

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

VOLUMEN VI | NÚMERO 7 | JULIO 2025

Zigzags para
Construcción Sostenible

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

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina

Dr. Raúl Bertero

Colombia

Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabián Augusto Lamus Báez

Costa Rica

Ing. Minor Murillo Chacón

Ecuador Centro y Sur

Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín

Guatemala

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Luis Álvarez Valencia

México Noreste

Dr. Alejandro Durán Herrera

México Noroeste

Ing. Raúl Alvarado Barbachano

México Centro y Sur

Ing. José Alfredo Rodríguez Campos

México Sureste

Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala

República Dominicana

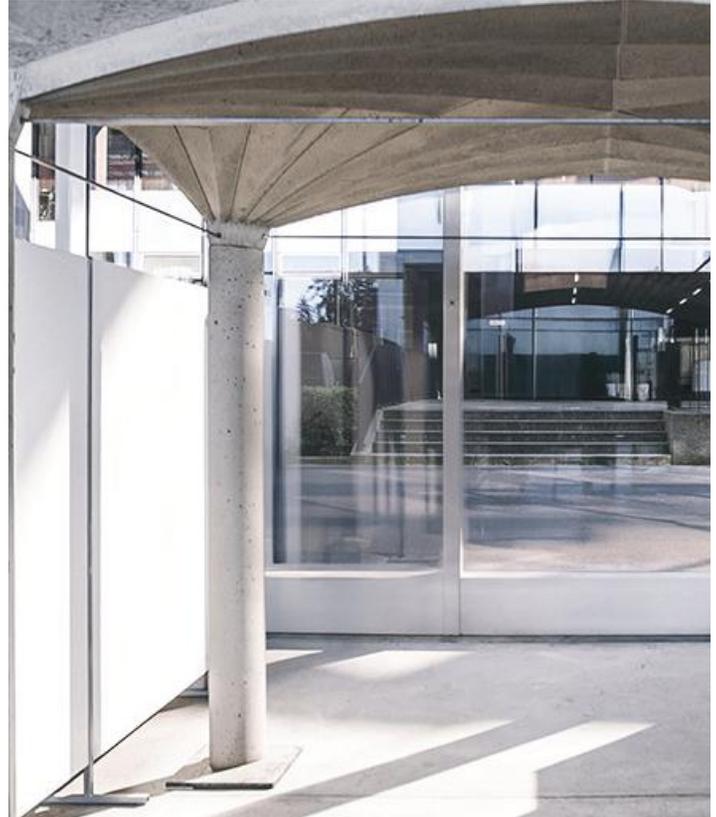
Ing. Piero Roberto Caputo Rodríguez

Perú

Ing. Julio Antonio Higashi Luy

Puerto Rico

Ing. Anabel N. Merejildo



Investigadores en Suiza han desarrollado una solución estructural innovadora que permite reducir el uso de acero y concreto mediante losas abovedadas con geometría optimizada. El sistema utiliza cimbras flexibles de madera contrachapada, articuladas con bisagras textiles que se despliegan en forma de abanico.

Denominado Unfold Form, este método destaca por su facilidad de fabricación, transporte e instalación, posicionándose como una alternativa eficiente y sostenible para la construcción moderna.

En la fotografía destaca la superficie de contacto del concreto de la losa con la cimbra, el cual toma la forma de abanico mencionada. Consulta el artículo 3 de este número para conocer los detalles técnicos del sistema.

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 Julio de 2025. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

COMITÉ EDITORIAL

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: concretolatam@gmail.com
Tel: +52 81 2146 4907

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

Presidente del Comité Editorial:

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

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editores Asociados:

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

Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendaríz Solís

Diseño Gráfico:

LDI. Hannia Annett Molina Frías
LDG. Anakaren Lozano González

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

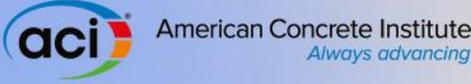
Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

REVISORES EDITORIALES

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

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

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



¡Únete hoy!

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



CONTENIDO

1 | Novedades en Tecnología.
La Ventaja del Concreto Lanzado: Mejorando el Acceso, la Eficiencia y la Seguridad en la Mitigación de Riesgos Geológicos

Por Simon Boone

5 | **Reducción de los Tiempos de Construcción con Concreto Reforzado con Fibras**

Un proyecto de extensión del tren ligero en Phoenix rediseñado para integrar fibras

Por Deborah R. Huso

2 | **Comprendiendo la misteriosa sobrerresistencia de elementos postensados sujetos a flexión**

¿Nos hemos estado perdiendo algo?

Por K. Dirk Bondy, Ken Bondy y Bryan Allred

6 | Preguntas y Respuestas.
Requisitos de Resistencia para el Descimbrado de Losas de Concreto

3 | Novedades en Tecnología.
Zigzags para Construcción Sostenible

7 | ¿Quiénes somos y qué hacemos?
Nombran entre los mejores de USA a tres Investigadores de la Universidad de Miami

4 | Punto de Vista.
Cemento Tipo II y Descascaramiento del Concreto

Por David R. Lankard

CONVOCATORIA

CONCRETO LATINOAMÉRICA

¿Publicar tus artículos de investigación y casos de estudio en nuestra revista?

¡Es muy fácil!

Descarga la Guía de Publicación



¡Escanea para conocer los requisitos!

Llena la Carta de Solicitud



¡Escanea para completar tus datos!

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

Tu solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.

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

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

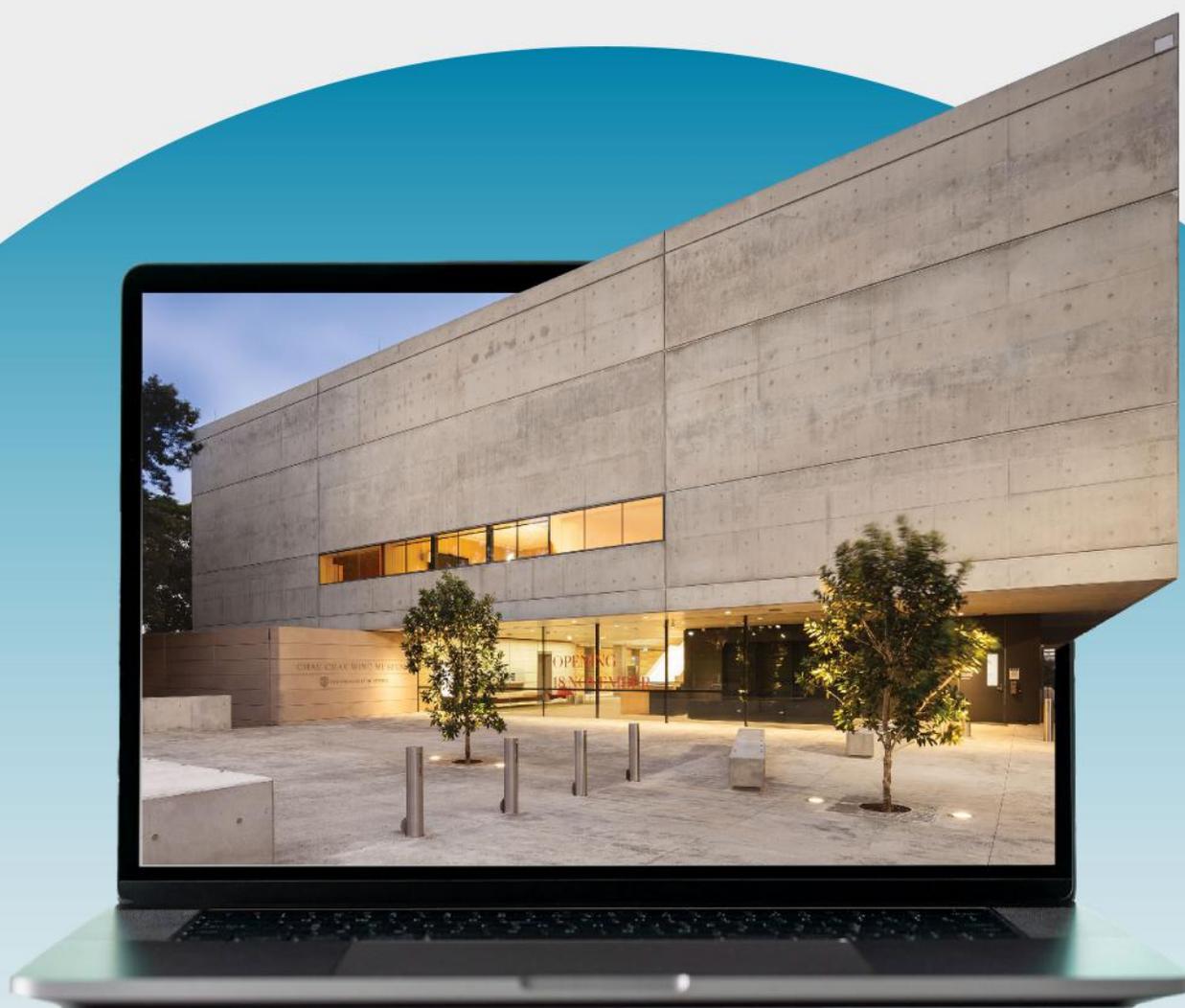
AQUÍ ENCUENTRAS...

PUBLICACIONES PASADAS

DIRECTORIO CAPÍTULOS ACI

NOTICIAS

EVENTOS



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

La Ventaja del Concreto Lanzado: Mejorando el Acceso, la Eficiencia y la Seguridad en la Mitigación de Riesgos Geológicos

Por Simon Boone

En los últimos años, el concreto lanzado (shotcrete) ha surgido como una herramienta importante para la mitigación de riesgos geológicos debido a su versatilidad, resistencia y sostenibilidad en la estabilización de taludes, protección contra caídas de rocas y prevención de la erosión. El concreto lanzado se puede aplicar rápidamente incluso en las superficies más irregulares y se puede personalizar para adaptarse a casi cualquier forma o estructura, incluidas las superficies verticales o en altura. La aplicación implica proyectar una mezcla de cemento, agregado y agua sobre una superficie a alta velocidad. Esto crea una capa densa y duradera con características de comportamiento generalmente equivalentes al concreto colado en el lugar, pero con adaptabilidad para ubicaciones de difícil acceso y eficiencia para la respuesta de emergencia.

Versatilidad en Ubicaciones Desafiantes

Una de las mayores ventajas del concreto lanzado es su versatilidad. El concreto lanzado se puede aplicar a pendientes naturales y diseñadas, y se puede integrar sin problemas con técnicas de clavado en suelos y anclajes de roca, lo que lo hace popular en sistemas de retención de tierra y soporte estructural como pantallas de pilotes y muros de contención con revestimiento.

En la mitigación de riesgos geológicos, a menudo se utiliza concreto lanzado para estabilizar pendientes donde la roca o el suelo son propensos a caer o deslizarse. El tiempo de fraguado rápido del material acelera la finalización del proyecto, reduciendo el tiempo en que las pendientes o las paredes rocosas son vulnerables. Más allá de sus capacidades estructurales, el concreto lanzado se puede esculpir para fines estéticos. Dar forma al concreto inmediatamente después de la aplicación permite incluir texturas decorativas o emular formaciones rocosas naturales. Este enfoque ayuda a integrar las medidas de mitigación en el entorno

circundante y permite que las estructuras de soporte funcional se mezclen con los paisajes naturales.

Mayor Resistencia en Pendientes en Riesgo

La resistencia del concreto lanzado radica en su capacidad para crear una superficie altamente duradera y estable. La aplicación de concreto lanzado es un proceso de múltiples pasos, que incluye la limpieza exhaustiva de la superficie objetivo, la colocación de varillas de refuerzo o refuerzo de alambre, y la pulverización de una mezcla de concreto a alta velocidad. Cada capa de concreto forma un recubrimiento que se adhiere, resiste el movimiento y proporciona estabilidad.

Mayor Seguridad en Sitios de Trabajo Complejos

La seguridad siempre es una preocupación en los proyectos de mitigación de riesgos geológicos, y las aplicaciones de concreto lanzado juegan un papel significativo en la mejora de la seguridad en el sitio para las brigadas de trabajo. Empleados desde 2022, los robots de concreto lanzado eliminan la necesidad de que los técnicos sostengan manualmente una manguera durante la aplicación. Estos robots se pueden controlar mediante controles remotos inalámbricos, lo que permite al operador observar de manera segura las colocaciones que de otro modo serían difíciles de alcanzar y podrían ser potencialmente peligrosas.

Proporcionando una Solución Sostenible

El concreto lanzado es una solución indispensable en la mitigación de riesgos geológicos, destacándose en su capacidad para estabilizar taludes, proteger contra caídas de rocas y prevenir la erosión de manera segura y efectiva. También se destaca por sus beneficios de sostenibilidad, alineándose con la creciente demanda de prácticas de construcción ambientalmente responsables. El proceso minimiza el desperdicio de materiales y las perturbaciones del suelo, mejora la calidad del agua al reducir el escurrimiento y la sedimentación, e incorpora materiales reciclados, todo sin comprometer el rendimiento. A medida que los riesgos geológicos continúan creciendo, el concreto lanzado ofrece a los equipos una solución integral de mitigación que equilibra la resistencia, la seguridad y la sostenibilidad, asegurando que las comunidades y la infraestructura permanezcan protegidas.



Perforación en agujeros a cielo abierto.



Instalación de clavos en el suelo y malla de alambre instalados durante las primeras etapas de un muro reforzado



Después de la aplicación de concreto lanzado aplicado por un robot.



Vista aérea del muro completado.

Proyecto de Muro Reforzado

En julio de 2024, GeoStabilization International reforzó un muro de suelo utilizando concreto lanzado para un gran centro de datos en Atlanta, GA, EE. UU. Aunque el diseño ya estaba finalizado, el equipo de construcción enfrentó desafíos significativos debido a los largos tiempos de entrega de materiales especiales, incluidos los clavos de suelo galvanizados encapsulados. Para abordar esto, GeoStabilization propuso utilizar clavos de suelo de barra hueca en su lugar, manteniendo las especificaciones del proyecto mientras se aceleraba la adquisición para cumplir con el exigente cronograma. Apoyándose en su experiencia en ingeniería y compromiso con soluciones de valor agregado, GeoStabilization implementó técnicas innovadoras, incluido el uso de un robot de concreto lanzado, para mejorar aún más la eficiencia. Esto resultó ser efectivo durante la instalación de la capa estructural inicial del muro. El equipo también implementó plataformas de perforación de agujeros a cielo abierto para aumentar los índices de producción de 800 a impresionantes 1,800 pies lineales (244 a 550 m) por día. Estas estrategias optimizaron el proyecto y aseguraron una entrega oportuna a pesar de los requisitos exigentes. La seguridad siguió siendo una prioridad máxima durante todo el proyecto. GeoStabilization empleó técnicas de perforación de un solo golpe en agujeros a cielo abierto, eliminando la necesidad de cambios de acero de perforación y

reduciendo significativamente el riesgo. El robot de concreto lanzado minimizó aún más la exposición del trabajo manual a actividades de alto riesgo, mejorando la seguridad y eficiencia en el sitio. También se implementaron medidas de protección para salvaguardar los árboles cercanos y las áreas boscosas, particularmente a lo largo de la parte superior del muro. Se aplicaron estrictos protocolos de contención para prevenir la contaminación por la maquinaria y los materiales de cemento, minimizando el impacto ambiental del proyecto.

El éxito de este proyecto subraya la integración efectiva de tecnologías avanzadas y soluciones innovadoras en la ingeniería geotécnica. Al combinar robótica de concreto lanzado, ajustes estratégicos en la adquisición y un trabajo en equipo efectivo, GeoStabilization entregó un muro de contención de alta calidad para el centro de datos.

Seleccionado por interés de los lectores por los editores.

Como Director de Ingeniería, **Simon Boone** lidera el equipo de ingeniería de GeoStabilization International en los Estados Unidos y Canadá. Trabaja en estrecha colaboración con los equipos de ventas y operaciones para diseñar y construir soluciones innovadoras y económicamente viables para los clientes. Antes de unirse al equipo, pasó casi 6 años trabajando como Gerente de Proyectos para Access Limited Construction, una empresa que GeoStabilization adquirió en 2022. Aporta una gran experiencia en mitigación de riesgos geológicos al equipo con un trasfondo en geología de ingeniería y construcción.



Título original en inglés:
Tech Spotlight.
**The Shotcrete Advantage:
Enhancing Access,
Efficiency, and Safety in
Geohazard Mitigation**

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



Traductora:
**Paola Milene
Sapacayo Peláez**
Estudiante



Revisora Técnica:
**Ing. Karen Jhazmin
Valencia Cruz**

Comprendiendo la misteriosa sobrerresistencia de elementos postensados sujetos a flexión

¿Nos hemos estado perdiendo algo?

Por K. Dirk Bondy, Ken Bondy y Bryan Allred

En 1986, Bijan Aalami y Florian Barth elaboraron el documento “Grietas por restricción y su mitigación en estructuras de edificios postensados sin adherencia”,¹ y lo presentaron en la Convención del Concreto del ACI en Baltimore, MD, EE. UU. Con respecto a la posible pérdida de resistencia a flexión debido a restricción, los autores afirmaron: “En resumen, se concluye que las grietas [de restricción] en las losas no reducen significativamente la resistencia final [a flexión] de una sección y, por lo tanto, su factor de seguridad contra fallas”!

Esto fue aceptado por la comunidad de diseñadores por muchas razones, pero principalmente porque coincidía con el desempeño observado de losas y vigas postensadas (PT) que habían experimentado agrietamiento por restricción. La conclusión también fue respaldada por los ensayos de elementos de PT tanto en construcciones reales como en laboratorio, que mostraron regularmente una capacidad a flexión significativamente mayor de lo previsto utilizando métodos tradicionales, con y sin agrietamiento por restricción.

Hasta donde sabemos, no se ha hecho ningún intento serio de cuantificar la sobrerresistencia observada de los elementos PT sujetos a flexión. Era suficientemente bueno para los ingenieros saber que teníamos más capacidad a flexión de lo que predecían nuestros cálculos, y que no necesitábamos preocuparnos por los efectos del agrietamiento por restricción en la resistencia a flexión.

Sin embargo, con la popularidad en aumento del postensado y la afluencia de diseñadores y diversas opciones de software, hemos notado un resurgimiento de las preocupaciones sobre el agrietamiento por restricción y su efecto en la capacidad a flexión, planteadas principalmente por los propios desarrolladores de software. El propósito de este artículo es explicar por qué tenemos tanta capacidad en los miembros a flexión PT adicional a la que predicen nuestros cálculos, y asegurar a los ingenieros calculistas que la fisuración por

restricción no debería ser una preocupación con respecto a la resistencia a flexión.

Comenzaremos con nuestra conclusión, luego explicaremos las pruebas de nuestro argumento. Nuestra conclusión es que los cálculos tradicionales de diseño de la capacidad de flexión en los libros de texto y el software de diseño común ya incluyen la suposición de restricción total. A diferencia del diseño de columnas de concreto en el que se usa la compresión axial para generar un diagrama de interacción de fuerza axial y momento flector (P - M), donde la compresión axial nominal aumenta claramente la capacidad a momento de la sección, el beneficio de la compresión axial se ignora en el diseño a flexión de losas y vigas PT. En otras palabras, para la capacidad a flexión, se supone que la sección tiene cero precompresión, lo que es consistente con una restricción del 100%. Esto no debe confundirse con la forma en que calculamos los esfuerzos de servicio en los miembros de concreto PT. En este análisis, incluimos la fuerza axial de precompresión, pero esa es una discusión diferente.

Elementos totalmente restringidos frente a elementos sin restricción

Considérese el elemento PT simplemente apoyado representado por los diagramas de cuerpo libre (DCL) en la Fig. 1 (a). Esta figura representa el estado actual del diseño de la capacidad a flexión en los libros de texto y en la mayoría del software. La precompresión axial no se utiliza en el cálculo de la resistencia a la flexión de la barra, que por lo tanto representa un miembro totalmente restringido. La fuerza de precompresión es resistida por los contrafuertes y nunca se traslada en compresión al propio miembro.

La figura 1 (b) representa la misma sección, pero bajo el supuesto de que no hay pérdida de precompresión debido a restricción. La fuerza de compresión axial se aplica directamente a la viga, por lo que la suma de las fuerzas en la sección debe ser igual a la carga de precompresión. De manera similar a un diagrama de interacción de columnas de concreto, si se incluye la carga axial, la capacidad de momento calculada de la sección será típicamente mayor y, a menudo, sustancialmente mayor. Lo que a veces confunde a ingenieros y estudiantes es que en los DCL de la Fig. 1 (a), la suma de las fuerzas en la dirección horizontal es cero; sin embargo, en los DCL de la Fig. 1 (b), la suma de las fuerzas en la dirección horizontal es F , la compresión axial.

Echemos un vistazo más de cerca de la sección transversal de cada una de estas condiciones.

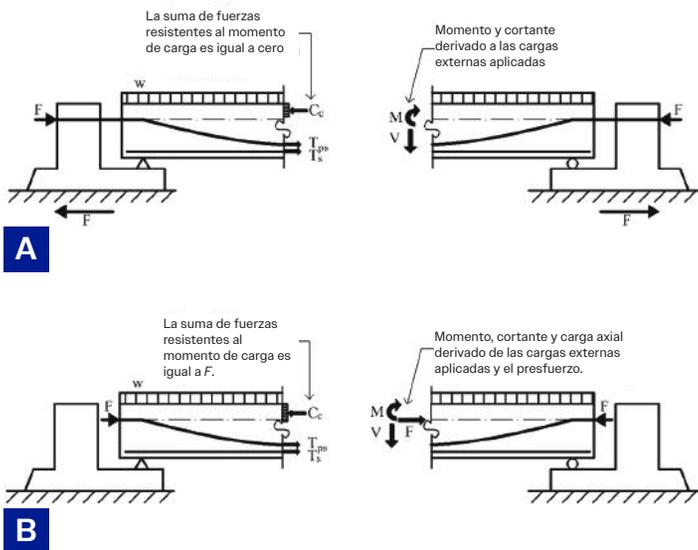


Figura 1. Diagrama esquemático de: (a) las fuerzas internas de resistencia al momento M derivado de la carga aplicada. La fuerza de precompresión F se asume cero en un diseño tradicional; y (b) las fuerzas internas de resistencia al momento M . F está presente a través de toda la viga (No hay pérdidas derivadas de la restricción asumida)

La capacidad de momento nominal utilizando el modelo típico de la Fig. 2 (a) se calcula así:

$$M_n = C_c(d_3) - T_{ps}(d_2) - T_s(d_1)$$

Este es el modelo típico y clásico utilizado en la mayoría de los libros de texto y programas de software.

La capacidad de momento nominal utilizando el modelo que incluye la compresión axial en la Fig. 2 (b) se calcula como:

$$M_n = C_c(d_4) - F(d_3') - T_{ps}(d_2) - T_s(d_1)$$

En este modelo, para la mayoría de los valores de precompresión normalmente utilizados en vigas y losas, la capacidad de momento nominal será mayor que para la misma sección en la Fig. 2 (a). Una revisión de los diagramas de interacción de columnas ayudará al lector a recordar por qué es así.

Revisión de diagramas de interacción de columnas

Al explicar el tema de resistencia a flexión y restricción, es útil recordar a los estudiantes cómo se elaboran los diagramas de interacción de columnas de concreto (ver Fig. 3). Una comprensión profunda de los diagramas de interacción aclara en gran medida la capacidad de momento real de los miembros de concreto PT. Tanto en columnas como en elementos a flexión de concreto presforzado, existe una carga axial que contribuye a la capacidad de flexión del miembro. Esto está bien entendido y ha sido un método de análisis aceptado para el diseño de columnas durante generaciones.

Hay que recordar que un diagrama de interacción

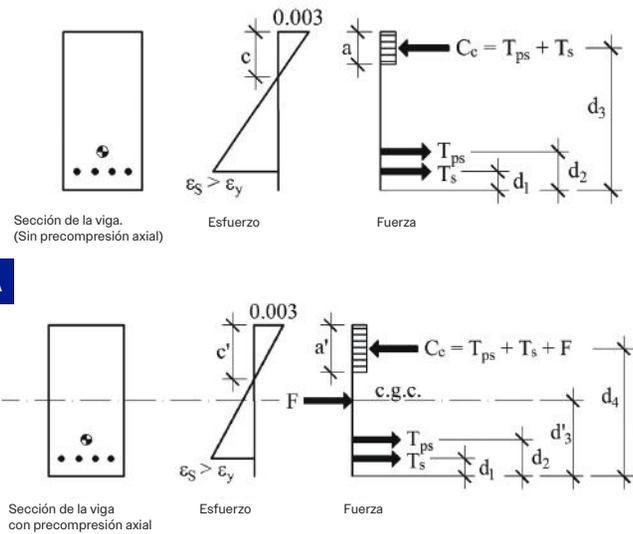


Figura 2. Diagrama esquemático de: (a) modelo tradicional usado para determinar la capacidad de momento (ignorando la precompresión); y (b) modelo de interacción incluyendo la precompresión axial.

de columnas se genera normalmente moviendo el eje neutro C desde cero hasta la profundidad total del miembro. Para cada valor de C , se calcula la deformación en la armadura, así como el esfuerzo y la fuerza asociadas. La fuerza de compresión en el concreto está en función de la profundidad del eje neutro porque la profundidad del bloque de esfuerzos a es $\beta_1 c$. Esto determina la fuerza en el concreto. La suma de estas fuerzas para cualquier c no será cero, sino que será igual al valor de P_n actuando en el centroide. Una vez que se conoce P_n , una simple suma de momentos alrededor de cualquier punto da M_n . Esto da como resultado un punto $P-M$ en el diagrama de interacción.

Como se puede observar en el diagrama de interacción, con baja carga axial los incrementos de esta aumentan la capacidad a momento del elemento, y este aumento puede ser muy significativo cerca al punto de balance.

En concreto PT conocemos el valor de la carga axial, por lo que no necesitamos calcularla. Si elegimos incluirlo en el cálculo de la capacidad de momento, podríamos hacerlo fácilmente, como se muestra en la Fig. 2.

La inclusión de la carga axial en el cálculo aumentará la capacidad de flexión del elemento. Sin embargo, esta no es una práctica estándar en los libros de texto o en los programas de software más comunes. En algún momento de la historia, los profesionales del pos-tensado decidieron de forma conservadora no incluir la carga axial en este cálculo. Esto se debe probablemente a que se sabía que

se presentaría restricción y, el no tener en cuenta la carga axial de precompresión, siempre sería una posición conservadora independientemente de la magnitud de la restricción.

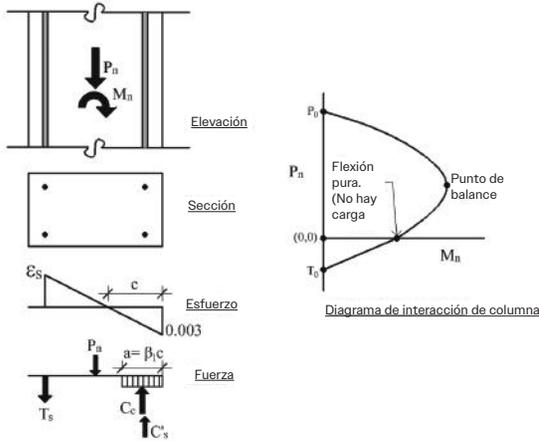


Fig. 3: Diagrama de interacción de columna.

Ejemplo de losa en dos direcciones

Considere el siguiente diseño muy típico de una losa de estacionamiento PT en dos direcciones:

Espesor de la losa: 8 pulg.

Ancho aferente o tributario: 23 pies 0 pulg.

Número de tendones de 1/2 pulg. de diámetro: 14

Resistencia a la compresión del concreto f'_c : 5,000 psi

f_{pu} del tendón: 270 ksi

f_{ps} de los tendones: 198.4 ksi

f_{se} del tendón (después de las pérdidas): 174 ksi

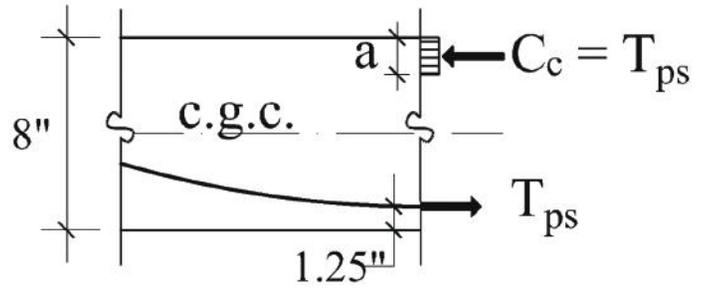
Fuerza de precompresión $F = A_{ps}(f_{se}) = 14(0.153 \text{ pulg.}^2)(174 \text{ ksi}) = 372.7 \text{ kip}$

Esfuerzo de precompresión: $372.7 \text{ kip} (23 \text{ pies} \times 12 \times 8 \text{ pulg.}) = 0.169$

Recubrimiento de concreto de los tendones: 1 pulg.

La resistencia nominal a la flexión en el momento positivo en la mitad del tramo se puede calcular utilizando los siguientes métodos:

(a) Método tradicional (se ignora la precompresión)



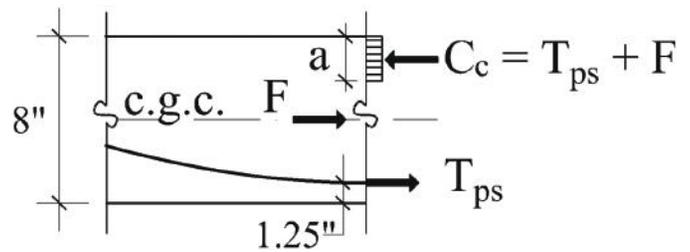
$$T_{ps} = A_{ps}(f_{ps}) = 14(0.153 \text{ pulg.}^2)(198.4 \text{ ksi}) = 425 \text{ kip}$$

$$C_c = T_{ps} = 425 \text{ kip}$$

$$a = \frac{425 \text{ kip}}{0.85(23 \text{ ft} \times 12)(5 \text{ ksi})} = 0.36 \text{ in.}$$

$$M_n = C_c(8 \text{ pulg.} - 1.25 \text{ pulg.} - a/2)/12 = 425 \text{ kip} (6.75 \text{ pulg.} - 0.36 \text{ pulg.}/2)/12 = 232.7 \text{ pies-kip}$$

b) Método de "interacción" (se incluye la precompresión)



$$T_{ps} = A_{ps}(f_{ps}) = 14(0.153 \text{ pulg.}^2)(198.4 \text{ ksi}) = 425 \text{ kip}$$

$$C_c = T_{ps} + F = 425 \text{ kip} + 372.7 \text{ kip} = 797.7 \text{ kip}$$

$$a = \frac{0.85(23 \text{ pies} \times 12)(5 \text{ ksi})}{0.85(23 \text{ ft} \times 12)(5 \text{ ksi})} = 0.68 \text{ pulg.}$$

$$M_n = [C_c(8 \text{ pulg.} - 1.25 \text{ pulg.} - a/2) - F(4 \text{ pulg.} - 1.25 \text{ pulg.})]/12 =$$

$$[797.7 \text{ kip} (6.75 \text{ pulg.} - 0.68 \text{ pulg.}/2) - 372.7 \text{ kip} (2.75 \text{ pulg.})]/12 =$$

$$340.7 \text{ pies-kip}$$

La capacidad de momento nominal calculada de la losa de 8 pulg. en la región de momento positivo aumentó de 232.7 a 340.7 pies-kip por simplemente incluir la precompresión axial. Esto representa un aumento del 46% en la resistencia calculada.

¿Cómo se compara el método de interacción con los resultados de ensayos?

Históricamente, la resistencia a flexión experimental de miembros PT (vigas y losas unidireccionales y bidireccionales) siempre ha sido significativamente mayor que la resistencia a la flexión calculada utilizando métodos tradicionales sin la inclusión de la fuerza de precompresión. Esto generalmente se explica por suposiciones de “efecto catenaria”, aumentos de resistencia del material, etc. Sin embargo, la diferencia entre la resistencia a la flexión experimental y la calculada es tan grande que parece que a estas explicaciones les falta algo. Creemos que este “algo” es la fuerza de precompresión en el elemento.

Recientemente, Taye Ojo y Carin Roberts-Wollmann publicaron un artículo titulado “Comparación de losas postensadas con distribución de tendones uniforme y en bandas”.² Los resultados de los ensayos de ambos tipos de losas mostraron que la carga total en el momento de la falla fue aproximadamente un 50% mayor que la carga total factorizada utilizada para diseñar el sistema a ensayar. Esto se correlaciona bastante bien con nuestro análisis anterior con la precompresión incluida en los cálculos de capacidad de flexión.

Además, hasta donde sabemos, todas las pruebas de carga realizadas en sistemas de piso PT de edificios existentes han sido exitosas, incluso cuando el sistema ha exhibido un extenso agrietamiento debido a restricción por acortamiento. Esto también apoya la afirmación de que las técnicas de diseño tradicionales que ignoran la fuerza de precompresión subestiman significativamente la capacidad de flexión real del sistema. El límite inferior de nuestro enfoque de análisis tradicional de la capacidad de flexión es el sistema totalmente restringido.

En conclusión

La práctica estándar actual en el cálculo de la capacidad de flexión de miembros PT (vigas y losas) es ignorar de manera conservadora la precompresión en el elemento en ejemplos instructivos y en la mayoría del software comercial. La precompresión se incluye en el análisis de esfuerzos en servicio, pero se ignora en los cálculos de resistencia a la flexión. Este enfoque conservador subestima significativamente la capacidad a flexión real de estos miembros a menudo tanto como un 50%.

No estamos proponiendo cambio alguno en el cálculo de la capacidad a flexión de elementos de concreto PT. Nuestro propósito era explicar el porqué décadas de pruebas de carga en sistemas de piso de edificios reales y ensayos de laboratorio, consistentemente han indicado mayor capacidad que la predicha, y asegurar a los ingenieros diseñadores que la fisuración por restricción, no dará como resultado menor capacidad a flexión que la que predicen los cálculos. De hecho, la suposición de totalmente restringida coincide con los cálculos tradicionales de capacidad de flexión.

Referencias

1. Aalami, B.O., and Barth, F.G., “Restraint Cracks and Their Mitigation in Unbonded Post-Tensioned Building Structures,” Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 1986, 49 pp.
2. Ojo, T., and Roberts-Wollmann, C., “Comparison of Post-Tensioned Slabs with Banded-Uniform and Banded-Banded Tendon Arrangements,” ACI Structural Journal, V. 119, No. 4, July 2022, pp. 211-223.

Seleccionado por los editores como tema de interés para los lectores.

El Miembro Honorario de ACI **Ken Bondy** especializado en diseño y construcción de estructuras de edificios de concreto postensado por más de 50 años, ahora ya retirado, fue miembro de los Comités 132 de ACI, Responsabilidad en la Construcción de Concreto; 318, Código de Construcción de Concreto Estructural; y 332, Obra de Concreto Residencial, y Comité Conjunto ACI-ASCE 423, Concreto Pretensado. Es una “Leyenda del Postensado” del Instituto de Postensado (PTI), así como Miembro Honorario Vitalicio y Fellow. Recibió su grado y maestría en ingeniería civil de la Universidad de California, Los Ángeles en 1963 y 1964, respectivamente. Es ingeniero civil y estructural con licencia en California y ha obtenido licencias en muchos otros estados.



K. Dirk Bondy es ingeniero estructural en ejercicio en Newport Beach, CA, EE. UU., y tiene licencia en varios estados. También es el presidente de Seneca Structural Engineering, Inc., una firma especializada en el diseño de estructuras de concreto postensado. Enseña diseño de concreto pretensado en la Universidad de California, Los Ángeles, Los Ángeles, CA; y la Universidad Estatal Politécnica de California, San Luis Obispo.



Bryan Allred es vicepresidente de Seneca Structural Engineering, Inc., Newport Beach, CA. Es miembro del Consejo Asesor Técnico de PTI y de los Comités DC-20, Diseño de Edificios, y EDC-130, Educación; y del Comité Conjunto ACI-ASCE 423, Concreto Pretensado. Es coautor del libro Concreto Postensado: Principios y Práctica, cuarta edición.



Título original en inglés:
**Understanding the
Mysterious Overstrength
of Post-Tensioned
Flexural Members.
Have we been
missing something?**

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



*Traductor y
Revisor Técnico:*
**Ing. Pedro
Nel Quiroga**

Zigzags para Construcción Sostenible

La investigación realizada por el equipo del Profesor Philippe Block, de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (Eidgenössische Technische Hochschule, ETH Zúrich), ha demostrado que es posible alcanzar estabilidad estructural utilizando menores cantidades de concreto y acero. Uno de los proyectos desarrollados por el Grupo de Investigación Block (Block Research Group, BRG) consiste en elementos abovedados de entrepiso contruidos en concreto. Gracias a una geometría optimizada, estos entrepisos logran secciones más delgadas que las de los sistemas convencionales y no requieren acero de refuerzo embebido.

Sostenibilidad desde la Primera Etapa de Producción

Los techos abovedados requieren un sistema de encofrado, es decir, moldes que permiten dar forma al concreto una vez colocado. No obstante, los encofrados convencionales pueden ser voluminosos y, con frecuencia, están fabricados a partir de materiales derivados del petróleo. Además, cuando se trata de geometrías no estándar, estos sistemas suelen ser de un solo uso, y su proceso de fabricación genera una cantidad considerable de residuos. “Lamentablemente, esto anula parte de los beneficios en sostenibilidad”, explicó Lotte Scheder-Bieschin, estudiante de doctorado en arquitectura del BRG, ETH Zúrich, Suiza. Scheder-Bieschin desarrolló un sistema de encofrado ligero y plegable que puede reutilizarse y requiere menos recursos para su fabricación. Este sistema, denominado Unfold Form, es fácil de fabricar, transportar y utilizar, lo que lo convierte en una alternativa eficiente para la industria de la construcción y particularmente útil en regiones con recursos limitados.



Mediante una geometría eficiente, estos pisos abovedados logran secciones considerablemente más delgadas que las de sus equivalentes convencionales y no requieren acero de refuerzo embebido.



Una lámina de madera contrachapada se corta en tiras individuales con curvatura.

Reducción Sustancial del Uso de Concreto y Acero

Unfold Form está compuesto por tiras delgadas y flexibles de madera contrachapada, unidas entre sí mediante bisagras textiles, que pueden desplegarse en forma de abanico. Cuatro de estas unidades compactas pueden ensamblarse rápidamente dentro de un marco de madera para crear un molde resistente con geometría en zigzag, sobre el cual se puede verter directamente el concreto.

Una vez que el concreto ha fraguado, el encofrado puede retirarse fácilmente desde la parte inferior, plegarse y almacenarse para su reutilización. Aunque el sistema de despliegue empleado en el prototipo pesa únicamente 24 kg, tiene la capacidad de soportar hasta una tonelada de concreto. “Buscaba una solución que me permitiera utilizar la resistencia mediante la geometría, no solo para optimizar la estructura final, sino también el propio sistema de encofrado”, explicó Scheder-Bieschin. “Este enfoque reduce el uso de materiales y hace que todo el proceso sea más respetuoso con el medio ambiente.” La estructura geométrica distintiva del encofrado permite reducir hasta un 60 % el uso de concreto y hasta un 90 % el uso de acero de refuerzo.

“El sistema Unfold Form puede fabricarse y ensamblarse sin necesidad de conocimientos especializados ni equipos tecnológicos avanzados”, señaló Scheder-Bieschin. Uno de sus objetivos era crear un sistema simple y robusto que pudiera utilizarse en todo el mundo, incluso en contextos con recursos limitados. Generalmente, el encofrado para geometrías no estándar en concreto requiere de procesos de fabricación digital. “Esto genera barreras para una construcción sostenible con concreto en regiones que se urbanizan rápidamente, donde la demanda de nuevas edificaciones es especialmente alta”, indicó. El encofrado puede producirse a bajo costo. “Además de los materiales, lo único necesario es una plantilla con la forma deseada y una engrapadora”, añadió Scheder-Bieschin. El costo total de los materiales fue de apenas 650 francos suizos (aproximadamente 780 dólares estadounidenses en ese momento).

Nervaduras en Zigzag Inspiradas en Conchas Marinas

Durante el desarrollo del sistema, Scheder-Bieschin aplicó su conocimiento en estructuras activadas por flexión (bending-active structures). Esta técnica consiste en doblar materiales elásticos, como listones delgados y alargados o láminas de madera, de modo que la deformación resultante genere estabilidad estructural y permita la construcción de formas curvas y livianas.

Una característica fundamental del sistema Unfold Form es la disposición en zigzag de las tiras de madera. “Esta configuración tipo nervadura proporciona una rigidez adicional sin incrementar significativamente el peso total”, explicó Scheder-Bieschin. “Estructuras articuladas como esta pueden observarse en la naturaleza, por ejemplo, en las conchas marinas”.

El patrón en zigzag refuerza tanto el encofrado como el concreto colocado sobre él: “El concreto incorpora este diseño formando un patrón estructural de nervaduras, lo cual facilita la transferencia de cargas”.

Resistencia a Través de la Curvatura

La interacción entre las tiras individuales es fundamental para la estabilidad del encofrado, explicó Scheder-Bieschin: “Cuando se dobla una sola tira o placa, esta se vuelve muy inestable bajo carga, y resulta difícil controlar la forma que adoptará”. No obstante, al conectar dos tiras a lo largo de un borde curvo, se logra una rigidez considerablemente mayor. “Bajo carga, las tiras se deforman mínimamente, y es



Se aplican capas textiles en uno de los lados de las tiras para unir las entre sí.



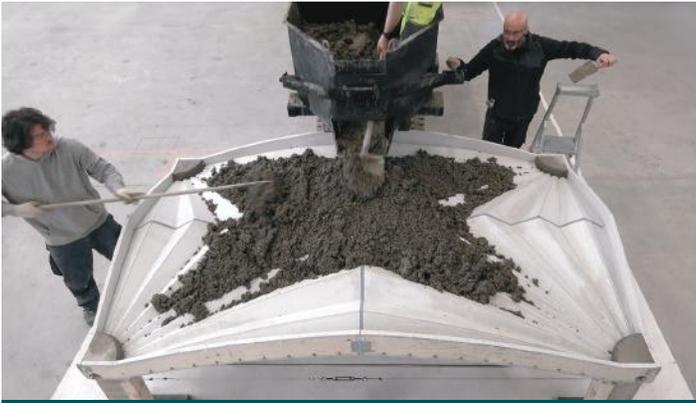
Cuatro secciones de encofrado plegadas están listas para su despliegue.



Las tiras de madera contrachapada pueden desplegarse en el sitio como un abanico, adoptando por sí solas la forma curvada deseada.

posible controlar la forma final mediante el diseño de estas curvas de conexión”, señaló. Esta técnica, conocida como curved-crease folding (plegado con pliegue curvo), tiene antecedentes en el arte del origami y ha sido explorada anteriormente en aplicaciones de diseño.

El plegado, en términos generales, avanza de elementos de gran tamaño hacia formas más pequeñas, comenzando con una pieza plana que se va reduciendo progresivamente mediante el proceso de plegado. Esta característica hace que la técnica sea poco adecuada para la construcción.



Las cuatro partes individuales se ensamblan para formar el encofrado, el cual tiene la capacidad de soportar hasta una tonelada (1,000 kg) de concreto.



Estructura después de retirar el sistema Unfold Form.

“Considérese, por ejemplo, un piso de concreto abovedado de 2 × 3 metros [6.6 x 9.8 pies]; la placa inicial tendría que medir aproximadamente 3 × 5 metros [9.8 x 16.4 pies]. Desde la perspectiva del transporte, esto es claramente poco práctico”, advirtió Scheder-Bieschin.

Del Modelo de Papel al Prototipo de Concreto

Scheder-Bieschin se sintió intrigada por el reto de adaptar este sistema simple de curved-crease folding (CCF) para fines arquitectónicos. Comenzó realizando experimentos con modelos de papel en su escritorio, hasta que finalmente ideó un sistema que denominó curved-crease unfolding: “En cierto momento, empecé a pegar las piezas de forma distinta. Así fue como descubrí un sistema que parte de una forma apilada que puede desplegarse, como un abanico de mano, y al mismo tiempo adopta una geometría curva”.

El siguiente desafío consistió en pasar de una hoja delgada de papel a un material estructural con un espesor adecuado. Scheder-Bieschin resolvió esto mediante la incorporación de bisagras textiles.

Posteriormente, desarrolló un método computacional para simular el comportamiento del sistema. “Los primeros prototipos ya confirmaban la validez de mi concepto”, recordó. “Mediante una prefabricación bidimensional simple, pude crear paneles plegados y compactos que se desplegaban fácilmente y contaban con la rigidez necesaria para soportar el concreto.”

Prueba en Condiciones Reales en Sudáfrica

Además del prototipo final de 3 × 1.8 m (9.8 x 5.9 pies), ubicado en el Laboratorio de Fabricación Robótica (Robotic Fabrication Laboratory, RFL) del campus Höggerberg de ETH Zürich, existe una estructura gemela construida en Sudáfrica, utilizando el mismo sistema de encofrado. Mark Hellrich, asistente científico y colaborador del proyecto Unfold Form, transportó el encofrado plegado hasta Cape Town utilizando dos bolsos para tablas de surf. En colaboración con nonCrete, una empresa local dedicada a la construcción sostenible y a soluciones habitacionales accesibles, se moldeó el segundo prototipo.

Esta experiencia demostró simultáneamente tres aspectos clave: el sistema de encofrado puede reutilizarse sin pérdida de calidad, es fácil de transportar y es compatible con distintos tipos de concreto. nonCrete utilizó un bioconcreto fabricado a partir de vegetación invasora triturada proveniente del entorno local. “Esto demuestra que no se requiere concreto de alta gama para construir pisos resistentes con el nuevo sistema de encofrado”, señaló Scheder-Bieschin. “El objetivo es utilizar este sistema innovador de encofrado para construir viviendas de alta calidad, dignas y sostenibles.”

Comercialización Futura

Aunque el sistema fue concebido inicialmente para entornos con recursos limitados, ha captado el interés internacional—en particular de empresas constructoras y estudios de arquitectura interesados en su valor estético, eficiencia económica y capacidad para reducir las emisiones de carbono.

Por esta razón, tras concluir su doctorado, la investigadora continuará desarrollando esta técnica como parte de su trabajo postdoctoral en ETH Zürich, con el objetivo de llevar el producto al mercado.

Para más información, visite: <https://brg.ethz.ch/research/prototypes/838>.

Título original en inglés:
Tech Spotlight.
Zigzags for
Greener Construction

La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
de Costa Rica



Traductor:
**Sebastián Agüero
Ricatti**
Estudiante



Revisor Técnico:
**Ing. Guillermo
González Beltrán,
Ph.D.**

Cemento Tipo IL y Descascaramiento del Concreto

Por David R. Lankard

En la edición de diciembre de 2024 del *Concrete International*, Phil Diekemper recomendó prudencia y sugirió los pasos necesarios a seguir, dado que el cemento Portland con caliza (PLC) tipo IL se utilizará de forma generalizada en los años por venir¹. Diekemper es el Director Ejecutivo de PRO: Un Centro de Excelencia para el Avance de la Productividad del ACI. En su artículo titulado “Un Lenguaje Universal para el Acabado”, señaló que “este cambio reciente y aparentemente repentino ha transformado para siempre el mundo de la construcción”¹.

Ya no se puede confiar en los criterios históricos para el adecuado acabado de losas planas de concreto de cemento Portland Tipo I/II para producir sistemáticamente un producto final aceptable. En cuanto al escenario de la curva de aprendizaje por ensayo y error en el futuro, Diekemper afirmó que: “Aunque una cuadrilla de acabado aprenderá sobre mezclas específicas a partir de cada prueba de campo y de la colocación, el contratista y el propietario asumirán un riesgo significativo”¹. Al reconocer la escasez de artículos publicados sobre el tema, también señaló que: “Pocos, si es que hay alguno, abordaban cuestiones relacionadas con la capacidad de construcción, como el sangrado, el acabado y la resistencia inicial”¹.

Este artículo se centra en los problemas de sangrado y acabado, ya que están relacionados con un mayor riesgo de descascaramiento del concreto. Otras personas que pueden hablar en nombre de los proveedores y usuarios de lo que Diekemper denomina un “producto desconocido” han expresado su preocupación por el descascaramiento¹.

Como afirmó Peter Taylor, director del Centro Nacional de Tecnología de Pavimentos de Concreto: “En 2023 se ha registrado un número inusualmente alto de problemas relacionados con el deterioro de la superficie, lo que ha suscitado preguntas sobre qué ha cambiado este año. Un cambio es que los cementos Portland con caliza disponibles hoy en día contienen hasta un 15% de

caliza pulverizada. Aunque la bibliografía indica que este cambio no debería afectar directamente las probabilidades de que una mezcla presente deterioro, un efecto secundario podría ser que los cambios en la demanda de agua, en el sangrado y en el tiempo de fraguado, sin los cambios apropiados en las prácticas podrían aumentar el riesgo de descascaramiento”².

La Administración Federal de Carreteras (FHWA) también se ha pronunciado sobre este tema, describiendo el problema del sangrado como uno de los varios retos a los que se enfrentan los usuarios de los cementos Tipo IL:

“Menores tasas de sangrado, pueden provocar que las operaciones de acabado se realicen prematuramente. Este problema es típico de los concretos que utilizan cementos más finos. Los contratistas tienden a utilizar sus observaciones visuales del agua en la superficie del concreto, basándose en su experiencia, para determinar cuándo deben comenzar las operaciones de acabado. Los concretos PLC pueden sangrar más lentamente, lo que puede provocar que el agua quede atrapada bajo la superficie acabada y dar lugar a descascaramientos o deterioro por descascaramiento en la superficie del concreto”³.

Abordo este tema desde el punto de vista de un petrógrafo de concreto con 47 años de experiencia en el análisis de concreto, con y sin descascaramiento. Aunque he examinado miles de núcleos de concreto, reconozco que, en el panorama general, se trata de una muestra pequeña. Sin embargo, un examen petrográfico es la única forma de saber qué ocurre a nivel microestructural en los concretos con descascaramiento. De los cientos de artículos sobre descascaramiento escritos a lo largo de los años, sólo unos pocos han incluido un examen petrográfico como parte del protocolo de estudio. Por lo que puedo determinar, los estudios petrográficos no se han citado en la escasa bibliografía reciente que aborda los retos del cemento Tipo IL.

Durante décadas se ha debatido sobre el posible aumento en el riesgo de descascaramientos cuando se utilizan cenizas volantes y cemento de escoria como materiales cementante suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés), en concretos para pavimentos y superficies planas⁴⁻¹⁰. Creo que existe un mayor riesgo y, en este artículo, demuestro que el riesgo de descascaramiento puede aumentar aún más cuando se utilizan SCM con cemento Tipo IL. La conexión aquí es la influencia que los tres SCM tienen sobre la duración del período de sangrado y la duración del tiempo de fraguado del concreto.

Los estudios petrográficos pueden revelar las causas de la formación de descascaramientos

En la población de mi estudio, la mayoría de los concretos con descascaramiento provienen de proyectos con superficies planas residenciales, o con menor frecuencia, de proyectos ligeros con superficies planas comerciales y pavimentos. Es en estas obras de construcción donde puede faltar o descuidarse el uso de trabajadores certificados y la supervisión y vigilancia a tiempo completo de la construcción, algo habitual en los proyectos federales, estatales y comerciales de gran envergadura.

La causa del descascaramiento en una minoría de mi muestra no tenía nada que ver con los SCM ni con el cemento Tipo IL. En algunos casos, los concretos de cemento portland tipo I/II suministrados en la obra tenían una relación agua-cemento (a/c) elevada o carecían de un adecuado sistema de vacíos de aire incluido al colocarse. En otros casos, la capa superior de la superficie de desgaste resultó menos resistente al descascaramiento debido a: 1) curado inadecuado del concreto; o 2) situaciones en las que las malas prácticas de acabado provocaron la ausencia de aire en la capa superficial de desgaste o una elevada relación a/c en esa capa. Con menos frecuencia, el examen petrográfico confirmó que un producto químico de deshielo reaccionó con los hidratos del cemento portland, lo que provocó la degradación química de la capa superficial de desgaste¹¹.

Determinar la causa raíz de la formación del descascaramiento resulta problemático cuando el concreto contiene cenizas volantes, cemento de escoria y, más recientemente, cemento Tipo IL. El dilema es: si la relación agua-material cementante (a/cm) aumenta en la capa superficial de desgaste, ¿se debe esta condición a prácticas de acabado deficientes o estos compuestos cementantes desempeñaron un papel que pasó desapercibido? Como advirtió Taylor, “un efecto secundario [del uso de cemento Tipo IL] puede ser que los cambios en la demanda de agua, el sangrado y el tiempo de fraguado sin los cambios adecuados en las prácticas pueden aumentar el riesgo de formación de descascaramientos²²”. Dado que no se debatieron los cambios sugeridos en la práctica, aún se desconoce en qué consistirán dichos cambios adecuados.

Descascaramiento en concretos que contienen cenizas volantes, cemento de escoria y cemento Tipo IL

La posibilidad de que se produzca un sangrado prolongado en estos concretos está relacionada con la densidad específica y el tamaño de las partículas de estos compuestos, en relación con el cemento portland. El sangrado es un fenómeno de sedimentación. De acuerdo con la ley de Stokes, las partículas de ceniza volante, cemento de escoria y piedra caliza requieren más tiempo para descender en comparación con las partículas de cemento portland, que son más densas y grandes. La sedimentación de las partículas continúa mientras la pasta de cemento permanezca en estado fluido.

Las cenizas volantes, el cemento de escoria y la caliza son “cementantes débiles” en comparación con el cemento portland. Como tales, diluyen y retrasan las reacciones de hidratación del cemento portland, por lo que la pasta de cemento permanece en estado fluido durante más tiempo. Durante un periodo prolongado de sangrado en concretos que contienen cenizas volantes, cemento de escoria y finos de piedra caliza, pueden producirse dos resultados adversos:

- Existe la posibilidad de que el paso final del acabado se inicie antes de que el sangrado se detenga de forma indetectable, lo que provocaría que el agua de sangrado se mezcle con la capa superficial del acabado. Esto puede dar lugar a la creación de una alta relación a/c en la capa superficial de desgaste; o
- Debido a la menor velocidad de descenso de las partículas de ceniza volante, cemento de escoria y piedra caliza en la pasta de cemento fluida, existe la probabilidad de que estos “materiales cementantes débiles” terminen en una cantidad desproporcionadamente mayor en la capa superior de la losa, después del fraguado final. En este caso, la pasta de la capa superior de la losa resulta más suave, más débil y más porosa, con una relación a/cm elevada en comparación con el concreto subyacente. Me refiero a esta condición como la “capa superficial de desgaste comprometida”.

Solo unos pocos de los numerosos estudios previos sobre la participación de los SCM en la formación de descascaramientos incluyeron un examen petrográfico. En uno de esos estudios, realizado en 1996, investigadores canadienses identificaron una capa superficial desgastada en concretos con descascaramientos que contenían cemento portland Tipo I/II y cenizas volantes:

“Las observaciones realizadas con el microscopio electrónico de barrido indican claramente que los primeros milímetros bajo la superficie de las muestras de concreto allanadas en el laboratorio pueden tener una microestructura diferente a la del resto del concreto. En todos los concretos ensayados, se observó una capa extremadamente porosa (por ejemplo, con una relación agua/aglutinante muy alta) en la superficie. Los resultados de las pruebas de descascaramiento muestran que la mayor porosidad de la capa superficial tiende a reducir notablemente la durabilidad frente al descascaramiento por sal de deshielo de las muestras de laboratorio allanadas con madera durante los primeros ciclos de congelamiento y deshielo. Se comprobó que el uso de cenizas volantes aumentaba el espesor y la porosidad de la capa superficial”¹².

Los exámenes petrográficos de concretos con descascaramiento aportan pruebas a nivel microestructural de los factores que intervienen en el descascaramiento. En el caso de los concretos que contienen cenizas volantes, cemento de escoria y finos de piedra caliza, esto incluye la confirmación de la presencia de la capa superficial de desgaste comprometida que he descrito.

Características microestructurales de los concretos con cemento Tipo IL descascarados

La discusión que aquí se presenta incluye concretos con mezclas binarias de cemento Tipo IL y cemento de escoria, y de cemento Tipo IL y ceniza volante. Los ejemplos provienen de mi pequeña muestra de proyectos de pavimentación con concreto que han sufrido descascaramiento. Es evidente que no todos los concretos que contienen estos materiales cementantes han sufrido o sufrirán descascaramiento. Mi intención es demostrar que, por razones basadas en hechos (sangrado y tiempos de fraguado prolongados), es razonable concluir que el riesgo de descascaramiento aumenta en estos concretos. Tal y como reconocen respetados portavoces de la industria del concreto, se trata de un riesgo que probablemente pase desapercibido al momento¹⁻³.

En los ejemplos que siguen, se utilizan fotografías tomadas con un microscopio óptico para: 1) ilustrar y describir las características microestructurales de la capa superficial de desgaste comprometida; y 2) demostrar la participación de partículas de agregado grueso duro en el descascaramiento. Las fotografías se tomaron con un aumento de 3.5X en superficies cortadas con sierra y laminadas (pulidas) de secciones de núcleo de concreto descascarado,

a la altura de la superficie de desgaste (secciones perpendiculares al plano de la superficie de desgaste).

En estos ejemplos, los concretos están satisfactoriamente aireados, los huecos de aire están presentes en la capa superficial desgastada y el concreto se colocó con una relación *a/c* satisfactoriamente baja, de ≤ 0.45 . El agregado grueso es una roca caliza dura, proveniente de diferentes fuentes. Para facilitar el debate, el término “capa superficial afectada” se utiliza a veces para referirse a la capa superficial desgastada.

Capa superficial de desgaste comprometida



La Figura 1 muestra la superficie de un núcleo de concreto descascarado, cortado con sierra, en el que el compuesto cementante es una mezcla binaria de cemento Tipo IL y cemento de escoria. Antes del paso de corte con sierra, la superficie de desgaste del núcleo se recubrió con un adhesivo epóxico para preservar las características previas al corte. Poco después del corte con sierra, se roció la superficie con una solución indicadora de pH (fenolftaleína). En una superficie de concreto que no está carbonatada ($\text{pH} \geq 13$), la superficie tratada adquiere un color rosa brillante. Cuando el concreto está carbonatado ($\text{pH} < 10$), no se produce ningún cambio de color. Las características de interés en la Fig. 1 son:

- La capa superficial desgastada es la capa carbonatada de 2 a 4 mm (0.08 a 0.16 pulgadas) de espesor (sin color rosa). Hay una transición abrupta entre la capa carbonatada y el concreto resistente al descascaramiento subyacente. Por lo general, solo se pierde la delgada capa carbonatada en el proceso de descascaramiento. Las pruebas realizadas durante el examen petrográfico revelaron

que la pasta de cemento en la superficie de desgaste comprometida es más blanda y débil, tiene un mayor nivel de permeabilidad y porosidad, y tiene menos partículas residuales de cemento portland en relación con el concreto subyacente. Esta condición se atribuye a una elevada relación a/c en la capa afectada en relación con el concreto subyacente. La relación a/cm estimada en la capa afectada puede oscilar entre 0.5 y 0.8 en una sola muestra del núcleo.

- La capa afectada aún no se ha perdido (descascarado). Sin embargo, la capa de epóxico ha arrancado una fina capa de la pasta de cemento debilitada; y
- Las partículas de agregado grueso de piedra caliza cercanas a la superficie (puntos rojos) están en contacto con la capa carbonatada. Debido al alto nivel de permeabilidad de la capa afectada, el agua de la superficie de la losa accede fácilmente a estas partículas, que pueden saturarse por completo rápidamente.

Ei agregado grueso y el descascaramiento

En una conferencia de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA, por sus siglas en inglés) en 2009, presenté un artículo titulado “Flatwork Scaling Today: Air Entrainment Isn’t Enough” (El descascaramiento en superficies planas hoy en día: el aire incluido no es suficiente)¹³. Incluso hace 15 años, los concretos que se entregaban en la obra con una relación agua/cemento satisfactoriamente baja y un sistema de vacíos de aire incluido satisfactorio se descascaraban. En mi artículo, discutí la evidencia petrográfica de la capa superficial desgastada y una forma de descascaramiento denominada “desprendimiento de mortero”. También discutí el papel de los SCM en la formación de la capa superficial de desgaste comprometida.

La Figura 2 muestra una superficie sobrepuesta de una sección del núcleo de concreto con levantamiento de mortero, en una región de la superficie de desgaste, donde aún no se ha producido el descascaramiento (pero es incipiente). El concreto contiene aire incluido, y los huecos de aire están presentes en la capa superficial de desgaste comprometida, lo que indica que la inclusión de aire no ha hecho que la capa afectada, debilitada y porosa, sea inmune al descascaramiento.

Otras características que se muestran en la Fig. 2 incluyen:



Debido a una mayor relación a/cm , la capa superficial desgastada de 2 a 4 mm de espesor, es de color más claro que el concreto subyacente (una característica para el diagnóstico);

- Una mayor relación a/cm en la capa afectada causó un alto grado de permeabilidad y porosidad capilar en la pasta de cemento. El agua de la superficie de la losa se ha desplazado rápidamente hacia y a través de la capa porosa, hasta llegar a las partículas del agregado grueso de piedra caliza cercanas a la superficie (marcadas con un punto rojo). En el escenario de descascaramiento del mortero, las partículas del agregado grueso son sólidas y resistentes al congelamiento y deshielo.
- Cuando se congelan en condiciones de saturación de agua, las partículas de piedra caliza duras se expanden elásticamente y levantan la capa de mortero debilitada que las recubre (marcada con un punto azul). Esta característica microestructural es común en los concretos descascarados que tienen una capa superficial desgastada. Las partículas de agregado duro participan en el descascaramiento, pero no son la causa del mismo. El ejemplo que se muestra aquí es un descascaramiento incipiente del mortero. Los ciclos continuos de congelamiento y deshielo acabarán provocando el descascaramiento de la capa de mortero dañada, y
- Las características de desprendimiento del mortero no son abultamientos, que implican partículas de agregado de calidad inferior (como el sílex de baja densidad) que experimentan grietas y pérdida de material relacionadas con el congelamiento y el deshielo en la capa superficial de desgaste acabada.



En las Fig. 3 y 4 se muestran otros ejemplos para el diagnóstico de estas características microestructurales en concretos con descascaramientos. En la Fig. 3, los ingredientes cementantes son cemento Tipo IL y ceniza volante, y las características de interés incluyen:

- La capa superficial desgastada carbonatada (sin color rosa) tiene un espesor de entre 2 y 6 mm (0.08 y 0.24 pulg.);
- En el lado izquierdo de la sección central hay un agregado grueso de piedra caliza dura (marcada con un punto amarillo) que forma parte de la característica de descascaramiento del mortero. En esta ubicación, la capa superficial afectada se ha perdido por completo (descascarada). Obsérvese que aún quedan restos de mortero adheridos a la partícula, lo que confirma una unión adecuada entre la pasta de cemento y el agregado; y
- En la parte central y derecha de la imagen, la capa superficial desgastada sigue intacta y muestra otro ejemplo del descascaramiento incipiente en el mortero sobre el agregado grueso de piedra caliza dura (marcada con un punto rojo). Obsérvese el aumento de la profundidad de la capa carbonatada a ambos lados de la partícula de agregado.

La Figura 4 muestra el descascaramiento dentro de la capa superficial desgastada, junto a un desprendimiento en forma de descascaramiento de mortero. En este ejemplo, los elementos cementantes son cemento Tipo IL y cemento de escoria, y las características más destacadas son:

- En los dos tercios izquierdos de la imagen, se ha perdido (descascarado) entre la mitad y la totalidad del espesor de la capa superficial

de desgaste de color claro. Esto incluye el desprendimiento del mortero sobre la partícula de agregado grueso de piedra caliza dura (marcada con un punto rojo); y

- En el tercio derecho de la imagen, la superficie de desgaste comprometida, con un espesor de entre 2 y 3 mm (0.08 y 0.12 pulg.), sigue intacta (aún no se ha descascarado). Hay huecos de aire incluido en toda la capa superficial afectada y debajo de ella.

Mirando en el pasado

Concreto resistente al descascaramiento

Antes de considerar los cambios que pueden ser necesarios con los concretos de cemento Tipo IL, es útil recalcar la necesidad de seguir las pautas tradicionales de la industria que han demostrado ser exitosas para proporcionar losas de concretos resistentes al descascaramiento. He examinado petrográficamente un número igual de concretos que no se descascararon. Su resistencia al descascaramiento puede atribuirse a:

- Proveer una relación a/c o a/cm igual o inferior a 0.45. Este valor máximo se basa en el efecto de la relación a/c en la permeabilidad de la pasta de cemento, una relación establecida hace años por investigadores de la Asociación Americana del Cemento (ACA, por sus siglas en inglés) (anteriormente Asociación del Cemento Portland [PCA, por sus siglas en inglés])¹⁴. Como se muestra en la Fig. 5, la permeabilidad aumenta exponencialmente por encima de una relación a/c de 0.45, y existe una relación directa entre la permeabilidad y la porosidad de la pasta de cemento.

- Proveer aire incluido con un factor de separación de huecos de aire igual o, preferiblemente, inferior a 0.008 pulg. Las investigaciones han demostrado que, a medida que el factor de separación desciende por debajo de 0.008 pulg., la eficacia del sistema de huecos de aire aumenta significativamente^{16,17};
- Implementar los procedimientos recomendados de colocación y acabado para garantizar que estos parámetros se mantengan desde la parte superior hasta la parte inferior de una losa;
- Proveer un curado oportuno y efectivo; y
- Evitar el uso de químicos descongelantes que han demostrado reaccionar químicamente de forma adversa con los hidratos del cemento portland¹¹.

Sin embargo, la aceptación y la utilización generalizada del término “descascamiento por sales de deshielo” es problemática, ya que muchos, tanto en el pasado como en la actualidad, quieren culpar a la “sal” cuando se producen descascamientos¹⁸. Aunque los productos químicos de deshielo aumentan la severidad del entorno de congelación y deshielo, en la mayoría de los casos no se les puede culpar de los descascamientos. Las pruebas que respaldan la conclusión de que la mayoría de los descongelantes solo derriten el hielo y la nieve han estado ahí desde el principio. Los propietarios afectados solo tienen que mirar las impecables entradas a las cocheras de concreto de sus vecinos para sospechar que algo anda mal con su concreto. Y tienen razón.

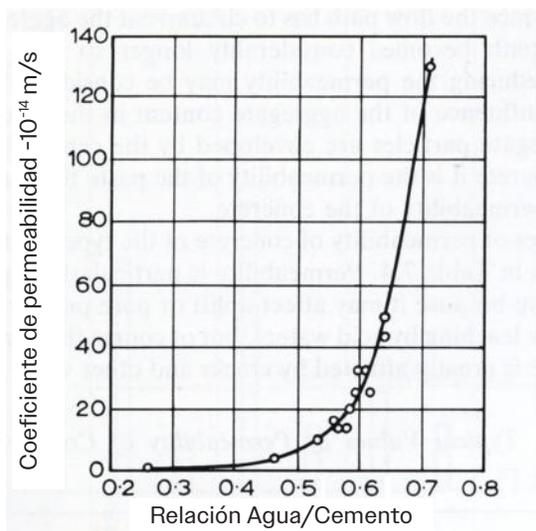


Fig. 5: Relación entre el a/c y la permeabilidad de pastas de cemento maduras.

Las pruebas petrográficas confirman que, en la gran mayoría de los casos, el problema radica en la colocación y el acabado del concreto. Estos hechos llevan a varias conclusiones:

- Aunque los productos químicos descongelantes aumentan la gravedad del ciclo de congelación y deshielo, normalmente no son la causa del descascamiento del concreto;
- El concreto de las entradas de las cocheras de los propietarios afectados no era resistente al descascamiento; y
- El concreto libre de daños en las entradas a las cocheras vecinas demuestra que existe el concreto resistente al descascamiento. Y esto incluye la capacidad de resistir los efectos de la mayoría de los productos químicos descongelantes.

Concretos que se descascararon

No todos los concretos que contienen ceniza volante, cemento de escoria y cemento Tipo IL presentan o presentarán descascamiento. Sin embargo, hay pruebas petrográficas convincentes de que:

- Existe un mayor riesgo de formación de descascamiento en el concreto para pavimentos cuando se utiliza ceniza volante y cemento de escoria como SCM en concretos de cemento portland Tipo I/II;
- El riesgo de formación de descascamientos puede aumentar aún más cuando estos SCM se utilizan con cementos Tipo IL;
- La causa fundamental del problema son los prolongados períodos de sangrado del concreto, lo cual, desde el punto de vista de los materiales, se debe a una densidad específica más baja y al menor tamaño de las partículas de la ceniza volante y del cemento de escoria, así como a las partículas de piedra caliza del cemento Tipo IL, en comparación con el cemento portland;
- El período prolongado de sangrado puede verse agravado por la presencia de una abundancia desproporcionada de partículas débilmente cementantes de ceniza volante, cemento de escoria y piedra caliza en la capa superior de la superficie de desgaste. Esta condición también significa una escasez de partículas de cemento portland en la capa superficial de desgaste, el principal contribuyente a la resistencia de la pasta de cemento; y

- El período prolongado de sangrado puede pasar desapercibido en el lugar, lo que puede causar que se inicien los pasos finales de acabado mientras el sangrado aún continúa. Un acabado prematuro puede dar lugar a un elevado contenido de agua en la pasta de cemento, junto con una cantidad desproporcionada de elementos cementantes débiles en la capa superficial de desgaste inmediata. Este escenario describe las condiciones que dan lugar a la creación de una capa superficial desgastada comprometida en concretos descascarados. Esto puede ocurrir sin que lo sepan ni siquiera los acabadores experimentados. Por lo tanto, se deben considerar cambios en las prácticas de acabado.

Como se ha comentado, la necesidad de abordar los problemas de sangrado y acabado con los concretos de cemento Tipo IL es ampliamente reconocida por respetados portavoces de la industria¹⁻³.

Mirando hacia el futuro

Cambios en las prácticas de acabado

Las pruebas petrográficas de mi muestra indican que, en un número considerable de casos actuales de descascaramiento: 1) el concreto suministrado a la obra tenía una relación a/cm y un sistema de huecos de aire que lo situaría en la categoría de concreto “resistente al descascaramiento”; 2) el concreto muestra una capa superficial de desgaste que es más blanda, más débil y más porosa que el concreto subyacente; 3) el espesor de la capa afectada suele ser inferior a 4 mm; y 4) una vez que esta fina capa afectada se ha descascarado, el concreto subyacente es resistente a la descascaramiento.

En mi opinión, dado que la superficie más elevada afectada de la losa es tan delgada, tiene sentido considerar un paso de acabado más vigoroso y manipulativo, que penetre más profundamente en la superficie de la losa que los procedimientos de acabado tradicionales. La idea es mezclar físicamente esta delgada capa comprometida con un espesor sustancial de la pasta de cemento de buena calidad subyacente. Esta operación tendría que realizarse antes del fraguado inicial del concreto, mientras la pasta de cemento aún es manejable.

En uno de los proyectos en los que trabajé, en el que se utilizó un 35% de cemento de escoria con cemento portland Tipo I/II, alrededor del 90% de las losas se acabaron con una arpillera de arrastre húmeda, mientras que el 10% se acabaron con métodos tradicionales (llana de magnesio y texturizado

con escoba). Los concretos tenían aire incluido y una relación a/c satisfactoria. Todas las losas con acabado tradicional tenían la capa superficial de desgaste comprometida, tal y como se describe en este artículo, y presentaban descascaramiento (mostrando las características microestructurales descritas anteriormente). Ninguna de las losas acabadas con arpillera presentaba una capa superficial de desgaste comprometida y ninguna de ellas se descascara. Es razonable concluir que el acabado con arpillera de arrastre húmeda brindó una manipulación más vigorosa de la superficie de desgaste del concreto.

Otra idea para manipular con mayor vigor la superficie de desgaste es el uso de una herramienta que existe desde hace bastante tiempo: el rodillo de texturizado (*jitterbug*). Se trata de un dispositivo de apisonamiento diseñado para introducir las partículas de agregado grueso más profundamente en la superficie de la losa cuando se trabaja con mezclas duras. Este tipo de manipulación podría minimizar la posibilidad de que se desprenda el mortero por descascaramiento, a la vez que ayuda a mezclar cualquier capa superficial dañada con una pasta subyacente de mejor calidad. Es necesario determinar el momento oportuno para este paso.

Reflexiones finales

En las conclusiones de su reciente artículo, Diekemper destaca el reto:

“En conclusión, la industria del concreto necesita desarrollar un lenguaje universal para el acabado, el cual debe basarse en pruebas objetivas. Se abrirá la puerta a la adopción de cementos y mezclas de concreto innovadoras, ya que el nuevo lenguaje ayudará a los contratistas, diseñadores y propietarios de proyectos a evitar los riesgos que de otro modo se verían obligados a asumir. Necesitamos medidas de acabado objetivas y replicables para abrir la puerta a la innovación en el concreto”¹.

Los estudios petrográficos simultáneos podrían ayudar a establecer la dirección de futuras investigaciones y pruebas en campo, así como a proporcionar interpretaciones objetivas de los resultados de estos esfuerzos.

Por último, es importante anticipar la eventual imputación del cemento Tipo IL como causa predeterminada de todos los descascaramientos del concreto en proyectos de superficies planas, después de 2023, incluso en aquellos casos en los que el examen petrográfico haya revelado una capa superficial de desgaste comprometida. Sin embargo,

una elevada relación *a/c* en la capa superior de la superficie de desgaste de una losa de concreto puede deberse a al menos a estas cinco causas:

1. Lluvia sobre la superficie de la losa en la cual se trabajó durante la operación de acabado;
2. Agua colocada deliberadamente sobre la superficie de la losa por los trabajadores durante la operación de acabado;
3. El uso inadecuado de productos retardantes de la evaporación como auxiliares del acabado;
4. Inicio de la operación de acabado antes de la reabsorción del agua de sangrado aún presente (visible) en la superficie de la losa; y
5. Inicio de la operación de acabado previo a que termine el sangrado.

Todos estos escenarios implican un problema de acabado. Sin embargo, corresponde a los responsables de cualquier proyecto afectado determinar la causa más probable de la creación de la capa superficial de desgaste en los concretos representados por núcleos examinados petrográficamente.

Referencias

1. Diekemper, P., "A Universal Language for Finishability," *Concrete International*, V. 46, No. 12, Dec. 2024, pp. 30-31.
2. Taylor, P., "Revisiting Concrete Scaling," MAP Brief Summer 2023, Z. Charter and O. Gieseman, eds., National Concrete Pavement Technology Center, Aims, IA, 5 pp.
3. Cooper, M., and Spragg, R., "Portland Limestone Cement," TECHNICAL NOTE, FHWA-HRT-23-104, Federal Highway Administration, Washington, DC, Oct. 2023, 12 pp.
4. Marchand, J.; Sellevold, E.J.; and Pigeon, M., "The Deicer Salt Scaling Deterioration of Concrete—An Overview," *Durability of Concrete – Proceedings Third CanMet – ACI International Conference*, Nice, France, SP-145, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, pp. 1-46.
5. Talbot, C.; Pigeon, M.; and Marchand, J., "Influence of Fly Ash and Slag on Deicer Salt Scaling Resistance of Concrete," 2000 Canmet/ACI Conference on Durability of Concrete, SP-192, V. II, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2000, pp. 645-657.
6. Bektas, F.; Taylor, P.C.; and Wang, K., "Scaling Resistance of Concrete Containing Slag Cement: Critical Review," *Transportation Research Board (TRB) 89th Annual Meeting*, Washington, DC, Jan. 12-14, 2010, *Compendium of Papers DVD*, 11 pp.
7. Stark, J., and Ludwig, H.-M., "Freeze-Thaw and Freeze-Deicing Salt Resistance of Concretes Containing Cement Rich in Granulated Blast Furnace Slag Cement," *ACI Materials Journal*, V. 94, No. 1, Jan.-Feb. 1997, pp. 47-55.
8. Sakai, K.; Watanabe, H.; Suzuki, M.; and Hamazaki, K., "Properties of Granulated Blast-Furnace Slag Cement Concretes," *Proceedings of the 1992 Istanbul Conference*,

SP-132, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, pp. 1367-1383.

9. Hooton, R.D., and Vassilev, D., "Deicer Scaling Resistance of Concrete Mixtures Containing Slag Cement. Phase 2: Evaluation of Different Laboratory Scaling Test Methods," Report No. DTFH61-O6-H00011 Work Plan 24, National Concrete Pavement Technology Center, Ames, IA, July 2012, 58 pp.
10. Cramer, S., and Sippel, C., "Effects of Granulated Blast Furnace Slag in Portland Cement Concrete," Report No. WHRP 05-04, Wisconsin Highway Research Program #0092-02-14a, Wisconsin Department of Transportation, Madison, WI, Feb. 2005, 62 pp.
11. Darwin, D.; Browning, J.; Gong, L.; and Hughes, S.R., "Effects of Deicers on Concrete Deterioration," *ACI Materials Journal*, V. 105, No. 6, Nov.-Dec. 2008, pp. 622-627.
12. Pigeon, M.; Talbot, C.; Marchand, J.; and Hornain, H., "Surface Microstructure and Scaling Resistance of Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 26, No. 10, Oct. 1996, pp. 1555-1566.
13. Lankard, D.R., "Flatwork Scaling Today: Air Entrainment Isn't Enough," *Proceedings of the 4th Annual Concrete Technology Forum: Focus on Performance Prediction*, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, May 13-15, 2009.
14. Powers, T.C.; Copeland, L.E.; Hayes, J.C.; and Mann, H.M., "Permeability of Portland Cement Paste," *ACI Journal Proceedings*, V. 51, No. 11, Nov. 1954, pp. 285-298.
15. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, third edition, Pitman Publishing Limited, London, England, 1981, 779 pp.
16. Powers, T.C., "Void Spacing as a Basis for Producing Air-Entrained Concrete," RX049, American Cement Association (formerly Portland Cement Association), Washington, DC, 1954, 25 pp.
17. Mielenz, R.C.; Wolkodoff, V.E.; Backstrom, J.E.; and Burrows, R.W., "Origin, Evolution, and Effects of the Air Void System in Concrete, Part 4—The Air Void System in Job Concrete," *ACI Journal Proceedings*, V. 55, No. 10, Oct. 1958, pp. 507-517.
18. Discussion by Bryant Mather to "Prediction of Deterioration of Concrete Due to Freezing and Thawing and to Deicing Chemical Use," by M.S. Zaman, P. Ridgway, and A.G.B. Ritchie, *ACI Journal Proceedings*, V. 79, No. 6, Nov.-Dec. 1982, pp. 502-503.

David R. Lankard, FACI, es un científico especializado en materiales que lleva desde 1965 dedicado a la investigación y el estudio del concreto y otros materiales a base de cemento (morteros y lechadas). Antes de fundar Lankard Materials Laboratory, Inc. en Columbus, Ohio (EE.UU.), en 1978, trabajó en el Grupo de Materiales de Construcción de Battelle Laboratories, también en Columbus, Ohio. Lankard es miembro de ASTM International y miembro del Comité C09 de ASTM International, Concreto y Agregados para Concreto, y del Subcomité C09.65, Petrografía. También es miembro de la Sociedad de Petroógrafos del Concreto y miembro de la Sociedad Americana de Cerámica desde 1987. Lankard fue galardonado con la Medalla Wason de la ACI en 1973 por el trabajo más meritorio. Lankard obtuvo su licenciatura en Geología en la Universidad de Indiana, Bloomington, Indiana, EE. UU., en 1959; su maestría en Cerámica en la Universidad de Illinois Urbana-Champaign, Champaign, Illinois, EE. UU., en 1965; y su doctorado en Ingeniería Cerámica en la Universidad Estatal de Ohio, Columbus, Ohio, en 1970.



Título original en inglés:
**Point of View.
Type IL Cement and
Concrete Scaling**

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



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



Revisor Técnico:
**Dr. Alejandro
Durán Herrera**

Reducción de los Tiempos de Construcción con Concreto Reforzado con Fibras

Un proyecto de extensión del tren ligero en Phoenix rediseñado para integrar fibras

Por Deborah R. Huso

Cuando Valley Metro Rail, Inc., terminó la ingeniería preliminar para una extensión del tren ligero de 2.5 km (1.6 millas) para el área metropolitana de Phoenix, Arizona, Estados Unidos de Norteamérica en 2018, sus directores estaban preocupados por el rápido incremento de los costos de construcción de transporte. También estaban tratando de minimizar las interrupciones relacionadas con el programa previsto de construcción de 36 meses, incluyendo consecuencias financieras potencialmente catastróficas para comercios minoristas ubicados a lo largo del corredor.

De manera que cuando el Consejo de Administración de Valley Metro Rail otorgó el contrato para el proyecto a la empresa de ingeniería Jacobs con sede en Tempe, Arizona, le encomendaron a la compañía controlar los costos y minimizar los tiempos de construcción. De acuerdo con el Vicepresidente y Gerente Ejecutivo de Proyecto de Jacobs, Andrew Haines, la compañía consideró el uso de concreto reforzado con fibras, en lugar del concreto reforzado tradicional como una solución para reducir costos. Jacobs buscó la guía de la Facultad de Ingeniería Sustentable y Entorno Construido en la Universidad Estatal de Arizona, donde el Catedrático Barzin Mobasher, FACI, dirigió un equipo que estudió la forma de reducir el costo del proyecto y los impactos a la comunidad sin comprometer la calidad, capacidad de servicio o seguridad de la extensión de la línea. Esto dio por resultado un rediseño completo de la losa de la vía, eliminando la construcción con concreto reforzado tradicional, favoreciendo así el concreto reforzado con fibras.

Cómo Funciona el Concreto Reforzado con Fibras

Mobasher ha estado investigando materiales de concreto durante 40 años, 35 de los cuales los dedicó específicamente a la investigación del concreto reforzado con fibras. “El concepto [de concreto reforzado con fibras] no es nuevo. Se remonta a cuando los egipcios utilizaron pelo de caballo en lodo para construir estructuras”, explicó Mobasher.

La prospección del concreto reforzado con fibras inició en la década de los 40's y 50's del siglo pasado, a medida que los investigadores empezaron a examinar las propiedades de resistencia de las fibras. Tal como lo explicó Mobasher, una fibra es básicamente un elemento tridimensional, pero dos de sus dimensiones son realmente pequeñas. “Si se puede generar la microestructura para hacer dos dimensiones muy pequeñas, como un cabello humano”, indicó Mobasher, “se puede incrementar la resistencia”. La ventaja, explicó, es que las imperfecciones pequeñas se reducen al disminuir el tamaño de un material.

“Se necesita energía para crear una grieta, por lo general desde la falla más grande [en concreto], y el proceso consta de dos pasos: inicio y propagación”, expresó Mobasher. Una vez que se forma una grieta, la gran preocupación en la construcción es cuánto tiempo pasará antes de que la grieta se agrande. “Si transcurre mucho tiempo para que una grieta se agrande, al material lo llamamos dúctil”, observó Mobasher, “y podemos hacer que un material quebradizo sea dúctil si logramos que el material absorba energía creando barreras al crecimiento de la grieta”.

Según Mobasher, esto es lo que las fibras hacen en el concreto. Si las fibras se mezclan con el concreto, pueden soportar la fuerza de tensión que crean las grietas. Las grietas se seguirán formando, pero el tamaño será pequeño, debido a que las fibras mitigan su agrandamiento, de manera tal que ni siquiera son visibles y pueden seguir soportando una carga. Históricamente, los ingenieros utilizaban barras de refuerzo de hierro y acero para soportar la carga de tensión en el concreto una vez que se formaban las grietas en su totalidad. Aunque las fatigas por tensión pueden provocar que el concreto se agriete, el refuerzo seguirá soportando la carga.

En los 140 años desde que se construyeron las primeras estructuras con concreto reforzado, la construcción moderna ha dependido del concreto.

“La sociedad sería totalmente inexistente sin él”, afirmó Mobasher, “pero en los cálculos despreciamos las propiedades de tensión que el concreto puede ofrecer, porque su resistencia a la tensión es demasiado pequeña”.

Dijo que más del 60 al 70% del volumen de concreto que se utiliza a nivel mundial tiene resistencia limitada a la tensión y no puede soportar la carga, lo que lo hace susceptible a grietas que empiezan siendo pequeñas, pero después crecen por la fragilidad del material hasta que dan por resultado una falla estructural. Si bien las barras de refuerzo de acero pueden retardar estas fallas estructurales proporcionando resistencia a la carga, finalmente las barras de refuerzo se oxidan y necesitan reparación.

“Asumimos que el concreto agrietado soporta únicamente la compresión y el acero soporta la tensión”, agregó Mobasher. “Tan pronto como el concreto se agrieta, la carga de tensión necesita encontrar y desplazarse hacia la barra de refuerzo, pero para que eso suceda, la grieta tiene que crecer y abrirse para que la barra de refuerzo la detecte y la resista”. El problema es que las grietas una vez abiertas, reducen toda transferencia de carga a través de las superficies fracturadas y permiten que las sustancias químicas nocivas, como los líquidos para deshielo, lleguen a las barras de refuerzo.

Mobasher asevera que la industria de la construcción ha tolerado la ineficacia básica del concreto como material, porque el cemento puede comprarse por tan sólo 3 a 5 centavos de dólar

estadounidense por libra (0.45 kg). Para obtener más resistencia, se utiliza más cemento ... y barras de refuerzo. “cada vez que se coloca acero allí, se requiere mucha mano de obra y más materiales”, dijo Mobasher. “Cincuenta por ciento del costo es para el habilitado – instalación de cimbras, colocación de barras de refuerzo, doblado, atado de las mismas y el costo de las grúas y almacenaje”. Por no mencionar el costo y tiempo de la mano de obra in situ y, en el caso de la extensión del tren ligero de Phoenix, el costo del redireccionamiento del tránsito durante la construcción, costos del usuario y los impactos en los negocios que pierden ese tránsito.

Reducción de Costos con Refuerzo de Fibras

Mobasher sostiene que durante más de un siglo, la industria de la construcción sólo “ha estado observando los impactos del concreto *cradle to gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)” – el costo de la huella de carbono para hacer el material y llevarlo al sitio de la obra. Dijo que una de las razones por las que cuesta miles de millones de dólares ampliar una vía rápida o la línea del tren ligero es porque los ingenieros no observan la dinámica de la construcción. El objetivo de mucha de su investigación en los últimos 30 años ha sido reducir la cantidad de acero que se utiliza en la construcción con concreto y reemplazar ese refuerzo por algo más económico.



Estación del tren ligero después de su terminación en enero de 2024.

Las fibras, ya sea que estén hechas de acero, polipropileno o de algún otro material, permiten que el concreto soporte más carga. Con el concreto reforzado con fibras, una estructura se hace más resiliente porque puede moverse o agrietarse sin desplomarse.

Cuando inicialmente Valley Metro le solicitó asesoría a Mobasher sobre la reducción de tiempo y costos de construcción para la Fase II de la Extensión Noroeste del tren ligero, pretendían utilizar losas de 370 mm (14.5 pulgadas) de espesor reforzadas con dos capas de barras de refuerzo de acero colocadas en direcciones cruzadas para soportar la vía. Entonces Mobasher propuso reemplazar en su totalidad las barras de refuerzo por fibras de acero. De esta forma, se agregan fibras de acero en la planta mezcladora y el constructor ya no tiene que ordenar que se transporten las barras de refuerzo al sitio de la obra ni a calles aledañas durante un período prolongado. Por otra parte, la resistencia de las fibras es de cinco a seis veces más alta que las de las barras de refuerzo de acero.

“Tratar de que [los propietarios, constructores e ingenieros] pasaran de utilizar las dos capas de barras de acero a algo muy diferente requirió muchas reiteraciones”, dijo Haines. “Pero la forma más eficiente de optimizar el costo fue reemplazar por completo la barra de acero por concreto reforzado con fibras”.

Valley Metro le pidió al Laboratorio de Ingeniería Estructural de la Universidad Estatal de Arizona que realizara una serie de pruebas de resistencia y fatiga para determinar la carga de servicio diario de la vía. La prueba suponía condiciones extremas del tren circulando 24/7 durante 45 años con tres veces la carga de gente y también tomó en consideración el potencial de una tubería principal de agua que se rompiera por debajo de la losa y que la losa quedara colgando al aire. El equipo asimismo tuvo que plantear una potencial corrosión proveniente de corrientes parásitas.

El equipo de construcción, que estaba formado por una empresa conjunta entre las oficinas de Phoenix de McCarthy Building Companies y Kiewit, fabricaron seis prototipos de losas de vía para probar la eliminación total de barras de refuerzo de acero continuas y su reemplazo por fibras de acero cortas directamente fusionadas en la mezcla de concreto en la planta mezcladora. Construyeron dos losas de control que tenían 370 mm de espesor y reforzadas con barras de refuerzo, que reflejan la losa de vía típica de dos rieles que utiliza Valley Metro, de 3.2 m (10.5 pies) de ancho por 370 mm de espesor. Entonces Kiewit fabricó cuatro losas más, reforzadas con fibras, utilizando a dos fabricantes diferentes de

fibras de acero para reflejar la sección de la losa de vía propuesta que sería de 2.4 m (8 pies) de ancho y 300 mm (12 pulgadas) de espesor.

El laboratorio realizó pruebas de resistencia y fatiga de hasta 2 millones de ciclos y, basándose en los resultados y análisis del desempeño de las fibras, determinaron que el concreto reforzado con fibras de acero de 50 mm (2 pulgadas) de largo, aproximadamente del tamaño de broches para cabello, utilizados a una dosis de 39 kg/m³ (65 lb/yd³) representaba una solución factible y más eficiente de optimizar el costo fue reemplazar.

Todos los prototipos pudieron soportar 18,142 kg (40,000 lb) de carga, que fue más de cuatro veces la carga de servicio del diseño. El concreto reforzado con fibras también permitió una reducción del 17% en espesor de las losas de vía de concreto, sin dejar de cumplir con la rigidez, capacidad de carga y requerimientos de ancho de grieta. “Al reducir 2-1/2 pulgadas (64 mm) del concreto [terminamos] ahorrando mucho dinero”, observó Haines.

“Durante la realización de los prototipos, las fibras fueron equivalentes o mejores que las barras de refuerzo tradicionales”, dijo John Kreps, Gerente de Proyecto de Kiewit con base en Phoenix, en la Fase II de la Extensión Noroeste.



Colocación de losas de vía de concreto reforzado con fibras para la extensión del tren ligero de Phoenix.

Reducción de Tiempos de Construcción del Tren Ligero y Aumento de la Seguridad

El concreto reforzado con fibras se utilizó para construir losas de vía para el riel y los pedestales para las plataformas de la estación. Además de las fibras de acero utilizadas en el concreto para las losas de vía, se mezclaron fibras de polipropileno a una dosis de 7 kg/m³ (12 lb/yd³) en el concreto para las plataformas de la estación.

En la planta mezcladora, las fibras de acero se agregaron a la mezcla de concreto para las losas de vía. “Se vaciaron literalmente sacos de fibras de acero a la banda transportadora y se dejaban caer en la mezcladora de concreto en el camión”, explicó Nikolas Hunter, Gerente de Proyecto en Kiewit. El uso de fibras de acero dio por resultado una reducción de aproximadamente 20% de la cantidad de concreto necesaria para completar la parte de la obra de vía del proyecto.

Asimismo, Kreps afirmó que la seguridad en el sitio de la obra mejoró mucho con el uso de concreto reforzado con fibras debido a que no había pilas de barras de refuerzo colocadas junto a la vía durante la construcción ni ninguna jaula para las barras de refuerzo que los trabajadores tuvieran que sortear. “Podimos llegar a los puntos exactos donde va la vía sin tener que hacer estudios topográficos ni ajustes debido a las barras de refuerzo”, explicó. “Cuando inspeccionamos el riel, que tenía tolerancias de tensión extremas, pudimos trabajar sobre rasante y tierra en lugar de sobre las esterillas de las barras de refuerzo, lo que también mejoró la seguridad y permitió más evaluación exhaustiva porque fue más sencillo [las maniobras en el sitio de la obra]”.

“La operación total es mucho más limpia”, agregó Hunter. “Se elimina un paso completo de la colocación de la barra de refuerzo, lo que representa ventajas para la programación. En la vía de fijación directa [el concreto reforzado con fibras] también eliminó el potencial de conflictos entre los insertos sujetadores y la barra de refuerzo”.

De acuerdo con Don Mac, Director de Proyecto de McCarthy Building Companies, las fibras de acero no impactaron el acabado del concreto. Su apariencia fue como la del concreto reforzado con barras de acero.

“A medida que enrasaban el concreto, las fibras no aparecían”, agregó Kreps. “Cuando el concreto se curó, había algunas fibras visibles, pero pudimos cepillarlas y desaparecieron”.

Cuando el equipo estaba construyendo la última losa de la vía, decidieron intentar con fibras de polipropileno para la colocación del concreto final de 9 m (30 pies). “Las fibras de polipropileno son menos costosas que las fibras de acero y queríamos evaluarlas para proyectos futuros”, explicó Haines. “El [equipo] que coló y terminó el concreto reforzado con fibras de polipropileno dijo que el acabado fue mucho más sencillo”.

Más Allá de la Construcción *Cradle to Gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)

“El beneficio principal [del concreto reforzado con fibras] fue el no contar con la parte de la instalación de las barras de refuerzo dentro del programa,” afirmó Kreps.

De acuerdo con Hunter, por cada colocación de concreto, el uso del concreto reforzado con fibras ahorró por lo menos 1 a 2 días de mano de obra. “De cualquier forma se está comprando acero [para el refuerzo de la fibras], pero se está ahorrando en mano de obra”, observó.

Para el momento en que se terminó el proyecto del tren ligero en enero de 2024, los ahorros combinados en el costo del proyecto que fueron resultado del uso de concreto reforzado con fibras de acero, así como la ingeniería de valor, representaron alrededor del 23%, según Haines. El concreto reforzado con fibras eliminó semanas de mano de obra que se hubieran requerido para la formación y colocación de las barras de refuerzo. En lugar de ello, las fibras de acero se mezclaron directamente en el concreto en la planta mezcladora y se entregó en el sitio de la obra para su colocación.

Hipotéticamente y en un proyecto más grande, el costo presupuestado por la colocación de un pie lineal (0.3 metros) de losa de vía, utilizando métodos de construcción tradicionales con barras de acero de refuerzo es de más de 3,000 dólares estadounidenses. Con el uso de concreto reforzado con fibras, ese costo podría disminuir hasta aproximadamente 1,000 dólares estadounidenses por pie lineal de vía.

Mobasher afirmó, que las posibilidades de reducir los costos de construcción, acelerar los tiempos de la obra y disminuir los riesgos de seguridad para los trabajadores mediante el uso de concreto reforzado con fibras, son substanciales. “Uno no puede identificar una sola aplicación en lugares en los que no pueden utilizarse fibras como una parte integral del sistema”, indicó. Eso no significa reemplazar todas las barras de refuerzo en proyectos futuros. Seguirá habiendo aplicaciones en las que sean

necesarias, como lugares en los que no se desea ver decoloración de la superficie que pudiera hacerse visible con la corrosión.

No obstante, Kreps indicó que el concreto reforzado con fibras ofrece beneficios significativos a los proyectos de vías integradas: “Particularmente, en las intersecciones que no tienen que cerrarse durante varios días para la construcción”.

“Cuando los sitios de la obra son estrechos y la programación es importante, el concreto reforzado con fibras permite un sitio de obra más limpio en general y un proceso de construcción más optimizado”, dijo Hunter. En el caso de la extensión del tren ligero de Phoenix, Hunter observa que se necesitó que el propietario del proyecto y el contratista estuvieran dispuestos a innovar: “Algunas veces uno se encuentra con clientes o ingenieros que no desean nada nuevo”.

“Confío en que contamos con las herramientas para hacer los cálculos de manera tal que podamos convencer a los ingenieros estructurales que pueden utilizar [concreto reforzado con fibras] para diseñar con más confiabilidad y menos riesgo”, agregó Mobasher. “La parte más desafiante es exhortar a los ingenieros estructurales a que lo utilicen. Es de suma importancia considerar *cradle to cradle* (de la cuna a la cuna) y no sólo *cradle to gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)”.

Hunter confirmó que los equipos de construcción e ingeniería fueron afortunados al trabajar con un cliente como Valley Metro: “tuvimos a un cliente progresista dispuesto a hacer algo más novedoso. Con esta implementación exitosa, esperamos que otros proyectos analizarán el potencial de utilización de concreto reforzado con fibras”.

Mobasher indicó que cuando uno considera la huella de carbono de los materiales de construcción – el concreto y el acero, en particular – la industria de la construcción a nivel mundial está utilizando 20 mil millones de toneladas (18 mil millones de toneladas métricas) de concreto cada año y 500 millones de toneladas (450 toneladas métricas) de barras de refuerzo para reforzar ese concreto. “La eficiencia del concreto, tal como lo utilizamos típicamente es muy baja”, afirmó Mobasher. Pero la industria puede incrementar su sustentabilidad empleando concreto reforzado con fibras en más proyectos como las extensiones del tren ligero de Phoenix, en las que Mobasher predijo que las losas de vía recién colocadas tendrán una vida de servicio de más de 100 años.

Seleccionado por los editores para interés del lector.

Deborah R. Huso es Directora Creativa y Socia Fundadora de WWM, Farmington, NM, Estados Unidos de Norteamérica. Ha escrito diversas publicaciones comerciales y para el consumidor, tales como Ascent, U.S. News & World Report, Concrete Construction, y Construction Business Owner. Ha desarrollado páginas web y estrategia de contenido para varias compañías de productos de construcción, incluyendo a Cultured Stone y Trex.



Título original en inglés:
Slashing Construction Times with Fiber-Reinforced Concrete.
A light rail extension project in Phoenix redesigned to incorporate fibers

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



Traductora:
Lic. Ana Patricia García Medina



Revisor Técnico:
Dr. Esteban Astudillo de la Vega

Requisitos de Resistencia para el Descimbrado de Losas de Concreto

P. *Estamos construyendo un edificio de oficinas de concreto reforzado de piso plano de 10 pisos, que está retrasado debido a problemas de agua con la cimentación. Proponemos acelerar el ciclo de construcción de las losas de 10 pulgadas de espesor, de 5,000 psi, y refuerzo moderado, utilizando concreto de 7,000 psi. El ingeniero responsable de la cimbra exige que el concreto alcance una resistencia en sitio del 75% de f'_c , es decir, 3,750 psi, antes de retirar la cimbra. Con la mezcla de 5,000 psi, esto toma aproximadamente 6 días. Con la nueva mezcla de 7,000 psi, se alcanzan los 3,750 psi aproximadamente en unos 4 días. En otros proyectos, hemos incrementado exitosamente la resistencia a compresión para reducir el cronograma. Sin embargo, el inspector de este proyecto afirma que debemos cumplir el 75% del nuevo f'_c , o 5,250 psi, como lo exige el ingeniero responsable de la cimbra. Según su razonamiento, no podemos acelerar el cronograma ni siquiera utilizando concreto de 10,000 psi. ¿Pueden sugerirnos cómo resolver este asunto?*

R. Recomendamos programar una reunión entre los equipos de diseño y construcción, incluyendo al inspector y al ingeniero responsable de la cimbra. El ingeniero proyectista diseñó la losa de concreto considerando las cargas muertas y vivas prescritas por el reglamento. El ingeniero responsable de la cimbra determinó la resistencia del concreto necesaria para soportar las cargas de construcción. La agenda de la reunión debe tomar en cuenta que el ingeniero de diseño debería presentar su análisis de cargas de diseño, y el ingeniero responsable de la cimbra, el de las cargas de construcción. Estas explicaciones deberían ayudar al inspector a comprender y apoyar el uso de una mezcla alternativa.

A menos que cambien las cargas de diseño o de construcción, la resistencia requerida del concreto antes del descimbrado seguiría siendo 3,750 psi (75% de 5,000 psi). Aumentar la resistencia del concreto

no cambia las cargas aplicadas, por lo tanto, solo se necesita 3,750 psi también para la mezcla de 7,000 psi. Esto permitiría reducir el ciclo de construcción en 2 días por cada vaciado de losa.

Para evitar que la carga de construcción aplicada exceda la capacidad resistente a edad temprana de la losa, el Capítulo 5 de ACI PRC-347.2-17: Guía para Apuntalamiento y Reapuntalamiento en Edificios de Hormigón de Varios Pisos¹, recomienda reducir la carga de construcción, cambiar la mezcla por un concreto de alta resistencia inicial, controlar la temperatura de curado, o incrementar la duración del ciclo de construcción.

Aunque el ACI PRC-347.2-17 no especifica que se deba alcanzar el 75% de la resistencia del diseño original, el objetivo es evitar sobrecargar la losa antes de tiempo. Su solución cumple claramente con ese objetivo y mejora el cronograma.

El incremento de la resistencia del concreto con fines de aceleración del cronograma también se trata en el documento SP-4: Encofrado para Concreto, Sección 6.7.1, que indica:

“Algunas especificaciones de proyecto exigen que se alcance entre el 70 y 75% de la resistencia especificada antes de retirar cimbras y puntales. Debido a que el desarrollo de resistencia es más lento a bajas temperaturas, esto puede limitar la velocidad de construcción. Por tal razón, puede ser preferible usar concreto de alta resistencia inicial en climas fríos”².

Un caso similar surge al considerar las llamadas “mezcla de diferentes concretos” (puddling options). La Sección 15.8.1(a) del ACI CODE-318-25 requiere que el concreto con la resistencia a compresión especificada para la columna se extienda al menos 2 pies hacia afuera dentro de la losa del piso, desde la cara de la columna, cuando la f'_c del sistema de piso sea menor a 0.7 veces la f'_c de la columna³. Por ejemplo, si la resistencia de la columna es de 10,000 psi y la del piso es de 5,000 psi, se requeriría usar la mezcla de diferentes concretos a menos que el contratista opte por usar una resistencia del concreto de la losa de 7,500 psi. Nuevamente, en este caso, la resistencia requerida para el descimbrado debería basarse en el 75% de 5,000 psi, y no en la mayor resistencia de la losa que se haya elegido para evitar mezclar concretos.

Esperamos que el Comité ACI 347 aborde estos temas en su próximo ciclo de revisión del documento

Referencias

1. Comité ACI 347, Guía para Apuntalamiento/Reapuntalamiento de Edificios de Concreto de Múltiples Pisos (ACI PRC-347.2-17), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 28 páginas.
2. Johnston, D.W., SP-4: Encofrado para Concreto, octava edición, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 512 páginas.
3. Comité ACI 318, Reglamento de Construcción para Concreto Estructural — Requisitos del Código y Comentarios (ACI CODE-318-25), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 páginas.

Agradecimientos a: Bruce A. Suprenant, Consultor en Concreto, Tucson, AZ, EE. UU.; Eamonn Connolly, McHugh Engineering Group, LLC, Chicago, IL, EE. UU.; y James E. Klinger, Consultor en Concreto, Antioch, CA, EE. UU.; por proporcionar la respuesta a esta consulta.

Título original en inglés:
**Strength Requirements for
Removal of Formwork from
Concrete Slabs**

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



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



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

07 ¿Quiénes somos y qué hacemos?

Nombran entre los mejores de USA a tres Investigadores de la Universidad de Miami



Tres profesores de la Universidad de Miami fueron reconocidos por su productividad académica en investigación por **Academic Analytics (AA)**, una organización de análisis de datos de investigación utilizada por las principales universidades de EE. UU.

Los profesores **Pratim Biswas** (Ingeniería Química, Ambiental y de Materiales, y decano de la Facultad de Ingeniería), **Antonio Nanni** (Ingeniería Civil y Arquitectónica), y **Alex Piquero** (Sociología y Criminología), se ubicaron en el **5 % superior de productividad investigadora** dentro de universidades pares que pertenecen a la **Association of American Universities (AAU)**.

Academic Analytics™, es una empresa privada con sede en Nueva York que fue fundada en 2005. Es un proveedor integral de datos de inteligencia empresarial académica. Los datos y los procesos de análisis de AA están diseñados para brindar información precisa y oportuna a la administración universitaria, mediante datos comparativos de alta calidad sobre doctorados. Los análisis que realiza AA ayudan a construir instituciones de investigación sólidas, que brindan a los líderes institucionales una nueva comprensión de los logros en investigación de los académicos, los departamentos, los programas y toda la institución, e identifican las rutas a seguir para hacer crecer la huella de investigación de manera estratégica y en línea con la misión de la universidad.

¿Qué es la AAU?

La AAU está compuesta por 71 de las principales universidades de investigación de Estados Unidos. Solo el **3 % de las instituciones de cuatro años** del país reciben invitación para unirse, tras una rigurosa evaluación del comité.

¿Cómo se mide la productividad académica?

Para ubicarse en el 5 % superior de los profesores con mejor desempeño, un profesor debe estar **entre los mejores en al menos 4 de los 7 indicadores de AA que se enlistan a continuación:**

- Artículos en revistas científicas
- Citaciones
- Actas de conferencias
- Libros
- Capítulos de libros
- Patentes
- Premios honoríficos

Antonio Nanni: Innovación en la durabilidad del concreto

La trayectoria de **Antonio Nanni** comenzó durante su licenciatura, con una tesis sobre concreto reforzado con fibras. Como resultado de esta experiencia quedó tan fascinado con el tema que también decidió desarrollar su tesis de maestría en este mismo tema.

“En mi vida profesional me han intrigado y fascinado dos sistemas de materiales: el concreto y los materiales compuestos. He trabajado con ambos, destacando sus propiedades sinérgicas”, afirmó Nanni.

El Dr. Nanni es un ingeniero estructural especializado en materiales de construcción, su comportamiento estructural y su aplicación en el campo. Sus intereses se centran en la sostenibilidad y renovación de la infraestructura civil. A lo largo de 28 años ha acumulado una vasta experiencia como investigador principal en proyectos patrocinados por agencias federales, estatales y por la industria privada.

Problemas estructurales y soluciones

El concreto, aunque es el material más utilizado del mundo en la industria de la construcción, sufre por la penetración de los iones cloruro que están presentes en el agua salada, los cuales pueden propiciar la corrosión del acero de refuerzo.

Nanni propone eliminar el acero y utilizar **materiales compuestos como refuerzo**, creando con esto un concreto **que no sufra por la corrosión**, lo cual redefine el concepto de **durabilidad** en la ingeniería civil.

Por otro lado, su trabajo promueve el uso de agua de mar y agregados reciclados, preservando recursos naturales como el agua dulce y los agregados naturales.

“Comparado con la biotecnología o la informática, mi campo de investigación puede parecer mundano”, dijo Nanni. “sin embargo la seguridad y la calidad de vida de los seres humanos dependen principalmente de la infraestructura construida: presas, puentes, sistemas de aguas residuales, rascacielos...”.

Compromiso académico



El Dr. Nanni ha asesorado a más de 60 estudiantes de posgrado en programas de maestría y doctorado, ha publicado más de 175 artículos en revistas arbitradas y 300 en memorias de congresos. Valora profundamente la participación de los estudiantes en su trabajo de investigación: destacando que

“Los estudiantes no solo ayudan con lo experimental o lo analítico. También **desafían nuestras ideas y las enriquecen con creatividad.** Su entusiasmo es una fuente de inspiración”.

Su compromiso con la excelencia académica lo ha llevado a influir activamente en comités del American Concrete Institute (ACI), como los comités 325, 437, 440, 544, 549 y 562. También ha sido parte del Comité Ejecutivo de la División de Materiales de la American Society of Civil Engineering (ASCE), es editor jefe del Journal de Materiales en Ingeniería Civil de la ASCE y es miembro de los consejos editoriales de diferentes revistas técnicas y científicas.

Reconocimientos

Con más de **600 publicaciones científicas**, el Dr. Nanni ha sido galardonado con múltiples premios:

- **Premio al Servicio Destacado**, Florida Engineering Society (2017).
- Electo **Presidente del American Concrete Institute** (2023 – 2024).
- **Premio Henry L. Michel** 2012 de la ASCE al avance de la investigación en la industria.

- **Premio a la Excelencia** 1997 de Engineering News-Record otorgado a las 25 personas más influyentes en la industria de la construcción.

Es ingeniero profesional registrado en Italia, Florida, Pensilvania, Misuri y Oklahoma.

“Sigo fascinado con el impacto que la construcción — y específicamente el concreto — tiene en la sociedad y el futuro del mundo”, concluyó.

El Dr. Nanni combina liderazgo internacional, reconocimiento académico y una carrera profundamente vinculada tanto a la teoría como a la práctica, consolidándose como una figura de referencia en la ingeniería del concreto.

El Comité Editorial de la Revista Digital Concreto Latinoamérica, así como los Capítulos del ACI que colaboran en su publicación, felicitan al Dr. Antonio Nanni por el reconocimiento que en este 2025 le ha otorgado Academic Analytics por su destacada productividad académica en la investigación del concreto.

¡Enhorabuena al Dr. Antonio Nanni!

Fuente: <https://www.newswise.com/articles/university-of-miami-researchers-named-among-the-nation-s-best>



CONCRETO
LATINOAMÉRICA