estudios sean realizados— y que los fabricantes del material, los investigadores que gestionan los estudios y los ingenieros que tendrían que implementar los diseños trabajen en colaboración con un

## Primeros contribuyentes clave al Movimiento de Investigación del HSR

Las siguientes personas participaron en comités o como consultores a fin de ayudar el plan de acción de investigación de la Fundación Charles Pankow en el 2013-14:

### Comité de Gestión de Proyectos

Dominic J. Kelly, Simpson Gumpertz & Heger (Director Técnico del Proyecto)

David Darwin, Universidad de Kansas

David C. Fields, Magnusson Klemencic Associates Robert J. Frosch, Universidad de Purdue

Andrés Lepage, Universidad de Kansas Joseph C. Sanders, Charles Pankow Builders

Andrew S. Whittaker, Universidad de Buffalo, SUNY

### Panel de Revisión de Proyectos

Wassim M. Ghannoum, La Universidad de Texas en San Antonio

S.K. Ghosh, S.K. Ghosh Associates Ramon Gilsanz, Gilsanz Murray Steficek

James O. Jirsa, La Universidad de Texas en Austin

Mike Mota, CRSI

Thomas C. Schaeffer, Grupo de Diseño Estructural Loring A. Wyllie Jr., Degenkolb Engineers

### Consultores Especiales

Jack Moehle, Universidad de California, Berkeley Conrad Paulson, Wiss, Janney, Elstner Associates  
Robert Risser, CRSI

## Proyectos del HSR —Finalizados y en Progreso

Proyecto	Principal(es) investigador(es)	Organización(es) de financiamiento	Fecha de Finalización
El Impacto del Acero de Refuerzo de Alta Resistencia en la Práctica de Diseño Actual	Laura Lowes, Universidad de Washington	CPF	2013
Desarrollo de un Plan de acción sobre el Uso de Refuerzo de Alta Resistencia en el Diseño de Concreto Armado (ATC-115 Project)	ATC	CPF	2014
Anclaje de Barras de Refuerzo de Alta Resistencia	David Darwin, University of Kansas	CPF, CRSI	2014
Evaluación de Métodos de Medición del Esfuerzo de Fluencia para Barras de Refuerzo	Conrad Paulson, Wiss, Janney, Elstner Associates	Fundación ACI, CPF, CRSI	2014
Desarrollo de una Especificación Tentativa para Barras de Refuerzo de Alta Resistencia	Conrad Paulson, Wiss, Janney, Elstner Associates	Fundación ACI, CPF, CRSI	2014
Establecimiento de Requisitos de Doblado para Barras de Acero de Alta Resistencia	Wassim M. Ghannoum, La Universidad de Texas en San Antonio	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2015
Definiendo Propiedades Estructuralmente Aceptables de las Barras de Acero de Alta Resistencia mediante Ensayos de Vigas y Análisis de Referencias en Edificios Modelos	Jack Moehle, Universidad de California, Berkeley	Fundación ACI, CPF	2016
Definiendo Propiedades Estructurales Aceptables de las Barras de Acero de Alta Resistencia mediante Ensayos de Materiales y Columnas	Wassim M. Ghannoum, La Universidad de Texas en San Antonio	Fundación ACI, CPF, varios proveedores de material	2016

Barras de Acero de Alta Resistencia en Muros Reforzados: Influencia de las Propiedades Mecánicas del Acero en Capacidad de Deformación	Andrés Lepage, Universidad de Kansas	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2018
Elongaciones Aceptables y Rendimiento a la Fatiga de ciclo bajo para Barras de Refuerzo de Alta Resistencia	Wassim M. Ghannoum, La Universidad de Texas en San Antonio	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2019
Efectos de Fatiga de Ciclo Bajo en el Rendimiento Sísmico de Sistemas de pórticos y muros de Concreto con Acero de Refuerzo de Alta Resistencia	Gregory Deierlein, Universidad de Stanford	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educa- ción e Investigación del CRSI	2019
Vigas de Acoplamiento de Concreto Armado con Barras de Refuerzo de Alta Resistencia	Andrés Lepage/Rémy Lequesne, Universidad de Kansas	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2020
Desarrollo y Longitudes de Empalme para Refuerzo de Alta Resistencia	Robert Frosch/Santiago Pujol, Universidad de Purdue	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2020
Capacidad de Fricción a Corte de Juntas de Concreto con Refuerzo de Alta Resistencia	Paolo Calvi, Universidad de Washington	Fundación ACI, Universidad de Washington	2020
Ataduras Continuas Normales y de Alta Resistencia	Bahram Shahrooz, Universidad de Cincinnati	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI	2022
Desarrollo de Grandes Barras de Refuerzo con Cabezal de Alta Resistencia	David Darwin, Universidad de Kansas	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI, Productos BarSplice, Refuerzo Dextra, Headed Corp., Pentair	En progreso
Losas de Cimentación con Refuerzo de Alta Resistencia	Jack Moehle, Universidad de California, Berkeley	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI, Fundación MKA	En progreso
Requisitos de Diseño para Barras de Refuerzo de Alta Resistencia Empalmadas Mecánicamente en Secciones de Bisagra	Wassim M. Ghannoum, La Universidad de Texas en San Antonio	Fundación ACI, CPF, Fundación de Educación e Investigación del CRSI, donaciones de los miembros del CRSI	En progreso

objetivo en mente,” expresó Moehle. “El grupo encargado del Proyecto trabaja con el Comité del Reglamento de Construcción de Concreto Estructural ACI 318 para asegurarse de que sea un elemento de alta prioridad para el Período de Normas. Esto supuso una gran diferencia en el Período 2019. Fue notable cómo las cosas avanzaban tan rápidamente.”

Ellis espera que las investigaciones en curso y nuevas sigan informando de los cambios para la ACI 318-25. Entre los proyectos de investigación financiados en colaboración que se están llevando a cabo incluyen estudios sobre empalmes mecánicos y barras de refuerzo de alta resistencia con cabezal de gran tamaño, además de un proyecto dirigido por Moehle sobre concreto masivo en cimentación.

La investigación de Moehle está tomando lugar en la Universidad de California, Berkeley, CA, EE.UU., donde ejerce como Profesor de Ingeniería Estructural en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Los resultados podrían repercutir en el cómo son colocadas las cimentaciones

en edificios altos, incluidos los rascacielos. Si bien la pandemia de COVID-19 y los problemas resultantes de la cadena de suministros han causado algunos retrasos, el equipo de Moehle está en camino de completar el trabajo antes del siguiente período de normas.

## Cambios en el período de Normas 2019

Las barras de refuerzo más resistentes pueden transferir esfuerzos mucho mayores, pero también pueden carecer de las propiedades de referencia de los aceros más débiles, como el endurecimiento por deformación mínima y el alargamiento. Por ello, la incorporación del acero de alta Resistencia en el ACI 318 requirió amplios cambios al Reglamento:

- Tabla 20.2.2.4 (a) permite el uso del refuerzo del Grado 100 para resistir los momentos y las fuerzas axiales de combinaciones de carga de gravedad y de viento:

- Asuntos sobre la capacidad de servicio (fisuras y

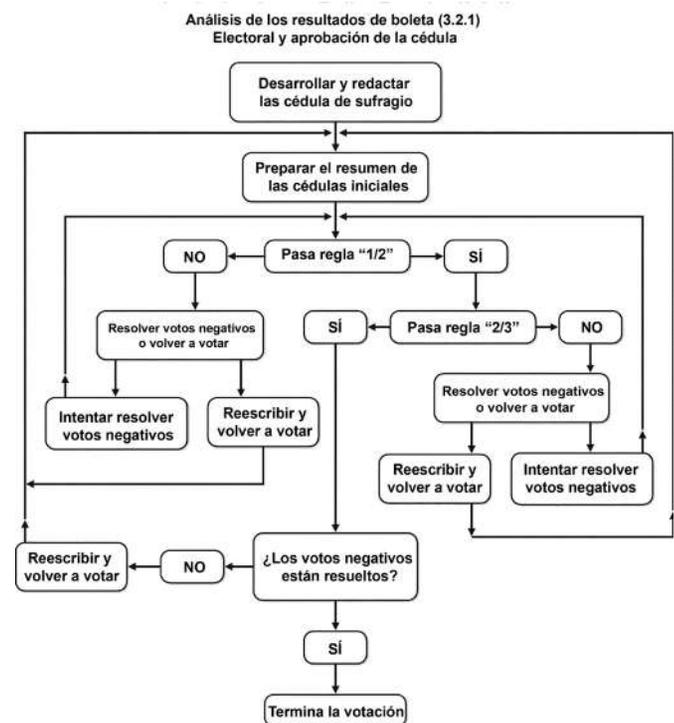
## Período de la Norma ACI 318

El período típico del Código ACI 318 es de 6 años, por lo cual se elabora un proceso de cambio de norma, dijo Jack Moehle, expresidente del Comité ACI 318. Aunque cualquiera puede presentar una propuesta de cambio de norma, la mayoría son desarrolladas por los subcomités del ACI 318. Cada propuesta debe incluir el motivo del cambio, la descripción del cambio y los materiales que lo apoyan.

En resumen, la votación de las propuestas de cambio se realiza generalmente mediante un proceso de cédulas con un período de escrutinio que no toma menos de 30 días. Una vez cerrada la votación, se resuelven todos los votos negativos. Esto suele hacerse adoptando cambios que sean aceptables para el votante negativo o convenciéndolo—mediante explicaciones sólidas de la propuesta de cambio—de que retire el voto negativo. Si la propuesta es aprobada por un subcomité, se presenta al comité principal, donde se repiten los procesos de votación por cédula y resolución/retiro del voto negativo.

Los cambios de norma aprobados por el comité principal son incorporados a un borrador de la norma actualizada y son enviados al Comité de Actividades Técnicas (TAC) para que revise el contenido técnico y las correcciones, entre otras cosas. Esto puede implicar algunas idas y venidas entre el TAC y el comité para resolver cualquier problemas y votos negativos. A continuación, la norma se somete a una revisión del Consejo de Normas del ACI para garantizar que se hayan seguido los procedimientos del ACI.

Los pasos finales incluyen una etapa de comentarios públicos de 45 días, durante la cual la norma con los cambios propuestos se pone a disposición a los miembros del ACI, y anunciada en Concrete International. Lo que sigue es la apertura de un período de respuesta a todos los comentarios al público—el comité principal responde y el TAC revisa esas respuestas. El último paso es la publicación durante 90 días de la propuesta final.



## Cronología: HSR en Normas de EE.UU.

Década de 1950/principios de 1960: El refuerzo de Grado Intermedio (Grado 40) y de Grado Avanzado (Grado 50) utilizados en la construcción y en las normas.

1959: Se publicaron las especificaciones ASTM A432, "Specification for Deformed Billet Steel Bars for Concrete Reinforcement with 60 ksi Minimum Yield Point," y el A431, "Specification for High-Strength Deformed Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement with 75 ksi Minimum Yield Strength," las cuales introdujeron los Grados 60 y 75 de refuerzo, respectivamente.

1963: La normal ACI 318 permitió el uso de barras de acero con una Resistencia la fluencia de 60 ksi.

1968: Se introdujo la norma ASTM A615, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," que incluía los Grados 40,60 y 75. Esta especificación se convirtió en la más empleada para las barras de refuerzo.

1971: La norma ACI 318-71 aumentó el límite superior de la resistencia a la fluencia a 80 ksi—pero se restringió la Resistencia especificada a 60 ksi para el refuerzo en sistemas sísmicos especiales. Algunas armaduras secundarias, como el acero de confinamiento, se permitían hasta 100 ksi de resistencia a la fluencia.

1974: Se publicó la norma ASTM A706, "Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement,". La especificación para el refuerzo incluía propiedades de tracción más restrictivas y con controles químicos.

1997: El ACI 318 permitió la ASTM A706.

1983: La norma ACI 318 seguía exigiendo la ASTM A706 para los sistemas sísmicos especiales, pero se admitía la norma ASTM A615 si se cumplían las propiedades mecánicas especificadas.

2004: La Norma ASTM A1035/A1035M, "Standard Specification for Deformed and Plain, Low-carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement," incluía el Grado 100.

2007: ASTM A1035/A1035M añadió el Grado 120.

2009: ASTM A615/A615M y ASTM A706/A706M incluían el Grado 80.

2011: El ACI 318 adoptó las normas ASTM A615/A615M and A706/A706M sin restricciones en el cuerpo principal porque ya se permitía el uso de armaduras de Grado 80. Sin embargo, no se admitía el uso del Grado 80 en pórticos resistentes a momentos especiales y muros estructurales especiales.

2019: La norma ACI 318-19 permite el refuerzo de Grado 80 para algunos sistemas sísmicos especiales y ya no admite el uso de barras de refuerzo de grado 40 en aplicaciones sísmicas. Los muros de corte pueden utilizar barras de Grado 60, 80 o 100. Los pórticos resistentes a momentos pueden utilizar barras de Grado 60 u 80.

deflexiones) se abordaron a través de una serie de cambios para losas, refuerzo mínimo de vigas, momento de inercia efectivo y requisitos para los cálculos de deflexión para losas en dos sentidos;

Los asuntos de resistencia y ductilidad se abordaron introduciendo nuevos requisitos para las propiedades mecánicas de refuerzo, ajustando el método de cálculo del factor de reducción de resistencia para momento y momento combinado con carga axial, revisando las disposiciones de la longitud de desarrollo, y limitando el valor de  $f_y$  que puede utilizarse para calcular la máxima resistencia a la compresión  $P_n, \max$  de las columnas;

El ajuste se realizó en el factor de reducción de resistencia para momento y momento combinado con carga axial: El fallo controlado por compresión para la deformación unitaria neta de tracción se define como  $\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$  y el fallo controlado para tensión como  $\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$ , donde  $\epsilon_{ty}$  es la deformación unitaria nominal de fluencia de la armadura deformada;

Secciones de vigas y losas no pretensadas con  $P_u < 0.10 f_c A_g$  requieren ser de tensión controlada para que el factor de reducción de la resistencia sea siempre 0.9;

Se admite el refuerzo ASTM A706/A706M Grado 80 para pórticos resistentes a momentos especiales; los ASTM A706/A706M Grado 80 y ASTM A706/A706M equivalente a Grado 100 para muros estructurales especiales. Las disposiciones permiten el uso de los grados más altos para resistir momentos, fuerzas axiales y cortantes;

Se añadieron restricciones adicionales en cuanto a la distancia entre los estribos, las dimensiones de las juntas entre vigas y columnas, y la ubicación de los empalmes por traslape para contribuir a un rendimiento más fiable de sistemas estructurales especiales;

Cambios en las disposiciones para los ganchos estándar, las barras deformadas con cabezal representan mejor los efectos del diámetro de la barra, resistencia a la compresión del concreto, la separación entre armaduras y el nivel de refuerzo de confinamiento en las longitudes requeridas; y

Las disposiciones para el desarrollo de barras deformadas son similares a las de normas pasadas, pero con un factor adicional  $\psi_g \geq 1.0$  y una condición para el refuerzo transversal cuando se utilizan grados superiores. El ACI 318-19 fue adaptado en referencia al Reglamento Internacional de Construcción 2021.<sup>5</sup>

## El poder de la colaboración

Hasta la fecha, la Fundación ACI, la CPF, el CRSI y otras entidades han aportado más de 3 millones de dólares en financiación combinada para los proyectos de investigación del HSR. El CRSI y sus miembros empresariales han contribuido fondos adicionales, así como materiales, personas y conocimientos. Los colaboradores incluyen varios voluntarios técnicos del ACI que forman parte de importantes comités. Entre estos participantes se encuentra Andrew Taylor, actual presidente del Comité 318 del ACI.

“Cuando tienes un colectivo colaborando en el avance de la investigación, puedes sacar provecho de la amplitud y profundidad de los conocimientos en toda la industria—lo que ayuda significativamente en el proceso de desarrollo del Reglamento,” comenta Ellis. “Y cuando presentas una nueva idea ante un comité técnico, es útil que haya personas en ese comité que hayan intervenido durante el proceso de investigación. Contar con estos diversos intereses en nuestros proyectos ayuda a mejorar los resultados y el impacto considerablemente.”

Además, expresa Ellis: “La investigación aplicada es mucho más poderosa cuando es informada por aquellos que emplearán el HSR. Diseñadores, contratistas, proveedores de materiales, y educadores están participando en este programa de investigación. Los metalúrgicos y los fabricantes de barras de refuerzo están involucrados, por lo que no solo comparten su conocimiento, sino que también pueden a empezar a prepararse para el cambio en el mercado.”

Moehle comenta que el plan de la CPF—identificar el problema, crear un plan de acción para arreglarlo, y usar la investigación para alcanzar el objetivo final—fue clave para la rápida transición desde concepto al desarrollo de materiales, a la investigación y a las actualizaciones del Reglamento.

“El hecho de que todo se coordinara de esta manera—el plan de acción, el mecanismo de inversión directa, los comités asesores, las reuniones periódicas y entonces asegurar de que todas las partes interesadas asistieran a esas reuniones—mantuvo el flujo de información y el progreso de la investigación,” dijo.

Con el momento establecido, la CPF se está preparando para salir de la iniciativa de investigación HSR a fin de centrarse en otra necesidad de la industria: el diseño basado en el rendimiento. Ellis espera que la industria del concreto armado vea la indagación restante hasta el final.

“Todavía queda mucho por hacer, y esperamos que otros miembros del sector sigan adelante con la investigación necesaria cuando nuestra Fundación se dedique a otros temas. Sus contribuciones ampliarán y profundizarán los conocimientos esenciales para el uso de los productos HSR en el mercado,” declara Ellis.

La iniciativa HSR lleva casi 10 años funcionando y ha ayudado a establecer las mejores prácticas para futuras colaboraciones en la industria.

“La Fundación ACI está comprometida con la construcción del futuro de la industria del concreto mediante financiación en la investigación e innovación,” sostuvo Masek. “Siempre estamos buscando oportunidades de colaboración para ofrecer soluciones necesarias a las necesidades del sector.”

## Referencias

1. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
2. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 78 pp.
3. “Use of High-Strength Reinforcement in Earthquake-Resistant Concrete Structures,” NIST GCR 14-917-30, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Mar. 2014, 231 pp.
4. “ATC-115 Project,” Charles Pankow Foundation, McLean, VA, [www.pankowfoundation.org/our-work/research-grants/concrete/high-strength-rebar/03-14-development-of-tentative-specification-for-high-strength-steel-reinforcing-bar/](http://www.pankowfoundation.org/our-work/research-grants/concrete/high-strength-rebar/03-14-development-of-tentative-specification-for-high-strength-steel-reinforcing-bar/). (last accessed Nov. 3, 2022)
5. “2021 International Building Code (IBC),” first edition, International Code Council, Inc., Washington, DC, 2020, 832 pp.

Seleccionados para el interés del lector por los editores.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Perú

*Título: La introducción al refuerzo de alta resistencia*



Traductor:  
Ing. Angie Sarmiento Condori



Revisor Técnico:  
Ing. Julio Higashi Luy

## Reconocimiento Especial

La iniciativa de investigación HSR de la Fundación Charles Pankow no habría sido posible sin la participación y las donaciones de material realizadas por varios fabricantes y productores de acero. La colaboración de todos los sectores de la industria del refuerzo del concreto fue clave para alcanzar el éxito alcanzado.



**Victoria (Vikki) K. Sicaras**, es Ejecutiva de Cuentas con una Avanzada Excelencia Organizacional (AOE), una subsidiaria del ACI que brinda servicios de consultoría de marketing y gestión de asociaciones. Tiene más de 20 años de experiencia escribiendo y editando para editoriales líderes en la industria de la construcción, con un enfoque a la construcción en concreto.



*Al acercarse el final de este año 2022, es imperativo hacer una reflexión sobre un año un poco más normal que los últimos que hemos vivido. La pandemia parece ir llegando a un término y las actividades presenciales vuelven a tomar relevancia en todo el mundo.*

*Debemos antes que nada valorar el hecho de haber podido superar las pruebas que los últimos años nos sometieron, y poder hoy disfrutar los logros alcanzados en este período.*

*Nuestra revista Concreto Latinoamérica ha cumplido ya 2 años, y estamos listos para nuevos desafíos en los años venideros para seguir cumpliendo muchos más.*

*Es el momento de agradecer a todos los que de una u otra forma han hecho posible este proyecto. Al Comité Editorial en su labor continua para poder publicar mes a mes la revista. A los Capítulos ACI de Latinoamérica que han participado entusiastamente en las traducciones de los artículos y al departamento de Comunicación e Imagen Institucional de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL por el invaluable soporte que nos ha brindado y a todos los que de una u otra forma han aportado a este proyecto.*

*En el Comité Editorial hacemos votos para que las fiestas de fin de año nos ayuden a lograr mayor integración con nuestros seres queridos y celebrar los logros alcanzados, pero al mismo tiempo, prepararnos para un año nuevo 2023 lleno de retos y nuevos proyectos.*

*Deseamos a todos nuestros colaboradores, lectores y amigos lo mejor para las fiestas Navideñas y que el Año Nuevo este lleno de salud, logros, desarrollo y felicidad.*

**FELIZ NAVIDAD Y UN GRAN AÑO NUEVO 2023.**

**COMITÉ EDITORIAL.  
CONCRETO LATINOAMÉRICA.**



**CONCRETO**  
LATINOAMÉRICA