

#### Volumen II - Número 1.

Enero del 2021

# CONCRETO

LATINOAMÉRICA

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

#### 1. Precipicios de Concreto

El primer museo de diseño de Escocia, el V&A Dundee es caracterizado por un diseño dramático de pirámides invertidas.

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Puerto Rico.

Pág 9

## 2. Una nueva forma de protección contra los daños por hielo-deshielo

Mezclado de microesferas con polvo mineral para minimizar la

aglomeración y asegurar la durabilidad Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noreste.

**Pág** 18

#### 3. Esfuerzos a Escala Piloto para Reducir la Huella de Carbono Incorporada al Concreto en la India

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noroeste.

Pág 25

#### 4. Concreto Preguntas y Respuestas Diseño de anclajes y rigidez de la placa-base

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Argentina.

#### **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:**

M.C. Lucio Guillermo López Yépez

#### **Soporte Técnico:**

Dr. Alejandro Durán Herrera

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

MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís LDI. Luis Yerel Romo Valdez

#### Auxiliar de Diseño:

Silvia Elizabeth Olivares Araiza

#### **Coordinadora de Traducciones:**

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

#### Comunicación y Logistica:

Lic. Ana Durán Herrera

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

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

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de **enero de 2021**. El Instituto no se hacer 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
- Perú
- Puerto Rico

- Ing. Raúl Bertero
- Ing. Nancy Torres Castellanos
- Ing. Fabían Lamus Báez
- Ing. Guillermo González Beltrán
- Ing. Santiago Vélez Guayasamín
- Ing. Luis Alvarez Valencia
- Ing. Xiomara Sapón
- Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
- Ing. Alejandra Valencia
- Ing. Alma Reyes Zamorano
- Ing. Josseph Mandujano
- Ing. Luciano López Vinatea
- Ing. Rubén Segarra Montelara



# **Precipicios de Concreto**

El primer museo de diseño de Escocia, el V&A Dundee es caracterizado por un diseño dramático de pirámides invertidas

#### Por Deborah R. Huso

La fortificación de concreto la cual está balanceada a la orilla del Río Tay en Dundee, Escocia es el primer museo de diseño del país (Figura 1). El edificio de tres pisos V&A Dundee tiene forma de dos pirámides invertidas y se caracteriza por sus aleros horizontales de concreto prefabricado (Figura 2). De cerca, las estrías en la fachada invocan imágenes de los despeñaderos de la costa marítima escocesa (Figura 3). A distancia, la forma del edificio trae a memoria lo vigoroso de una embarcación – alusión a la histórica construcción naval de la ciudad (Fig. 4).

La estructura compleja del museo de £93 millones (\$121 millones USD) fue diseñada por Kengo Kuma & Associates de Tokio y soporta paredes exteriores las cuales se tuercen tanto horizontal como verticalmente. El edificio también cuenta con una "proa" en voladizo la cual se extiende a unos 20 m (65 ft) más allá de su huella. Durante las fases de diseño, la firma de arquitectura e ingeniería Arup, con sede en Londres, utilizaron modelación en tres dimensiones (3-D) para la planificación del edificio.



Figura 1: El V&A Dundee, Dundee, Escocia, parece ser una fortificación balanceada sobre la orilla del río Tay (fotografía cortesía de HUFTON + CROW)

#### **Gimnasia Estructural**

El diseño del edificio surge por una competencia internacional de diseño promovido por la ciudad de Dundee en el 2010. Durante el proceso de diseño y construcción el arquitecto del proyecto fue Maurizio Mucciola—anteriormente parte de Kengo Kuma & Associates, pero ahora dirige su propia firma de diseño, PiM Studio en Londres. "Kuma y yo visitamos el lugar del proyecto el cual es bastante especial por estar en un estuario de un kilómetro de ancho [0.6 millas] dice el arquitecto. "La localización es impresionante y la ciudad de Dundee quería que volviéramos a reconectar el río con ella".



Figura 2: El edificio tiene forma de dos pirámides invertidas (fotografía cortesía de HUFTON + CROW)



Figura 3: Las estrías en la fachada invocan imágenes de los despeñaderos de la costa marítima escocesa (fotografía cortesía de HUFTON + CROW)

La llamativa solución de Kuma fue crear una edificación que literalmente sobrepasará el agua, pero había más en la apariencia de este imponente museo que la misma agua. Kuma también entendía la importancia nacional del museo, por lo cual quería reflejar el paisaje escocés, utilizando la costa noreste del país como inspiración para el revestimiento escalonado del edificio.

Las fases de diseño tomaron 2 años. La construcción comenzó en marzo de 2015 y culminó en el 2018. La complejidad geométrica del edificio exigió del equipo de diseño el uso de herramientas 3-D. "No hay líneas derechas," dice John Tavendale, gerente de proyecto de Turner & Townsend de Londres, quienes administraron las fases de diseño y construcción del proyecto a favor del dueño. "Ver un plano de dos dimensiones no hubiese funcionado. Si ven las paredes, estas se doblan en todas direcciones. No hay nada con la misma forma."

Originalmente, el equipo de diseño planificó usar unidades de concreto prefabricado para la estructura del edificio, de acuerdo con Tavendale, pero determinaron que la prefabricación no sería práctico para el dramático voladizo del edificio. Los diseñadores e ingenieros consideraron una estructura híbrida en acero y concreto, pero a Kuma no le gustó la manera en que dividiría los interiores del museo. "concreto [fundido en sitio] posibilitó la configuración y formas," dice Tavendale, "al mismo tiempo que se mantiene el peso a un mínimo y permitiendo la ocupación máxima del espacio interno."



Figura 4: A distancia, el edificio parece ser una embarcación (fotografía cortesía de HUFTON + CROW)

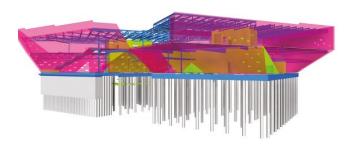


Figura 5: Modelo estructural 3-D del museo (imagen cortesía de Arup)

"Mientras que la estructura del edificio es bastante compleja en términos de geometría," dice Mucciola, "el principio es sencillo: el exterior del edificio es un caparazón continuo." Las losas de piso y el techo están apoyadas por miembros de acero estructural sujetados a las paredes externas, las cuales están inclinadas hacia afuera."



Figura 6: Dos pirámides separadas hasta el segundo piso, en donde se juntan

#### Un Híbrido de Concreto y Acero

La construcción comenzó con la instalación de un masivo dique de 12,500 toneladas métricas (13,780 toneladas imperiales) de rocas para retener el Río Tay mientras se construía la enorme proa del museo. Luego de 2 meses fue que comenzó el trabajo en la estructura la cual involucró la erección de 21 secciones de paredes, ninguna parecida (y ninguna derecha).

Las dos pirámides invertidas que hacen el edificio están separadas hasta el segundo nivel, en donde se juntan (Fig. 6). "No hay juntas expansivas," explica Tavendale. "[El museo] es un caparazón elástico diseñado para flexionar y moverse."

"El edificio es una estructura híbrida de concreto y acero," explica Malcom Boyd, Gerente de Construcción para el contratista general BAM de los Países Bajos. El continúa, "Las paredes externas, paredes cortantes internas, y el núcleo principal son construidos utilizando concreto armado, mientras que el primer piso, segundo piso y techo son construidos utilizando acero estructural." (Fig. 7). Los esfuerzos verticales son dirigidos hacia la fundación a través de los núcleos y fachada. La fundación consiste en una rejilla de vigas en concreto armado que se extienden sobre pilas individuales que transfieren las cargas al cimiento.



Figura 7: El edificio es una estructura híbrida con paredes externas, paredes cortantes internas y núcleos construidos utilizando concreto armado, y el primer piso, segundo piso y techo son construidos utilizando acero estructural



Figura 8: Paredes de fachada permanecieron apoyadas hasta que las placas del piso, vigas y losas fueran aseguradas a la estructura y el concreto alcanzara su fuerza de diseño

Las paredes crecen unos impresionantes 19.75 metros (65 pies). Boyd añade, "la fachada externa está inclinada hacia afuera del edificio y depende de las vigas principales y cerchas del techo y piso primario para proveer estabilidad contra fuerzas de vuelco y

vientos". Debido a que las paredes de fachada sostienen el acero del piso y techo, pero de igual manera dependen de estos elementos para estabilidad, las paredes tuvieron que ser apoyadas hasta que las placas de los pisos internos, vigas, y losas estuviesen completamente aseguradas a la estructura y el concreto alcanzara su fuerza de diseño (Fig.8). "El techo se compone de una cubierta de metal estructural el cual actúa como un diafragma entre las vigas de acero del techo y las cerchas de transferencia, que a su vez se extienden entre los núcleos de concreto y las paredes de fachada externa," explica Boyd. "La estabilidad lateral es provista a través de la acción del diafragma."



Figura 9: Paredes de fachada hechas en hormigón oscuro y liso

Las paredes fueron construidas utilizando encofrados, con cada pared dividida por moldes únicos de 2 x 2 m (6.6 x 6.6 ft). Debido a la geometría compleja, cada pieza del encofrado fue hecho a la medida, según Boyd.

"Fue como un enorme rompecabezas de tres dimensiones," dice Tavendale. Cada pieza del encofrado tenía un identificador de sistema de posicionamiento global (GPS) para asegurar que fuera posicionado dentro de la tolerancia. Todos los encofrados y puntales tuvieron que permanecer en su lugar hasta que el techo estuviese listo. El encofrado fue posicionado en sitio por un grupo de 30 ensambladores. Las condiciones de construcción fueron a menudo desafiantes. "Estábamos colgando cosas de las grúas con viento, lluvia y nieve," comenta Tavendale. A pesar del complejo diseño del edificio y de condiciones retadoras de construcción, el equipo mantuvo el requisito (y asombrosa) tolerancia de 2 a 3 mm (0.08 a 0.12 in) en la colocación de cada pieza.

Algunas de las paredes de concreto eran de hasta 25 m (82 ft) de alto, y algunas eran en voladizo. Aun con tal altura, las paredes solo eran 300 mm (12 in) en espesor.

Tavendale describe que la construcción del edificio como "gimnasia estructural". Añade que el edificio está "sobresaliendo e inclinándose hacia afuera y hacia adentro". Mientras que las paredes finas mantenían el costo y peso bajo estas creaban numerosos retos. "Pueden crear torsión," explica Tavendale, "pero no podíamos tener fisuras en estas paredes."

"El concreto es una característica de diseño por sí misma," dice Mucciola. Careys Civil Engineering probó muchas mezclas para acomodar el deseo de Kuma de tener un concreto oscuro y liso para las paredes (Fig. 9). La mezcla final incluía ceniza volante y humo de sílice.

Para asegurar una terminación de alta calidad, el suplidor de encofrados PERI, en Weissenhorn, Alemania, aplicó Zemdrain a las paredes del encofrado. Zemdrain es un revestimiento de permeabilidad contralada para el encofrado, el cual drena el agua de la superficie en el concreto fresco. Este reduce las probabilidades de micro fisuras y ampollas, y hace que el concreto sea más denso y menos permeable. El revestimiento por tanto mejora la apariencia del concreto a medida que incrementa su resistencia a efectos ambientales (en este caso, el agua salobre del estuario cercano). "Cada metro cuadrado de la fachada es de diferente curvatura," dice Tavendale. Cada uno de los bloques de 2 x 2 m de encofrado exhibía diferentes curvaturas. Fue increíblemente retador asegurarse que el concreto estuviese consolidado sin vanos de aire y huecos en la pared densamente reforzada.

Mientras tanto, las vigas que se extienden por los pisos y techo tuvieron que ser sujetas por vigas de anillo en concreto. Tavedale dice que había 440 conexiones diseñadas individualmente entre el acero estructural y las paredes de concreto del edificio. Cada pieza de acero fue atornillada a anclajes en el concreto a un ángulo único. Una vez los encofrados fueran removidos, esencialmente la deformación de la estructura soldaría el acero y los tornillos juntos.



Figura 10: La apariencia de acantilado en el exterior del edificio fue ejecutado con 2429 paneles prefabricados de hormigón

"Fue una construcción muy lenta," comenta Tavendale. "Pero toda esa gimnasia estructural fue en la planta baja. Una vez llegas al segundo piso, todo se endereza."

#### El Toque de Coronamiento

La aplicación de 2429 paneles de concreto prefabricado – manufacturado por Techcrete de Dublín, Irlanda – estableció la apariencia de un acantilado en el exterior del edificio (Fig. 10). Techcrete aplicó el agente retardante en los encofrados para permitir la remoción de una capa superficial del concreto, descubriendo parte del agregado grueso y aumentando la superficie áspera de los paneles.

Cada panel prefabricado fue unido a la estructura por angulares. Adicionalmente, un espacio de 300 mm entre planchas adyacentes fue diseñado para crear la apariencia "apilada" de las paredes.

Los paneles prefabricados pesaban hasta unos 2000 kg (4410 lb) y se extendían hasta 4 m (13 ft). Las altas cargas y compleja geometría complicaron el diseño de conexiones a las paredes delgadas y densamente reforzadas. Barrenar las paredes arriesgarían el debilitamiento de la estructura, por lo cual el equipo fundió anclajes de canal en las paredes, utilizando una estación total para asegurarse que todos los angulares están en el lugar correcto. A pesar de la diminuta tolerancia, solo tres de aproximadamente 5000 anclajes tuvieron que ser movidos, de acuerdo con Mucciola.

Boyd dice que fue un reto instalar las planchas prefabricadas debido a la inclinación hacia afuera del edificio. Los paneles del primer nivel fueron instalados utilizando un montacargas. Los paneles de segundo y tercer nivel fueron instalados utilizando grúas móviles. Para evitar que las cuerdas de las grúas se engancharan arriba del edificio, el equipo diseño a la medida, una plataforma de contrapeso que se pudiera alterar para cada sección y ángulo de las paredes. El museo abrió en septiembre de 2018. "Aprendí que nada es imposible si tienes el equipo correcto con las soluciones correctas." dice Mucciola del proyecto. "No aceptamos compromisos malos; seguíamos trabajando hasta solucionar el problema."

Resultado exitoso.

#### **Créditos del Proyecto**

Dueño: Dundee City Council

Arquitecto de Diseño: KengoKuma & Associates

Ingeniero Estructural: Arup

Gerente de Proyecto: Turner & Townsend

Contratista: BAM Construct UK

Subcontratista: Careys Civil Engineering

Productor de Concreto Prefabricado: Techcrete



Deborah R. Huso es Directora Creativa y Socio Fundador de WWM, Charlottesville, VA, USA. También ha escrito para una variedad de publicaciones de la industria y consumidores, tales como, Precast Solutions, U.S. News and World Report, Concrete Construction, y Concstruction Business Owner. Ha aportado al desarrollo se sitios web y estrategias de contenido para varias compañías en los Fortune 500, incluyendo Norfolk Southern y GE.

> La traducción de este artículo correspondió a la Sección Puerto Rico.

Título: Precipicios de Concreto.



Traductor: José M. Mejía Borrero



Revisor Técnico: Ing. Rubén Segarra Montelara

# Una nueva forma de protección contra los daños por hielo-deshielo

Mezclado de microesferas con polvo mineral para minimizar la aglomeración y asegurar la durabilidad

#### Por Emmanuel K. Attiogbe

Durante mucho tiempo se ha conocido la inclusión de aire como un medio eficaz para proteger el concreto de los daños por ciclos de hielo-deshielo (H-D); los vacíos de aire en la matriz proporcionan espacios para que crezcan los cristales de hielo y, por lo tanto, mitigan los esfuerzos de tensión interna que pueden causar el agrietamiento del concreto. Las burbujas de aire son arrastradas en el concreto fresco por la acción mecánica de mezclar los ingredientes, y se estabilizan utilizando un surfactante, conocido en la industria como un agente inclusor de aire (AIA). Sin embargo, la cantidad de aire estable que se arrastra sólo puede controlarse indirectamente mediante el ajuste de la cantidad o el tipo de AIA que se añade al concreto. Asimismo, los investigadores han descubierto que los AIA pueden ser poco eficaces si no favorecen la formación de un espaciamiento constante de los vacíos de aire en el concreto. Muchos productores enfrentan dificultades para lograr un espaciamiento entre vacíos constante, porque la eficacia de los surfactantes se ve afectada por el medio ambiente y los ingredientes de la mezcla. Por lo tanto, es conveniente contar con una alternativa a la inclusión de aire que permita incorporar estructuras vacías al concreto sin necesidad de estabilizar las burbujas de aire durante la mezcla. Esto ha dado lugar al desarrollo de tecnologías como las que comprenden las microesferas poliméricas de núcleo hueco.1-5

Un estudio reciente ofrece una explicación basada en la micromecánica de cómo tales microesferas protegen al concreto de los daños causados por el H-D.6 Las microesferas de núcleo hueco disponibles en el mercado tienen paredes poliméricas y espacios interiores rellenos de un líquido o un gas. La cubierta

de polímero y los materiales de relleno exhiben altas tasas de expansión y contracción térmica, lo que permite que las microesferas se contraigan en relación con el concreto durante las disminuciones de temperatura. Esta contracción diferencial crea un vacío esférico entre la microesfera y la superficie del concreto que se formó en la microesfera al fraguar el concreto. Un tipo de microesfera conocida por proteger al concreto de los daños causados por el ciclo de H-D es la marca registrada Expancel®. Este producto está disponible en dos formas:

- Microesferas llenas de gas, expandidas por humedad, en forma de espuma húmeda o lechada; o
- Microesferas llenas de gas, expandidas en seco como polvo seco.

En ambas formas, las microesferas tienen densidades bajas, y tienden a adherirse entre sí y formar aglomeraciones. Esta aglomeración de partículas es perjudicial para el desempeño porque las microesferas deben estar uniformemente dispersas por todo el concreto para protegerlo de los daños durante el ciclo de H-D. Además, las microesferas suministradas como polvo seco son difíciles de manejar, ya que el polvo seco causa polvillo. Si bien esta última cuestión implica que las microesferas expandidas en húmedo en forma de lechada se preferirían para su uso en el concreto, la lechada crea desafíos en la producción de concreto porque las microesferas de muy baja densidad se segregan del medio líquido durante el almacenamiento. Para superar esta inestabilidad inherente, la mejor manera es producir la lechada en el momento de su incorporación al concreto.3 Esto genera altos costos de producción y logística que han frenado la introducción de

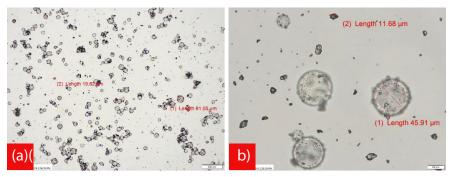


Fig. 1: Microfotografías que muestran microesferas poliméricas mezcladas con minerales bien dispersos con un tamaño promedio de partículas de 40 µm (0,0016 pulgadas) y una densidadde 25 kg/m³ (1,56 libras/pie³): (a) con un aumento de 5×; y (b) con un aumento de 40×.

2 to hgth 374.59 μm

Fig. 2: Fotomicrografía de aglomeraciones de microesferas poliméricas con un aumento de 20x. Las aglomeraciones se producen cuando hay poco o ningún polvo mineral presente.

la tecnología de la microesfera en la práctica general.

Este artículo presenta datos de ensayos que muestran la efectividad de un nuevo método de suministro de microesferas en el concreto. El nuevo método se basa en una mezcla de microesferas y polvo que elimina o minimiza la aglomeración de partículas y facilita el manejo y la entrega de las microesferas en las mezclas de concreto. Los datos de ensayo se proporcionan para mostrar la eficacia de las microesferas entregadas en la protección del concreto contra los daños en los ensayos estándar de durabilidad según ASTM C666/C666M, "Método de ensayo estándar para la resistencia del concreto al hielo y deshielo rápido" y ASTM C672/C672M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la descamación de superficies de concreto expuestas a químicos para el deshielo". La eficacia de la mezcla de polvo con microesferas también se compara con la eficacia en la inclusión de aire convencional, que se produce con los AIA comunes.

# Microesferas poliméricas mezcladas con minerales

La mezcla de microesferas poliméricas expandidas en seco con una cantidad adecuada de polvo mineral permite cubrir las superficies de las microesferas. Este recubrimiento impide que las microesferas se peguen entre sí y se aglomeren para formar partículas más grandes, antes de ser añadidas a una mezcla de concreto y facilita la dispersión uniforme de las microesferas en una mezcla de concreto. Además, para facilitar la manipulación, la mezcla de polvo con microesferas se puede dosificar en la mezcla de concreto en un saco que se desintegra y que desa-

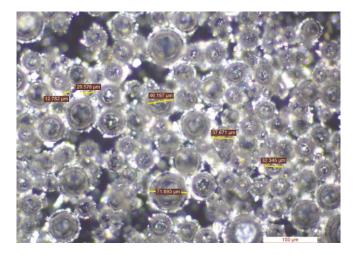


Fig. 3: Microfotografía de microesferas poliméricas mezcladas con minerales en luz de polarización cruzada con un aumento de 200×, que muestra la adherencia de las partículas de polvo mineral en microesferas bien dispersas.

parezca durante la mezcla, evitando así el problema del polvillo. La aplicación de la mezcla de polvo con microesferas en el concreto para proveer protección contra el daño debido a los ciclos de H-D está cubierta por la patente estadounidense No. 10,730,794 B1.<sup>7</sup>

La Fig. 1 muestra las fotomicrografías por microscopía óptica de la mezcla de polvo con microesferas. Las microfotografías muestran que las microesferas esféricas están bastante bien dispersas en la mezcla de polvo. Cuando no se mezcla el polvo mineral con las microesferas o se mezcla en cantidades insuficientes, las partículas de las microesferas se aglomeran seriamente, como se muestra en la microfotografía de la Fig. 2. Las identificaciones de tamaño en las microfotografías representan los tamaños de las microesferas seleccionadas y las partículas de polvo mineral. Como se explica a partir del análisis de la Referencia 6, la cantidad de microesferas aglomeradas, ya sea en forma de polvo seco o de lechada, por volumen de concreto necesario para lograr un concreto durable sería mayor en comparación con la de las microesferas no aglomeradas y bien dispersas. La figura 3 es una microfotografía obtenida con luz de polarización cruzada que muestra a las microesferas esféricas bien dispersas con polvo mineral adherido a ellas. Cuando la mezcla de polvo con microesferas se mezcla en el concreto, el polvo mineral se dispersa porque su atracción electrostática a las microesferas se rompe.

La mezcla patentada de polvo microesférico está formulada con la finalidad de proteger de manera confiable al concreto de los daños en una fracción de volumen fijo en los concretos comunes. La formulación de la mezcla de polvo representada por las microfotografías en las Fig. 1 y 3 tiene una distribución de tamaño de partícula consistente. La cantidad de polvo mineral utilizada en la formulación asegura que la aglomeración se reduzca lo suficiente, asegurando al mismo tiempo una cantidad suficiente de microesferas para obtener el comportamiento deseado, sin utilizar una dosis excesiva de la mezcla de polvo en el concreto.

#### Programa de pruebas

Se prepararon tres categorías de mezclas (Tabla 1):

• Las mezclas de la categoría A incluían los compuestos básicos de los agregados, el agua y el cemento;

• Las mezclas de la categoría B incluían los mismos compuestos básicos que los de la categoría A, más un AIA (surfactante) de uso común; y

• Las mezclas de la categoría C incluían los mismos compuestos básicos de la categoría A, además de microesferas con mezcla de minerales.

Dentro de cada categoría, las mezclas se prepararon con una relación agua-cemento (a/c) de 0,52 o 0,42 (Tabla 1), utilizando una mezcladora de tambor giratorio. Para todas las mezclas de la Categoría B, excepto una, se utilizó un aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA) Tipo F, para lograr un revenimiento objetivo de 125 a 180 mm (5 a 7 pulg.).

Las mezclas de la categoría B se prepararon con una AIA a base de resina Vinsol® disponible en el mercado, en la dosis necesaria para lograr un contenido de aire de alrededor del 6%. Las mezclas de la categoría C se prepararon con una mezcla de polvo mineral con microesferas añadido con el cemento. Las proporciones de las mezclas de la categoría C se basaban en los proporcionamientos de las mezclas de la categoría A,

**Tabla 1:**Proporcionamiento de las mezclas de concreto, revenimiento, contenido de aire y densidad

Ingredientes y propiedades	ldentificación de las mezclas de concreto									
	A1	B1	C1	C2	A2	B2	C3			
Cemento, kg/m³	335				400					
Agregado grueso, kg/m³	1104	1042	1104	1104	1068	1009	1068			
Agregado fino, kg/m³	739	695	707	699	736	692	704			
Agua, kg/m³	174				168					
a/c	0.52				0.42					
AIA, mL/m³	_	96.2	_	_	_	230.8	_			
Contenido de microesferas, % en vol. de concreto	_	_	1.0	1.25	_	_	1.0			
HRWRA (Tipo F), mL/m³	923	_	1235	1104	2762	962	2623			
Revenimiento, mm	155	140	140	140	115	135	110			
Contenido de aire, % en vol. de concreto	2.3	5.8	2.7	2.2	2.1	5.9	2.6			
Densidad, mL/m³	2336	2248	2314	2307	2375	2277	2320			

Nota:  $1 \text{ kg/m}^3 = 1.7 \text{ lb/yd}^3$ ;  $1 \text{ mL/m}^3 = 0.026 \text{ oz fl/yd}^3$ ; 1 mm = 0.04 pulg.

reduciéndose el volumen de los agregados finos para compensar el volumen añadido de la mezcla de polvos.

La mezcla de polvo con microesferas utilizada para preparar las mezclas de la categoría C, tenía un peso específico de 0,25. Se utilizaron dos dosis de mezcla de polvos: 1,2 y 1,5% por volumen del concreto. Estas dosis fueron diseñadas para producir dosis de microesferas de 1,0 y 1,25% por volumen del concreto, respectivamente. Estos valores fueron seleccionados debido a que la fracción mínima del volumen de microesferas en el concreto, necesaria para lograr la durabilidad contra los ciclos de H-D es de alrededor del 1,0%.

Para la Mezcla C3, la mezcla de polvo con microesferas se dosificó en la mezcla de concreto en un saco que se desintegró y desapareció durante el mezclado. Este saco estaba hecho de papel blanco patentado que se desintegra más fácilmente que los típicos sacos de papel que tienen un alto contenido de lignina o "pegamento".

#### Pruebas básicas

Para cada lote de concreto, se midió el peso unitario y el contenido de aire según la norma ASTM C138/C138M, "Método de prueba estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto" y ASTM C231/C231M, "Método de prueba estándar para el contenido de aire del

concreto recién mezclado por el método de la presión", respectivamente (refiérase a la Tabla 1 para los resultados). Además, se colaron tres cilindros de 100 x 200 mm (4 x 8 pulg.) para la prueba de resistencia a la compresión a 28 días, según ASTM C39/C39M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto".

#### Pruebas de durabilidad

Además, para cada lote de concreto, se colaron tres especímenes de 75 x 100 x 405 mm (3 x 4 x 16 pulg.) para ser ensayados de acuerdo con la norma ASTM C666/C666M, Procedimiento A, y además, las mezclas con a/c de 0,42 fueron ensayadas para determinar el deconchamiento por sales, de acuerdo con la norma ASTM C672/C672M, usando dos especímenes de 300 x 300 x 100 mm (12 x 12 x 4 pulg.) para cada lote.

# Evaluación de los métodos de prueba para el aseguramiento de la calidad

En un estudio aparte, se ensayaron mezclas de concreto con fracciones del volumen de microesferas en el rango de 0 a 2% para determinar si se podían utilizar métodos de prueba estándar para asegurar la calidad con la intención de verificar el contenido de microesferas en el campo. Los métodos fueron:

• ASTM C173/C173M, "Método de prueba estándar para determinar el contenido de aire de concreto

**Tabla 2:**Resistencia y comportamiento del concreto, bajo ciclos repetidos de H-D

	Mezclas de concreto y categorías								
Compuestos y propiedades	A1	B1	C1	C2	A2	B2	C3		
	w/c = 0.52				w/c = 0.42				
Resistencia a la compresión a los 28 días, MPa	37.3	33.9	36.6	35.4	51.4	41.8	45.7		
Factor de durabilidad, % (≥ 60% a 300 ciclos)	Fail	88	85	86	Fail	90	84		
Factor de durabilidad relativa, % (≥ 80% a 300 ciclos)	_	100	97	98	_	100	93		
Rango de escala a 50 ciclos	_	_	_	_	5	1	1		
Escala de pérdida de masa a 50 ciclos, g/m² (≤ 800 g/m² después de 50 ciclos), mL/m³	_	_	_	_	901	123	65		

Nota: 1 kg/m3 = 1,7 lb/yd $^3$ ; 1 mL/m $^3$  = 0,026 oz fl/yd $^3$ ; 1 mm = 0,04 pulg.; 1 MPa = 145 psi; 1 g/m $^2$  = 0,003 oz/pies $^2$ .

recién mezclado por el método volumétrico", modificado sólo por omitir la adición de alcohol isopropílicoº; y El dispositivo de prueba Super Medidor de Aire (SAM)¹º, utilizado de acuerdo con la AASHTO TP 118, "Método de prueba estándar para la caracterización del sistema de vacío de aire del concreto recién mezclado por el método de presión secuencial".

Las pruebas de contenido volumétrico de aire se realizaron bajo el supuesto de que las microesferas de una muestra de prueba se segregarían del concreto y se conglomerarían en la parte superior del cilindro graduado. Las pruebas se realizaron prescindiendo del alcohol isopropílico estándar, ya que esta sustancia química es un solvente que podría provocar que las microesferas se colapsen. La investigación mediante el SAM se llevó a cabo bajo el supuesto de que las presiones utilizadas en el ensayo podrían comprimir las microesferas de la mezcla de concreto y permitir que la prueba fuera sensible al contenido de microesferas del concreto.

#### Resultados de la prueba y discusión

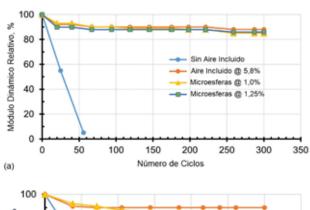
Los resultados de las pruebas que aparecen en la Tabla 2 muestran que la resistencia a la compresión de las Mezclas C1 y C3 con un contenido de microesferas del 1,0% en volumen del concreto fue un 10% más alta que la resistencia de las Mezclas B1 y B2 con alrededor de un 6% de contenido de aire. Por consiguiente, desde el punto de vista de la sostenibilidad y la rentabilidad, las mezclas de concreto con las microesferas poliméricas mezcladas con minerales pueden tener cantidades algo menores de materiales cementantes y, sin embargo, igualar las resistencias de las mezclas con los AIA convencionales.

#### Ciclos de H-D

Según la norma ASTM C666/MC666, Procedimiento A, para que una mezcla de concreto pueda considerarse apta para soportar un ambiente de H-D, debe alcanzar un factor de durabilidad del 60% o superior. Además, el factor de durabilidad del concreto con respecto al de un concreto con aire incluido (es decir, el factor de durabilidad relativa) debe ser del 80% o mayor. Los resultados muestran que los concretos que contienen la

mezcla de polvos con microesferas pasaron la prueba del ciclo de H-D con contenidos de microesferas de 1,0 y 1,25%, con valores de factor de durabilidad dentro de un estrecho rango de 84 a 86% (ver Mezclas C en la Tabla 2). Además, los valores del factor de durabilidad relativa en un rango de 93 a 98% muestran que estos concretos eran comparables a los concretos con aire incluido (Mezclas B). Según lo previsto, los concretos sin aire incluido (Mezclas A) no pasaron la prueba del ciclo de H-D.

La Figura 4 muestra que los concretos que contienen la mezcla de polvo con microesferas y los concretos con aire incluido, pasaron la prueba del ciclo de H-D a valores de módulo dinámico relativo que fueron bastante estables, desde alrededor de los 35 ciclos hasta el final de la prueba, a 300 ciclos de H-D.



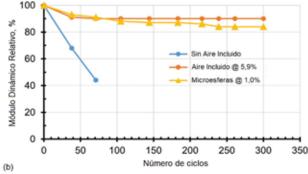


Fig. 4: Módulo dinámico relativo frente al número de ciclos de H-D: a) para las Mezclas A1, B1, C1 y C2 con una relación a/c = 0,52; y b) para las Mezclas A2, B2 y C3 con una relación a/c = 0,42

Los contenidos de microesferas de 1,0 y 1,25% obtuvieron el mismo comportamiento, como se muestra en la Fig. 4 (a), lo que indica que utilizar más del contenido mínimo de microesferas necesario para lograr un concreto durable no está justificado. La Figura 5 muestra que para las mezclas de concreto con una relación a/c

de 0,42, los niveles de desconchamiento superficial de las Mezclas C (con microesferas) y las Mezclas B (con aire incluido) fueron comparables después de los 300 ciclos de H-D rápido en agua.

#### **Desconchamiento superficial**

Las clasificaciones visuales del desconchamiento superficial en los especímenes evaluados en cuanto a la resistencia a la descamación salina (ASTM C672/C672M), como se indica en la Tabla 2, muestran que la Mezcla C3, que contiene la mezcla de polvo con microesferas, tuvo un comportamiento similar al del concreto con aire incluido (Mezcla B2) con una clasificación por desconchamiento media de 1 (desconchamiento muy leve), en comparación con la clasificación de desconchamiento de 5 (desconchamiento

19: 1330 · 31 · 1 19: 1330 · 31 · 3 19: 1330 · 30 · 3 19: 1330 · 30 · 3

Fig. 5: Especímenes de concreto preparados con una relación a/c = 0,42 mostrados después de 300 ciclos de H-D rápido según ASTM C666/C666M, Procedimiento A: (a) concreto con aire incluido; y (b) concreto con microesferas

severo) para el concreto sin aire incluido (Mezcla A2). Los valores de pérdida de masa fueron de 65 g/m² (0,20 oz/pie²) para la Mezcla C3 con microesferas, 123 g/m² (0,37 oz/pie²) para la Fig. 5: Especímenes de concreto preparados con una relación a/c = 0,42 mostrados después de 300 ciclos de H-D rápido según ASTM C666/C666M, Procedimiento A: a) concreto con aire incluido; y b) concreto con microesferas.

Mezcla B2 con aire incluido, y 901 g/m² (2,70 oz/pie²) para la Mezcla A2 sin aire incluido. Estos valores indican un rendimiento aceptable para el concreto con microesferas y el concreto con aire incluido, según las especificaciones canadienses que imponen un límite de 800 g/m² (2,40 onzas/pie²) para la pérdida de masa después de 50 ciclos de H-D.11

La figura 6 muestra el aspecto de la superficie de un espécimen de prueba que contiene microesferas, comparado con el de los especímenes sin aire incluido y con aire incluido, después de 50 ciclos de prueba. Se observa un comportamiento superior para el concreto con microesferas y el concreto con aire incluido, en comparación con el desconchamiento severo del concreto sin aire incluido.

#### Dosificación de microesferas y aseguramiento de la calidad

Como se ha señalado anteriormente, la mezcla de polvos de microesferas se añadió a la Mezcla C3 en un saco diseñado para desintegrarse completamente y desaparecer durante la mezcla. Para dosificar un



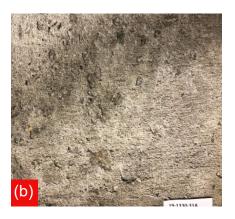




Fig. 6: Superficies de especímenes de concreto preparados con una relación a/c = 0,42 después de 50 ciclos de pruebas de descamación salina según ASTM C672/C672M: (a) concreto sin aire incluido; (b) concreto con aire incluido; y (c) concreto con microesferas

lote de concreto de 0,76 m³ (1 yd³), por ejemplo, se requiere agregar a la mezcla un saco de 20 L (0,71 pies3). Pueden utilizarse otros tamaños de sacos según se considere apropiado. Este método de dispensar la mezcla de polvo en una mezcla de concreto facilita la manipulación y elimina cualquier problema relacionado con la formación de polvillo del material. Este método también facilita la adición de la cantidad adecuada de mezcla de polvo de microesferas, simplemente contando el número de sacos añadidos, en lugar de pesar el polvo para cada lote de concreto producido. Además, el ensayo de los lotes que contienen diversas dosis, muestra que el método de ensayo ASTM C173/C173M modificado, puede utilizarse para verificar el contenido de microesferas en el concreto antes de su colocación (Fig. 7). Una capa de microesferas se acumula en el cuello graduado del medidor volumétrico bajo una pequeña capa de espuma. El grosor de la capa de microesferas, en porcentaje de volumen del concreto, proporciona una medida del contenido de microesferas en el concreto. Las evaluaciones preliminares realizadas para este estudio mostraron que para un contenido de microesferas de 1,0% por volumen de concreto, los valores medidos estaban en el rango de 1,0 ± 0,1%. Las pruebas realizadas con el dispositivo de pruebas SAM mostraron que las mezclas de concreto sin aire incluido con microesferas tenían números similares de SAM que las mezclas

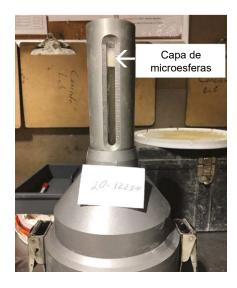


Fig. 7: El contenido de microesferas de una mezcla de concreto puede ser evaluado utilizando un medidor volumétrico

sin microesferas. Esto implica que las presiones utilizadas en la prueba no son lo suficientemente altas como para comprimir las microesferas y producir lecturas que variarían con el contenido de microesferas del concreto. Como tal, la prueba SAM no resulta un método apropiado para controlar la calidad del concreto con microesferas. El recuento detallado del número de sacos de la mezcla de polvo con microesferas añadidos a un lote de concreto, en conjunto con la realización de la prueba ASTM C173/C173M sin utilizar alcohol isopropílico, verificaría que las microesferas se encuentran presentes en la cantidad correcta, antes de la colocación del concreto.

# **Beneficios Potenciales**Beneficios ambientales

Además de eliminar los problemas prácticos que se presentan en el aire incluido, la mezcla de polvo con microesferas permitiría también la utilización a gran escala de cenizas volantes con alto contenido de carbono sin quemar, como material cementante suplementario9. Esas cenizas volantes de baja calidad suelen depositarse en vertederos, ya que se consideran inutilizables sin más tratamiento, porque dificultan o imposibilitan la inclusión de aire en el concreto. Además, el uso de la mezcla de polvo con microesferas para reemplazar un volumen igual de arena, mientras se logra un concreto resistente a los ciclos H-D contribuiría a la conservación de la arena de concreto como un recurso natural.

#### Beneficios de Construcción

El allanado vigoroso de los pisos o losas de concreto con aire incluido conduce al riesgo de reducir el contenido de aire en la superficie, así como de desconchamiento o formación de burbujas. El uso de la mezcla de polvo con microesferas en lugar de la intrusión de aire debería permitir especificar superficies densas, pulidas y maquinadas para las losas de concreto en ambientes que podrían estar en riesgo de exposición a ciclos de H-D. Además, el concreto compactado con rodillo y el concreto permeable que son difíciles de transportar debido a su consistencia rígida<sup>12,13</sup> pueden hacerse durables contra ciclos de H-D con la adición de la mezcla de polvo con microesferas. Recientemente se ha demostrado que las burbu-

jas de aire se disuelven en el concreto fresco cuando se bombea el concreto, pero se reforman antes de que el concreto se endurezca14. Como tal, el contenido de aire del concreto endurecido tendería a ser más alto que el contenido de aire del concreto fresco medido después del bombeo. Esta observación también puede ser aplicable al concreto lanzado con mezcla húmeda, que se utiliza en una variedad de aplicaciones estructurales y de reparación15. Dado que la mezcla de polvos con microesferas ofrecerá una protección más confiable y robusta del concreto bombeado contra los daños causados por el H-D, eliminaría los problemas de producción y colocación relacionados con el bombeo de concreto con aire incluido.

#### **Observaciones Finales**

Los trabajos presentados aquí y en la Referencia 6 muestran que el recubrimiento previo de las microesferas poliméricas expandidas en seco mediante la mezcla con un polvo mineral puede reducir al mínimo la aglomeración de las microesferas y promover su dispersión y distribución uniforme en una mezcla de concreto. El uso de un saco que se disuelve para dispensar el material en una mezcla de concreto facilita la adición de la cantidad adecuada del polvo de microesferas en un lote de concreto simplemente contando el número de sacos añadidos en lugar de pesar el polvo por cada lote de concreto producido.

Las pruebas cíclicas de H-D y del desconchamiento por sales de deshielo muestran que la mezcla de polvo con microesferas, con un contenido de microesferas del 1,0% en volumen de concreto, es tan efectiva como la inclusión de aire para proteger al concreto de los daños del H-D, pero no está cargada con las incertidumbres asociadas con la inclusión de aire. Al realizar la prueba ASTM C173/C173M modificada sin alcohol isopropílico se comprobaría que las microesferas están presentes en la cantidad correcta antes de la colocación del concreto.

Además, como se muestra en la Referencia 6, la cantidad mínima de microesferas por volumen de concreto necesaria para proteger el concreto de los ciclos de H-D se determina en base al espaciamiento máximo requerido de las partículas. Así, se espera que se cum-

pla el requisito de espaciamiento cuando se utilice en el concreto la cantidad mínima de microesferas calculada a partir de las ecuaciones de la Referencia 6. Por lo tanto, habría que desarrollar un análisis microscópico del contenido y la distribución de las microesferas en el concreto endurecido basado en la norma ASTM C457/C457M, "Método de prueba estándar para la determinación microscópica de los parámetros de los sistemas de vacíos de aire en el concreto endurecido". Habría que establecer un rango de amplificación apropiado para utilizarlo en la evaluación microscópica del concreto con microesferas, porque las microesferas son mucho más pequeñas que el tamaño típico de los vacíos de aire incluido. Las evaluaciones preliminares de los concretos que contienen microesferas, utilizando el método de prueba vigente ASTM C457/C457M a mayores amplificaciones que las utilizadas habitualmente, como 200×, indican que se lograría un nivel aceptable de precisión en la cuantificación de las cantidades de microesferas en los concretos endurecidos.

#### **Agradecimientos**

Se reconoce con gratitud el apoyo de SGS TEC Services, Lawrenceville, GA, USA, en particular el del Director General del laboratorio Shawn McCormick, en la realización de las pruebas al concreto.

#### Referencias

1. de Rook, P., "Process for Preparing Frost Resistant Concrete," U.S. Patent No. 4,057,526, Nov. 1977. 2. Ozyildirim, C.H., and Sprinkel, M.M., Concrete Mixtures vestigation of Incorporating Hollow Plastic Microspheres," Report VH-TRC 82-R7, Virginia Highway and Transportation Research Council, Charlottesville, VA, 1981, 38 pp. 3. Bury, M.A.; Ong, F.; Attiogbe, E.; Nmai, C.; and Smith, J., "Microsphere-Based Admixture for Durable Concrete," Concrete International, V. 36, No. 3, Mar. 2014, pp. 59-63. 4. Ong, F.S.; Attiogbe, E.K.; Nmai, C.K.; and Smith, J.C., "Freezing and Thawing Behavior of Cementitious Systems with New Polymeric Microsphere-Based Admixture," ACI Materials Journal, V. 112, No. 6, Nov.-Dec. 2015, pp. 735-743. 5. Moffat, E.G., and Thomas, M.D.A., "Polymeric Microspheres Provide Resistance to Harsh Winter Conditions,"

Concrete International, V. 41, No. 1, Jan. 2019, pp. 36-41. 6. Attiogbe, E.K., "Compliance Concept in Protection of Concrete from Freezing-and-Thawing Damage," ACI Materials Journal, V. 117, No. Nov.-Dec. 2020, doi: 10.14359/51726995. 7. Attiogbe, E.K., "Method of Delivery of Dry Polymeric Microsphere Powders Protec-Freeze-Thaw ting Concrete from Damage," U.S. Patent No. 10,730,794 B1, Aug. 2020. "Frequently Asked Questions," BillerudKors-Solna Sweden. www.billerudkorsnas. näs AB, com/our-offer/ packaging-solutions/sacksolutions/d-sack/d-sack-faq. Accessed Nov. 23, 2020. 9. Ong, F.S.; Nmai, C.K.; Smith, J.C.; and Lu-J., "Microspheres-Based Admixture ciano, Freeze-Thaw Durability of Concrete," Thirteenth International Conference on Recent Advances in Technology Concrete and Sustainability lssues, SP-303, T.C. Holland, P.R. Gupta, and V.M. Malhotra, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, pp. 255-268. 10. Ley, T.M.; Welchel, D.; Peery, J.; and LeFlore, J., "Determining the Air-Void Distribution in Fresh Concrete with the Sequential Air Method," Construction and Building Materials, V. 150, Sept. 2017, pp. 723-737. 11. "Material Specification for Aggregates—Concrete," OPSS.PROV 1002, Ministry of Transportation, Toronto, ON, Canada, 2012, 15 pp. 12. Service d'Expertise en Matériaux Inc., "Frost Durability of Roller-Compacted Concrete Pavements," RD135, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2004, 140 pp. 13. Kevern, J.T.; Wang, K.; and Schafer, V.R., "Test Methods for Characterizing Air Void Systems in Portland Cement Pervious Concrete," Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (F-T) Durability, K. Wang, ed., ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, pp. 119-134. 14. Becker, J., and Ley, T., "Concrete Pumping Effects on Air-Entrained Voids in Concrete Mixture," Report No. SPTC14.1-38-F, Southern Plains Transportation Center, Norman, OK, 2019, 41 pp. 15. Talukdar, S., and Heere, R., "The Effects of Pumping on the Air Content and Void Structure of Air-Entrained, Wet Mix Fibre Reinforced Shotcrete," Case Studies in Construction Materials, V. 11, Dec. 2019, 6 pp.

Note: Additional information on the ASTM and AASHTO standards discussed in this article can be found at www. astm.org and www.transportation.org, respectively.



Emmanuel K. Attiogbe, FACI, es un Ingeniero de Investigación con práctica privada en Discovery Bay, CA, USA. Anteriormente, fue Jefe de Innovación para el desarrollo de refuerzos alternativos para el concreto en BASF Construction Chemicals, ahora Master Builders Solutions. Ha sido Presidente del Comité

de Transferencia de Tecnología del TAC y del Grupo Asesor de Transferencia de Tecnología de la Consejo de Desarrollo Estratégico de la Fundación ACI, y ha sido miembro de la Junta Directiva de la ACI. Es miembro de varios comités del ACI y del Consejo de Investigación del Concreto de la Fundación ACI. Se le concedió la Medalla Wason de la ACI de 1995 por la Investigación de Materiales y el Premio Henry L. Kennedy de la ACI en 2015. Recibió su licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah, Kumasi, Ghana, y su maestría y doctorado en ingeniería civil de la Universidad de Kansas, Lawrence, KS, USA

#### La traducción de este artículo correspondió a la Sección México Noreste.

Título: Una nueva forma de protección contra los daños por hielo-deshielo.



Traductor: Lic. Iliana M Garza Gutiérrez



Revisor Técnico: Dr. Alejandro Durán Herrera

# Esfuerzos a escala piloto para reducir la huella de carbono incorporada al concreto en la India

por Vijay Kulkarni, Ramesh Joshi, Utsav Biharilal Tayade y S. Karthikeyan

El fenómeno del cambio climático, que se manifiesta a través del calentamiento global de los gases de efecto invernadero (GEI), se ha convertido en un motivo de grave preocupación para todos. Las actividades humanas ya han provocado un aumento de temperatura de aproximadamente 1 ° C (1.8 ° F) por encima de los niveles preindustriales. Un informe reciente del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas advierte que es probable que las temperaturas globales aumenten en 1.5 °C (2.7 °F) entre 2030 y 2052, con efectos devastadores.¹

Existe una creciente conciencia de que el sector de la construcción, principal consumidor de recursos — energía, materiales, agua y tierra— debe desempeñar un papel importante en la mitigación de los efectos adversos del cambio climático. Entre los materiales de construcción, el concreto utiliza la mayor parte de estos recursos. Por lo tanto, es imperativo que el concreto se produzca y se utilice de la manera más ecológica posible.

Afortunadamente, existe una creciente tendencia mundial de hacer que el concreto sea más "ecológico" o más respetuoso al medio ambiente. Este artículo enumera las iniciativas notables tomadas por algunas organizaciones profesionales y de fabricación líderes en relación con el desarrollo de criterios para caracterizar el concreto "ecológico". A esto le sigue una revisión del estado actual de la industria del concreto en la India y los recientes esfuerzos a escala piloto para desarrollar e implementar la certificación de productos ecológicos en el país.

# Una muestra de Iniciativas Ecológicas NRMCA

La Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA), junto con NSF Certificación LLC, realizó una encuesta de aproximadamente 7000 plantas de miembros de concreto premezclado (RMC- ready mixed concrete) para llegar a una declaración de producto ambiental (EPD) promedio de la industria. Se publicó un informe sobre esto en 2019.2 De la inmensa variedad de productos RMC (o diseños de mezcla) utilizados por las plantas encuestadas, se adoptó un enfoque conservador para llegar a 72 mezclas de concreto trabajables (48 mezclas de concreto de peso normal y 24 mezclas de concreto liviano) que podrían capturar pragmáticamente una alta proporción del RMC producido por estas plantas. Se utilizaron las mismas mezclas para llegar a la EPD promedio de la industria. El alcance de la EPD es de principio a fin e incluye todos los procesos ascendentes

NRMCA también describe una metodología para cuantificar y reducir las huellas de carbono de mezclas de concreto con la ayuda de un ejemplo de un edificio de 18 pisos.<sup>3</sup> Aquí, se pueden usar los diseños de mezcla.

# Consejo de Sostenibilidad del Concreto

El Consejo de Sostenibilidad del Concreto (CSC) ha desarrollado un sistema de "Certificación de Abastecimiento Responsable" para empresas cementeras, agregados y de concreto. La certificación de CSC incluye la cadena completa de suministro de concreto: fabricantes de cemento, proveedores de agregados y productores de concreto. La certificación se lleva a cabo en cuatro categorías a saber, medio

ambiente, economía, aspecto social de la sostenibilidad y gestión. Para obtener la certificación, las empresas deben cumplir con ciertos requisitos previos en estas categorías. CSC es el operador del sistema global respaldado por los operadores del sistema regional y los organismos de certificación.

#### **GCCA**

Durante octubre de 2019, la Asociación Global de Cemento y Concreto (GCCA) lanzó la "Herramienta de EPD de la Industria de GCCA" (Versión 2.0) para apoyar la publicación de EPD por parte de los productores de cemento y concreto.<sup>5</sup> Se informa que GCCA pondrá la herramienta a disposición todos los productores y organizaciones de las industrias del cemento y del hormigón.

#### **Arquitectura 2030**

Arquitectura 2030, una organización sin fines de lucro, lanzó "The 2030 Challenge" en 2006, apelando a la comunidad global de arquitectura y construcción para que adopte objetivos para reducir las emisiones de GEI.<sup>6</sup> El desafío 2030 establece objetivos para diseñar nuevos edificios y renovar los edificios existentes para convertirlos a carbono neutral para 2030 en lo que respecta al uso de energía de combustibles fósiles en las operaciones de los edificios. El desafío de productos 2030, publicado en 2011, especificó que los productos manufacturados deben cumplir una huella de carbono 50% por debajo del promedio de la industria para 2030.

#### **Ingenieros Estructurales 2050**

Ingenieros Estructurales 2050 (Structural Engineers 2050 - SE 2050) es un grupo de profesionales que respalda la visión global de la construcción de carbono neto cero. En diciembre de 2019, el grupo decidió apoyar el desarrollo del Programa de Compromiso SE 2050. El objetivo de esta iniciativa es inspirar a los ingenieros estructurales para que contribuyan a la visión global de edificios con cero emisiones de carbono para 2050 y proporcionar una medición del progreso hacia esa visión.

#### ACI

El Instituto Americano del Concreto (ACI) está en proceso de crear una certificación de "Evaluador de sostenibilidad del concreto". Sakai y Buffenbarger informan que el programa se está desarrollando para respaldar la competencia de las personas encargadas de evaluar y supervisar la sostenibilidad y la resiliencia de la construcción de concreto.<sup>8</sup>

#### **Emisiones de la India**

India es el tercer país emisor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) más grande del mundo, solo después de China y Estados Unidos. Según datos recientes publicados por el Ministerio de Energía de la India, el carbón, uno de los principales contribuyentes a las emisiones de CO<sub>2</sub>, representó el 54,2% de la generación total de energía (consulte la figura 1).9

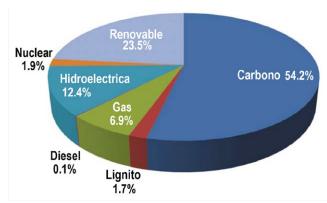


Fig.1: Panorama general del sector energético de la India<sup>10</sup>

Parece que a pesar de los esfuerzos que están realizando los gobiernos central y estatal para desarrollar fuentes alternativas de energía (por ejemplo, solar y eólica), no es probable que la dependencia de carbono de la India como fuente principal de energía disminuya apreciablemente en un futuro próximo. Según las proyecciones realizadas por el Instituto de Energía y Recursos de la India (TERI), el carbón representaría aproximadamente del 45 al 55% de la combinación de energía comercial de la India durante todo el período de modelado hasta 2030 en cada uno de los cuatro escenarios estudiados<sup>10</sup>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la India son altas en términos cuantitativos, la contribución del país a las emisiones de GEI en términos per cápita no es alarmante (consulte la Figura  $2).^{11}$ 

Sin embargo, India se ha comprometido voluntariamente a reducir las emisiones de GEI entre un 33 y un 35%, en relación con los niveles de 2005, para 2030. 12 También se ha fijado el objetivo de alcanzar aproximadamente el 40% de la capacidad instalada de energía eléctrica acumulada a partir de recursos energéticos no fósiles para 2030 mediante la instalación de 100 GW energía solar y 60 GW de energía eólica para 2022.

#### Industria del Concreto de la India

En India, la construcción con concreto ha sido tradicionalmente una actividad intensiva en mano de obra. Sin embargo, la construcción de concreto en la India, especialmente en las áreas urbanas, ha experimentado transformaciones positivas desde la segunda mitad de la década de 1990. La demanda de construcción rápida, para viviendas, edificios comerciales y sistemas de transporte, ha requerido la adopción de técnicas de construcción mecanizadas, incluido el uso de RMC.

Aunque las técnicas tradicionales de fabricación de hormigón todavía se utilizan en zonas semiurbanas y rurales, ha sido alentador presenciar su desaparición gradual de los principales centros urbanos. Si bien muchas instalaciones de RMC se han desarrollado en áreas metropolitanas durante las últimas dos décadas, se desconoce el número exacto de plantas de RMC en funcionamiento en el país. Sin embargo, según una estimación aproximada, se producen anualmente de 90 a 120 millones de m3 (118 a 157 millones de yd³) de concreto utilizando modernas plantas de procesamiento por lotes en la India.¹³

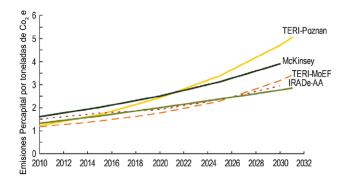


Fig.2: Emisiones de GEI per cápita de la India, proyectadas hasta 2031 en cinco estudios de modelo (después de la Referencia 11) (Nota: 1 tonelada métricas = 1.1 toneladas cortas)

# Certificación de Producto Ecológico para RMC

Es probable que las actividades de construcción en curso y planificadas en la India aumenten aún más la construcción de RMC, por lo que las emisiones de GEI del concreto seguramente aumentarán.

Teniendo esto en cuenta, la Asociación de Fabricantes de Concreto Premezclado (RMCMA) se asoció con el Consejo de Productos y Servicios Verdes (GPSC) de la India bajo la Confederación de la Industria India (CII), y desarrollaron la Certificación de Producto Verde para RMC. Esta iniciativa fue apoyada por el Consejo de Calidad de India (QCI) y la Corporación Financiera Internacional (IFC).

Para ello, a finales de 2017 se conformó un equipo de expertos. El equipo revisó los esfuerzos internacionales en este ámbito. Se llegó a la conclusión de que, en vista de la existencia simultánea de concreto premezclado moderno por un lado y del concreto mezclado en obra, secular, intensivo en mano de obra, por el otro, sería prácticamente difícil desarrollar una EPD común para concreto en India. También se observó que, en vista de la variedad de factores sociales y económicos y la falta de mecanismos reguladores sólidos, la adopción de la Certificación de Abastecimiento Responsable de CSC no sería factible en la India. Por lo tanto, el equipo de expertos decidió diseñar criterios localizados para la certificación. Denominada certificación GreenPro para RMC, la descripción detallada del esquema se enumera en otra parte.14 Las características más destacadas del esquema incluyen:

- Se utilizan ocho parámetros para evaluar las características ecológicas de RMC: diseño del producto, rendimiento del producto, materias primas, proceso de fabricación, gestión de residuos, enfoque del ciclo de vida, administración del producto e innovaciones;
- El esquema evalúa la conservación de recursos mediante un mayor uso de contenido reciclado (por ejemplo, cenizas volantes y cemento de escoria);
- El esquema utiliza las conocidas técnicas 3R (reducir, reciclar y reutilizar) para evaluar la eficiencia energética, la eficiencia del agua y la minimización de desechos;
- Tres herramientas sencillas propuestas por P.K.

Mehta para mejorar la sustentabilidad del concreto formó uno de los pilares principales del esquema de certificación.<sup>15</sup> Estas herramientas incluyen: (i) minimizar la cantidad de cemento portland ordinario (OPC) en el concreto, (ii) consumir menos concreto a través de una arquitectura y diseño innovadores y (iii) consumir menos clinker en cemento;

- Los créditos se otorgan en función de las propiedades del concreto que reducen el impacto ambiental.
   Se observó que bastantes empresas de RMC en la India promueven el uso de productos de valor agregado, algunos de los cuales tienen el potencial de ser calificados (con los cambios apropiados) como productos amigables con el medio ambiente. Ciertos ejemplos de los productos enumerados a continuación se incluyen en el esquema y se otorgó el crédito debido después de auditorías exhaustivas:
  - Concreto con alto contenido de material cementoso suplementario (SCM) (más allá de los porcentajes máximos permisibles permitidos por las Normas de la India) utilizado en concreto simple, cimientos, concreto en masa e incluso elementos estructurales donde se especifica una resistencia de 56 o 90 días para el cumplimiento;
  - Concreto de alta resistencia, que ayuda a reducir el tamaño de las secciones, reduciendo así la cantidad de concreto requerido;
  - Concretos de baja densidad, cuyo uso mejora el aislamiento térmico de la envolvente del edificio y ayuda a la reducción de energía;
  - Concreto autocompactante (SCC Self-compacting concrete), que acelera la construcción y elimina la necesidad de vibración durante la colocación del concreto, lo que ayuda a reducir el ruido; y
  - Concreto duradero, que minimiza el trabajo de reparación / restauración y retrasa la reconstrucción, lo que ahorra materiales y costos.
- Teniendo en cuenta el daño ambiental causado por el dragado irrestricto de los ríos indios, el esquema otorga créditos por el uso de piedra triturada / arena de grava en lugar de arena de río;
- Para lograr la certificación de concreto verde, las plantas de RMC deben cumplir con ciertos requisitos previos básicos con respecto a los requisitos mínimos de equipos y sistemas, las medidas de control de la

contaminación del aire y el agua certificadas por las autoridades estatales de control de la contaminación y las normas de seguridad y salud ocupacional;

- El esquema se basa en la certificación de plantas y productos. Si bien los puntos de crédito máximos alcanzables son 100, los productos y la planta que suministra los productos se certificarán en función de ciertos puntos mínimos obtenidos durante la evaluación basada en auditorías; y
- La auditoría de la planta y la evaluación de la conformidad son realizadas por una agencia externa que tiene la experiencia adecuada en dicha evaluación.

#### Auditoria GreenPro de Plantas RMC

La certificación GreenPro para concreto se lanzó en la segunda mitad de 2017, con seminarios de concientización realizados en algunas de las principales ciudades. La auditoría real a escala piloto de las plantas de RMC comenzó en 2018. Se ofrecieron para la certificación un total de 17 plantas de empresas de renombre. Debido a que estas plantas estaban en las regiones norte, sur, este y oeste de la India, los datos obtenidos pueden considerarse representativos. Antes del comienzo de cada auditoría, se llevó a cabo una reunión conjunta de los equipos de partes interesadas de las plantas de la empresa para explicar los detalles del esquema de auditoría y establecer los programas de auditoría para las plantas.

El personal de la planta proporcionó los datos requeridos, incluidos los requisitos previos obligatorios, al equipo de auditoría de antemano. La auditoría de la planta fue realizada por dos expertos: un técnico de concreto experimentado y un auditor certificado por GPSC. Los datos de la auditoría se analizaron minuciosamente y una vez que se cerraron las no conformidades, si las hubo, se otorgó la certificación GreenPro.

# Observaciones Críticas GreenPro durante la evaluación

A continuación, vale la pena mencionar algunas observaciones críticas realizadas por el equipo de evaluación de GreenPro:

Toda la evidencia documental de los prerrequisitos

obligatorios se puso debidamente a disposición del equipo de auditoría;

- La mayoría de las plantas de RMC usaban arena de piedra triturada (CSS), aceptando ciertas plantas en el estado de Gujarat, donde la arena de río estaba disponible a un precio más bajo que el CSS;
- Mientras que las plantas de las regiones sur, este y oeste utilizaron tanto cenizas volantes como cemento de escoria, las del norte utilizaron solo el primero, ya que el mayor costo de transporte del cemento de escoria resultó en mezclas antieconómicas. Para la producción de concreto de alta resistencia se utilizaron materiales microfinos como el humo de sílice o el cemento de escoria ultrafino;
- El porcentaje de reemplazo de OPC con SCM varió de una planta a otra (como se evidencia en la Fig. 3). El reemplazo promedio de OPC por SCM de 17 plantas fue aproximadamente del 25%; y
- Se descubrió que una abrumadora mayoría de las plantas de RMC con sede en la ciudad tenían sistemas estrictos de control de la contaminación, incluida la cubierta sobre contenedores de agregados, rociado de agua sobre los agregados para eliminar el polvo, silos equipados con filtros de control de polvo en la parte superior e inferior con liberación de válvulasde presión y sistemas recuperadores para el tratamiento del concreto recuperado. Algunas plantas incluso tenían un sistema de filtro prensa que funcionaba para reutilizar eficazmente el lodo y el agua reciclada.

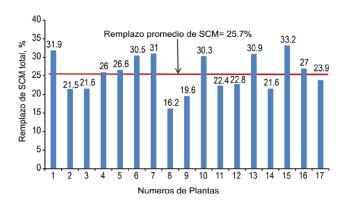


Fig.3: Porcentaje por planta del reemplazo total de OPC por SCM

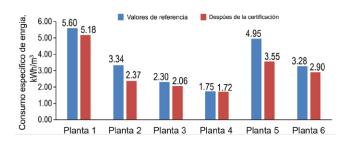


Fig.4: Comparación del consumo de energía específico posterior a la certificación con los valores de referencia (Nota: 1 kWh/m³ = 0,765 kWh/yd³)

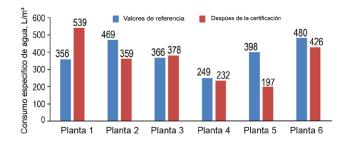


Fig.5: Comparación del consumo específico de agua posterior a la certificación con los valores de referencia (Nota: 1L/m³ = 0.2 gal/yd³)

# Reducción Pos-Certificación del CO<sub>2</sub> incorporado

Con un plan para evaluar el resultado de la certificación GreenPro, se solicitó a las plantas de RMC que compartieran sus datos posteriores a la certificación. De las 17 plantas certificadas, seis respondieron positivamente. El equipo de GreenPro analizó los datos posteriores a la certificación de las seis plantas y se compararon cuatro parámetros clave con los parámetros de referencia obtenidos de la certificación. Las seis plantas mostraron reducciones en el consumo específico de energía eléctrica (consulte la Fig. 4). El consumo promedio bajó de 3,40 a 2,80 kWh/m³ (2,6 a 2,2 kWh/yd³).

El requerimiento promedio de agua específica para las seis plantas disminuyó, de 373 a 335 L/m³ (75 a 68 gal./yd³), aunque las Plantas No. 1 y 3 mostraron un aumento (consulte la Fig. 5). La sustitución promedio de OPC con SCM de las seis plantas aumentó, de 28,6 a 31,14%, aunque la Planta No. 2 mostró una reducción del 3% en la sustitución (ver Fig. 6).

El equivalente de dióxido de carbono incorporado (CO2e) se calculó para el hormigón vegetal (CO2e significa la cantidad de CO2 que tendría el impacto equivalente en el calentamiento global). El CO2e

posterior a la certificación se compara con los valores de referencia de la figura 7. Para tales cálculos, el CO<sub>2</sub>e incorporado se consideró como 0,82 kg CO<sub>2</sub>e por kg de cemento (0,82 kg CO<sub>2</sub>e/kg [1,8 lb CO<sub>2</sub>e/lb]) y se basó en el informe de CII.<sup>16</sup>

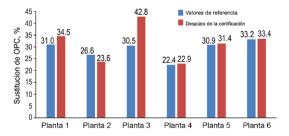


Fig.6: Mejora posterior a la certificación en sustitución de OPC de seis plantas

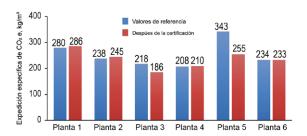


Fig.7: Comparación de las emisiones de CO2 específicas posteriores a la certificación con los valores de referencia medidos como kilogramos de CO₂e por m³ de concreto (Nota: 1 kg/m³ = 1,7 lb/yd³)

De la base de datos mantenida por CII, los valores de intensidad de CO<sub>2</sub> para cenizas volantes y cemento de escoria se asumieron como 0.004 y 0.071 kg CO<sub>2</sub>e/kg (0.0088 y 0.156 lb CO<sub>2</sub>e/lb), respectivamente. Los valores de CO<sub>2</sub>e de los agregados de origen local, al ser marginales, se despreciaron.

El promedio posterior a la certificación de las seis plantas disminuyó de un valor base de 0.251 a 0.233 CO<sub>2</sub>e/m³ (0.192 a 0.178 CO<sub>2</sub>e/yd3), mostrando una reducción de 7.2%. Considerando que las seis plantas informaron al equipo de evaluación que produjeron 350,215 m³ (458,100 yd³) de concreto, la reducción en el CO<sub>2</sub>e incorporado asciende a 6304 toneladas métricas (6949 toneladas cortas). Este pequeño logro inicial sin duda alentaría a nuestro equipo a continuar los esfuerzos futuros en esta área.

#### Conclusión

La implementación a escala piloto de un esquema de certificación verde desarrollado localmente en la India no solo ayudó a mejorar la conciencia general sobre la necesidad de hacer cumplir tales medidas, sino que también provocó la bienvenida a mejoras.

Esto fue evidente a partir del análisis de los datos posteriores a la certificación de seis plantas, que mostraron una reducción en el uso específico de electricidad y en el consumo específico de agua, así como una mejora en la sustitución de OPC por SCM. La reducción posterior a la certificación del 7,2% en el CO<sub>2</sub>e incorporado del concreto de las seis plantas puede considerarse un logro valioso.

#### Referencias

- 1. "Calentamiento global de 1,5 ° C: Resumen por Resposable Politicos ", Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, Ginebra, Suiza, oct. 2018, 32 págs.
- "Declaración de producto ambiental: EPD promedio de la industria miembro de NRMCA para concreto págs. premezclado", Asociación Nacional de Concreto Premezclado, Alexandria, VA, noviembre de 2019, 34 págs.
- "Metodología propuesta para cuantificar y reducir la huella de carbono de un edificio de concreto", Asociación Nacional de Concreto Premezclado, Alexandria, VA, 2019, 21 págs.
- 4. "Manual Técnico CSC Versión 1.0 2017", Consejo de Sostenibilidad del Concreto, Ginebra, Suiza, 17 de febrero de 2017, 126 págs.
- 5. "GCCA lanza la herramienta de EPD de la industria como parte de los esfuerzos continuos de la industria para reducir el impacto ambiental y apoyar los objetivos de sostenibilidad global", Global Cement and Concrete Association, Londres, Reino Unido, 7 de octubre de 2019, www.gccassociatin.org/news/gccalaunches-industry-epd-tool-as-part-of-ongoingindustry-efforts-to-reduce-environmentalimpact-and-support-global-sustainability-goals.
- 6. "The 2030 Challenge," Architecture 2030, www.architecture2030.org/2030\_challenges/2030-challenge. Consultado el 1 de diciembre de 2020.
- 7. "Committing to Net Zero," SE 2050, www.se2050.org Consultado el 1 de diciembre de 2020.
- 8. Sakai, K. y Buffenbarger, J., "ACI Concrete Sustainability Forum XI", Concrete International, V. 41,

No. 3, marzo de 2019, págs. 47-51.

9. "Power Sector at a Glance", Ministerio de Energía, Gobierno de India, Nueva Delhi, India, 17 de marzo de 2020.

10. "Mapa energético nacional para la India: Visión tecnológica 2030", TERI Press, The Energy and Resources Institute, Nueva Delhi, India, agosto de 2011, 27 págs.

11. "Perfil de emisiones de GEI de la India: resultados de cinco estudios de modelización climática", Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, Gobierno de la India, Nueva Delhi, India, septiembre de 2009, 56 págs.

12. Joshi, M., "The Road from Paris: Progress on India's Climate Pledge", Consejo de Defensa de los Recursos Naturales, 10 de diciembre de 2019, www.nrdc.org/ expert/anjali-jaiswal/road-paris-indias-advancementits-climate-pled

13. Kulkarni, V., "Uso de Cenizas Volantes en Concreto: Escenario actual de la India y un Estudio de caso sobre HVAC para la Construcción de Muros de Corte en India", Conferencia Internacional EUROCOALASH, Dundee, Reino Unido, junio 2019.

14. Kulkarni, V. y Joshi, R., "Evolucuon de la Certificación Ecológica para el Concreto Premezclado en la India", XVIII Congreso ERMCO, Oslo, Noruega, junio de 2018.

P.K., "Global Concrete 15. Mehta, Industry Sustainability," Concrete International, V. 31, No. 2, febrero de 2009, págs. 45-48.

16. "Documento de debate sobre cemento compuesto", Confederación de la Industria de la India, CII — Centro de Negocios Ecológicos Sohrabji Godrej, Hyderabad, India, 20 de mayo de 2016.



El miembro de ACI, **Vijay Kulkarni**, fue vicepresidente del Capítulo de ACI India de 2005 a 2007. Fue el consultor principal de RMCMA y contribuyó desarrollo e implementación del esquema de calidad para el concreto premezclado en India. Fue presidente del Indian Concrete Institute (ICI) de 2009 a 2011 y actualmente es el presidente del Indian Concrete Institute (ICI) de 2009 a 2011 y actualmente es el

presidente del Comité de Durábilidad de ICI. Es el presidente del Comité Técnico para la certificación GreenPro. Es ex-editor del Indian Concrete Journal.



Ramesh Joshi, ingeniero civil con un posgrado en administración, tiene tres décadas de experiencia en diferentes facetas de la industria del cemento. Ha desempeñado diversos roles en toda la India, desarrollando conocimientos profundos en negocios que involucran concreto premezclado, cemento gris y cemento blanco. Actualmente es el presidente de RMCMA de la India v el líder de la alta dirección para la índustria del concreto y el cemento. Es un miembro activo del comité de GCCA sobre pautas concretas.



Utsav Biharilal Tayade es Consejero Asociado de CII — Sohrabji Godrej Green Business Center, Hyderabad, India. Tiene más de 7 años de experiencia laboral en ecoetiquetado y eficiencia energética. Ha contribuido a la implementación de una hoja de ruta de bajas emisiones de carbono para la industria del concreto premezclado a través del desarrollo e implementación del programa de ecoetiquetado GreenPro en India.



S. Karthikeyan es consejero principal Sohrabji Godrej Green Business Center. Tiene más de 20 años de experiencia en eficiencia energética industrial, edificios ecológicos y ecoetiquetado. Ha sido fundamental en el diseño y desarrollo de GreenPro, una etiqueta ecológica india, que tiene como objetivo facilitar la transformación del mercado de productos ecológicos en el país.

#### La traducción de este artículo correspondió a la Sección México Noroeste.

Título: Una nueva forma de protección contra los daños por hielo-deshielo.



Traductor: Cristian Silva



Revisor Técnico: Ing. Genaro Salinas

24

### Concreto

## **P&R** \_\_

# Diseño de anclajes y rigidez de la placa-base

P. Estamos diseñando placas-base que serán ancladas usando pernos embebidos en un fuste de concreto. En la Sección de Comentarios R17.2.1 del ACI 318-19 se establece lo siguiente: "Si la resistencia de un grupo de anclajes está gobernada por la rotura del concreto, el comportamiento es frágil y, por lo tanto, existe una redistribución limitada de fuerzas entre los anclajes más y menos tensionados del grupo. En este caso, se requiere utilizar la teoría de elasticidad asumiendo que la placa que distribuye las cargas a los anclajes es suficientemente rígida. Las fuerzas en los anclajes son calculadas mediante la proporcionalidad con la carga externa y la distancia desde el eje neutro del grupo de anclajes".

Sin embargo, si utilizamos el agotamiento de la resistencia de los pernos de anclaje y no la rotura del concreto como mecanismo de falla, ¿es todavía necesario diseñar una placa-base lo "suficientemente rígida" para asegurar que las cargas en los anclajes se distribuyan de acuerdo con una variación elástica (es decir, proporcional a la carga externa y a la distancia desde el eje neutro del grupo de anclajes)? Esta pregunta se origina en el diseño de placas-base fuertemente cargadas para las cuales se trata de evitar dimensionar las mismas con espesores muy grandes.

R. Independientemente de cómo se realice el diseño de la placa-base, los pernos de anclaje traccionados de la conexión deben resistir el momento flector en columna. A los efectos del diseño posible considerar dos límites casos para el comportamiento de la placa según estemos diseñando la placa-base o los anclajes traccionados. Para dimensionar la placa-base consideramos la placa como rígida. Esto nos proporciona la mayor distancia desde la reacción de compresión al punto crítico de la placa-base y, por lo tanto, el máximo momento flector en la placa (Fig. 1(a). Por su parte, para dimensionar los anclajes a tracción consideramos la placa como flexible. Esto proporciona el brazo interno de momento más pequeño y, por lo tanto, las fuerzas axiles de diseño más grandes en los pernos de anclaje (Fig. 1(b)). En la Fig. 1 se desprecian los efectos de las fuerzas axiales que actúan sobre la placa. La fuerza de corte podría ser distribuida en forma uniforme entre todos los anclajes o a un conector de corte en la placa (no mostrado en la figura). Nótese que cuando se evalúa una placa como rígida, se asume que la fuerza de compresión C está ubicada en la punta de la placa (Fig. 1(a)). Esto proporciona un límite inferior de las fuerzas de tracción en los anclajes va que el brazo interno es máximo. Esta hipótesis también resulta en el máximo momento flector en la placa. Si se requiere que la conexión tenga un comportamiento dúctil, se necesita que el elemento dúctil esté constituido por los anclajes en tracción.

Por el contrario, cuando se evalúa una placa como flexible, la fuerza de compresión C se puede asumir ubicada a una distancia x del ala de la columna (Fig. 1(b)).

Mientras que x se puede calcular como M/C o Mp/C, donde M es momento flector y Mp el momento plástico de la placa, no existe una solución analítica para el valor de C. Sin embargo, una asunción razonable para la ubicación de C es x=tpl, donde tpl es el espesor de la placa. SI la placa alcanza Mp, la conexión podría ser dúctil. Esto depende también de la deformación de los anclajes traccionados.

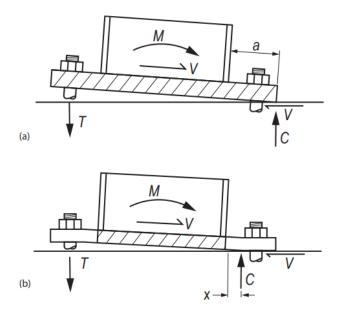


Fig.1: Los siguientes dos casos límites pueden ser considerados para el diseño. Asumir la placa-base: (a) rígida y (b) flexible (basada en la Fig. 2.12 de la Referencia 2). (Nota: M es el momento flector, T es la fuerza de tracción, C es

la fuerza de compresión, V es la fuerza de corte)

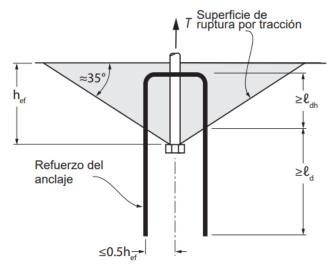


Fig.2: Armadura de anclaje de los esfuerzos de tracción, donde hef es la profundidad embebida efectiva del perno de anclaje (Nota: T es la fuerza de tracción actuando sobre el anclaje o grupo de anclajes, lah es la longitud de desarrollo en tracción de una barra con un gancho estándar y la es la longitud de desarrollo en tracción de una barra)

Para mitigar el modo de falla por rotura del concreto (mostrado en la Fig.2) se puede utilizar armadura de refuerzo. Esta armadura debe ser desarrollada apropiadamente de acuerdo con el Reglamento ACI 318 dentro del cono de falla del concreto anclándose más allá de la superficie del mencionado cono. Cuando el diseño se realiza con esta armadura de refuerzo, el modo de falla por rotura del concreto no necesita ser verificado.

#### Referencias

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

2. Cook, R.A., and Klingner, R.E., "Behavior and Design of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," Report No. FHWA/ TX-89+1126-3, Texas Department of Transportation, Austin, TX, 1989, 214 pp.



Título: Concreto Preguntas y Respuestas Diseño de anclajes y rigidez de la placa-base.



Traductor y Revisor Técnico: Dr. Raul Bertero.

