

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

FEBRERO 2021

Volumen II - Número 2

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Volumen II - Número 2

Febrero del 2021

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

CONTENIDO:

- | | |
|-------------------------|---|
| Pág
4 | 1. Polímero fibro-reforzado como refuerzo para elementos de concreto
El Comité ACI 440 está dando el siguiente paso hacia el cumplimiento de los códigos de construcción |
| Pág
10 | 2. Barras de refuerzo compuestas para la infraestructura del futuro
Los GFRP incrementan la durabilidad del concreto reforzado para satisfacer las demandas del incremento del tráfico, de la urbanización y del clima extremo. |
| Pág
16 | 3. Haciendo más y mejor con el concreto lanzado reforzado con fibra
Comparación entre diseño y ensayos. |
| Pág
22 | 4. Concreto P&R
Prueba de Rodamiento en una Base Preparada |

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:

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

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editor Asociado:

M.C. Lucio Guillermo López Yépez

Soporte Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

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

Auxiliar de Diseño:

Silvia Elizabeth Olivares Araiza

Coordinadora de Traducciones:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

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

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de **Febrero de 2021**. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina
Colombia

Costa Rica
Ecuador Centro y Sur
Guatemala

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

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

*Fotografía de portada que corresponde a la obra del canal de mitigación de inundaciones en Jizan, Arabia Saudita.

Todos los créditos de la imagen corresponden a Manteenbar



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI



300+ Capítulos profesionales
y estudiantiles
www.concrete.org/chapters



Polímero fibro-reforzado como refuerzo para elementos de concreto

El Comité ACI 440 está dando el siguiente paso hacia el cumplimiento de los códigos de construcción

Por Mahmut Ekenel, Francisco De Caso y Basalo, y Antonio Nanni



Fig. 1: Ejemplos de barras de FRP con distintas características superficiales

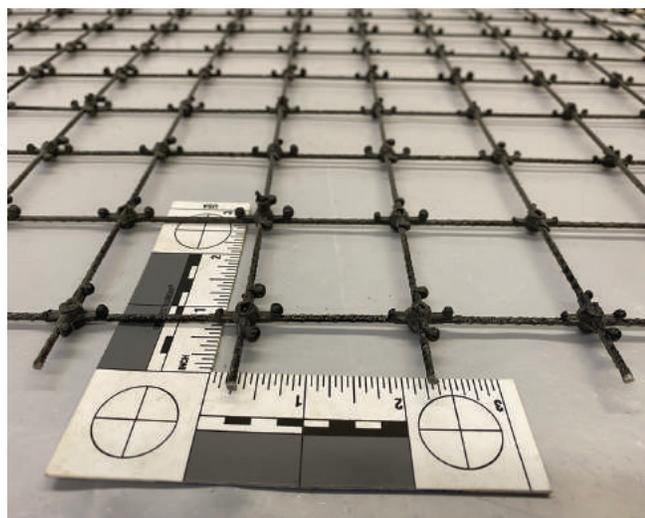


Fig. 2: Ejemplo de malla FRP. Las intersecciones están sujetas mediante un conector de polímero no estructural

Los polímeros fibro-reforzados (FRP) ofrecen nuevas posibilidades para aplicaciones estructurales y no estructurales en la construcción de edificios. Las barras de FRP y, más recientemente, las mallas utilizadas como refuerzo del concreto (Figuras 1 y 2), han ganado popularidad al ofrecer algunas ventajas distintivas como la resistencia a la corrosión, una alta relación entre rigidez y peso, y costos de mano de obra y manipulación relativamente menores. Durante las tres últimas décadas, las barras de FRP se han utilizado con éxito como refuerzo estructural en elementos de concreto en proyectos de edificios y puentes (por ejemplo, losas y vigas). La Figura 3 muestra el progreso de la construcción de una casa residencial en Great Harbour, Berry Island, Bahamas, donde se utilizó polímero fibro-reforzado con vidrio (GFRP) para todos los elementos estructurales de concreto, incluyendo los muros de mampostería. La Figura 4 muestra el uso de barras rectas y dobladas de GFRP para la construcción de cabezales en un proyecto de reemplazo de un puente en la Avenida 23 sobre Ibis Waterway, Condado de Broward, FL, USA. Recientemente, también ha surgido el interés por utilizar barras y mallas de FRP como refuerzo secundario para elementos de concreto tales como zapatas de concreto convencional, losas sobre el terreno y muros de concreto convencional en lugar del refuerzo de acero convencional por temperatura y contracción. En la Figura 5 se muestra el uso de la malla de polímero fibro-reforzado con basalto (BFRP) como refuerzo secundario. La malla BFRP se utilizó para este proyecto en el Aeropuerto Internacional

Florida Keys Marathon en Marathon, FL. La malla consistía en una rejilla ortogonal de 100 x 100 mm (4 x 4 pulgadas) fabricada con alambre de 3,6 mm de diámetro. La losa de piso construida sobre una losa de concreto existente (con grietas y huecos) se utiliza para hangares de aeronaves ligeras. El espesor de la losa varía de 100 a 150 mm (4 a 6 pulg.). En este artículo se evalúan las barras y mallas de FRP utilizadas como refuerzo primario o secundario del concreto en cumplimiento de los códigos de construcción legalmente adoptados en los Estados Unidos.

Códigos de construcción en los Estados Unidos

En los Estados Unidos, donde la facultad de regular la construcción corresponde a las autoridades locales, se utiliza un sistema basado en modelos de códigos de construcción. El Código Internacional de Construcción (IBC) y el Código Residencial Internacional (IRC) son los dos códigos modelo que se han desarrollado para establecer los requisitos mínimos para salvaguardar la salud y la seguridad públicas. En general, el IBC y el IRC se ocupan de la resistencia estructural, medios de salida, saneamiento, iluminación y ventilación adecuados, accesibilidad, conservación de la energía y seguridad vital en relación con los edificios, instalaciones y sistemas nuevos y existentes. Actualmente, el IBC ha

sido adoptado en todo el país, así como en los territorios estadounidenses, mientras que el IRC ha sido adoptado igualmente por la mayoría de los estados. Los ingenieros y arquitectos suelen guiarse por los códigos de construcción nacionales y locales que se basan en los códigos modelo. Estos códigos modelo adquieren especial importancia cuando el cumplimiento del código de construcción legalmente adoptado es exigido por una jurisdicción con autoridad para aprobar proyectos de construcción. Se puede lograr fácilmente el cumplimiento cuando un diseño incorpora materiales o conjuntos cubiertos en el IBC o IRC. Sin embargo, cuando un diseño incorpora materiales o conjuntos que no están específicamente contemplados en el IBC y el IRC, puede ser necesario demostrar el cumplimiento del código de construcción. La sección 104.11 de las disposiciones del IBC1 permite que se apruebe un material, diseño o método de construcción alternativo, cuando el gerente de construcción considere que el diseño propuesto es satisfactorio y cumple con la finalidad de las disposiciones de este código, siempre que el material y el método evaluados sean, para el fin previsto, al menos equivalentes a los prescritos en cuanto a calidad, solidez, eficacia, resistencia al fuego, durabilidad y seguridad. La subsección 104.11.1 del IBC, relativa a los informes de investigación, permite que dichos informes sean emitidos por fuentes aprobadas cuando sean necesarios para ayudar en la aprobación de



Fig. 3: Residencia costera en construcción. Las losas de concreto, las columnas de concreto y las paredes de mampostería incluían refuerzo de FRP



Fig. 4: Puente costero en construcción. Las pilas y el cabezal se reforzaron con barras de refuerzo de FRP suministradas en forma recta y precurvada

materiales o elementos no cubiertos específicamente. La opción más permanente sería revisar el IBC y el IRC para permitir que se utilicen materiales o elementos alternativos, como barras y mallas de FRP, como refuerzo estructural y secundario. Sin embargo, dichas revisiones deben pasar por el largo proceso de revisión y aprobación pública del International Code Council (ICC). Con este fin, el Comité ACI 440, Refuerzo de Polímeros Fibro-Reforzados, ha comenzado a desarrollar un reglamento de diseño con un lenguaje obligatorio que regule el uso de refuerzo de FRP. Este reglamento dependerá del Código ACI 318² y estará diseñado para ser adoptado fácilmente como referencia en los códigos y modelos de construcción locales. El método preferido es crear una conformidad con el código de acuerdo con la sección 104.11 del IBC. Esto se consigue generalmente a través de ensayos al producto de acuerdo con un Criterio de Aceptación (AC), que define los requisitos de muestreo, ensayo y calidad del producto que deben cumplirse para obtener la verificación del cumplimiento del código. Los resultados de estos requisitos se resumen en un informe de investigación que se pone a disposición de los responsables de los códigos, tal como se establece en la sección 104.11.1 del IBC. Los informes de investigación suelen ser emitidos por organismos certificadores acreditados para cumplir la norma ISO/IEC 17065.³ Todas las pruebas deben ser realizadas por un laboratorio que cumpla con la norma ISO/IEC 17025.⁴ El organismo certificador (agencia evaluadora)

exige la acreditación por parte de un organismo acreditador reconocido, que verifica directamente la competencia de un laboratorio visitando las instalaciones y observando a su personal durante los ensayos. El organismo acreditador también debe determinar si el laboratorio cuenta con un sistema de calidad robusto que garantice la precisión de los resultados reportados y disponga de medios para investigar y realizar correcciones cuando los informes sean cuestionados. Hasta la fecha, el IBC y el IRC no incluyen disposiciones para el uso de barras y mallas de FRP como reemplazo del acero de refuerzo. El capítulo 19 del IBC hace referencia al código ACI 318 para el diseño de edificios de concreto reforzado; asimismo, el código ACI 318 tampoco aborda el uso de barras y mallas de FRP como reemplazo del acero de refuerzo. Por lo tanto, el Servicio de Evaluación del ICC (ICC-ES) ha desarrollado unos CA para el uso de FRP como refuerzo del concreto, el AC454⁵ y el AC521⁶, según la Sección 104.11 del IBC y la Sección R104.11 del IRC.⁷

Criterios de Aceptación para el Cumplimiento del Código de Construcción

El desarrollo de un AC suele comenzar con una solicitud por una parte interesada que supervisa la invención o producción de un producto, sistema o tecnología de construcción alternativa. Después de revisar el IBC y el IRC para confirmar que la alternativa propuesta no está dentro de las disposiciones del IBC o del



Fig. 5: Las mallas de FRP pueden utilizarse como refuerzo secundario en las losas sobre suelo

IRC, se redacta un AC con la ayuda de productores, académicos y otras partes interesadas. A continuación, el proyecto de AC se comparte con el público, a través de una publicación en línea abierta, para solicitar comentarios. Se recopilan los comentarios del sector público, se prepara una carta de respuesta de los responsables de los criterios propuestos y se comparte públicamente, para después aplicar nuevas revisiones si es necesario. Como paso final, se celebran audiencias públicas abiertas, en las que oficiales de los códigos independientes seleccionados actúan como un comité de evaluación que escucha las preocupaciones del sector público y las respuestas de los responsables del AC y plantea sus propias preguntas y comentarios. A continuación, el comité evaluador vota la propuesta del AC. Se requiere una simple mayoría para que un AC sea aprobado y emitido. Debido a que el uso de barras y mallas de FRP como refuerzo primario o secundario no está dentro de las disposiciones del código actual, se han desarrollado los AC454 y AC521 bajo la Sección 104.11 del IBC y la Sección R104.11 del IRC, con fechas de aprobación final de octubre de 2020 y diciembre de 2020, respectivamente. El AC454 se aplica a las barras de GFRP o BFRP, en tramos cortados, formas dobladas y estribos y tirantes



Fig. 6: Encofrado, barras de refuerzo e iniciador de grietas para la preparación de la muestra de ensayo de agrietamiento por contracción

(aros) cerrados continuos, que se utilizan para reforzar los elementos estructurales de concreto. El AC requiere la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas, el comportamiento bajo exposiciones ambientales aceleradas, el comportamiento bajo la exposición al fuego y los procedimientos de diseño estructural. El AC454 se aplica a las barras de FRP que son sólidas con secciones transversales circulares o irregulares, o huecas con secciones transversales circulares. Las barras que cumplen el AC454 se utilizan como refuerzo en elementos estructurales de concreto tales como columnas, vigas, muros, cimentaciones poco profundas y losas en una o dos direcciones, y como refuerzo a cortante para elementos a flexión. Según el AC454, las barras de FRP son limitadas a las estructuras construidas en la Categoría de Diseño Sísmico A o B utilizando concreto de peso normal. Las referencias al AC454 incluyen la norma ASTM D7957/D7957M-178 para la mayoría de los ensayos requeridos y el código ACI 440.1R-15⁹ para las disposiciones de diseño. Sin embargo, el AC454 también describe ensayos estructurales a escala real para miembros reforzados con barras sólidas de FRP no circulares o barras circulares huecas de FRP.

El criterio AC521 se aplica a las barras de vidrio o basalto de FRP en tramos cortados o en mallas producidas con alambres sólidos con secciones circulares continuas e ininterrumpidas. Los elementos evaluados conforme al AC521 incluyen las propiedades físicas y mecánicas. Las barras y mallas de FRP evaluadas según el AC521 se utilizan como alternativas al refuerzo por contracción y temperatura especificado en la Sección 24.4 del código ACI 318-19 para las zapatas de concreto simple y para las losas sobre terreno de concreto simple (según la definición del código ACI 360R-10¹⁰). Sin embargo, este AC no elimina el requisito de las juntas especificado en la Sección 14.3.4 del ACI 318-19 (y, por consiguiente, en el IBC y el IRC). Las barras y mallas de FRP bajo este AC también se utilizan como alternativa al refuerzo horizontal por temperatura y contracción en los muros estructurales de concreto simple contemplados en la Sección 1906 del IBC, las Secciones R404.1.3 y R608.1 del IRC, y las Secciones 8.2.1 y 8.2.7 del ACI 332-14,¹¹ excluyendo los muros donde se requiere refuerzo vertical. El AC521 también prevé la realización de pruebas para detectar

agrietamientos por contracción (Fig. 6). El objetivo del ensayo de agrietamiento por contracción es demostrar la equivalencia entre una configuración determinada de las barras o mallas de FRP (es decir, el tamaño de la sección transversal del FRP y el espaciamiento) y una configuración del acero de refuerzo seleccionada, en términos del desempeño del control del agrietamiento por contracción. La intención es permitir que el gerente de construcción obtenga la aprobación del responsable de la construcción para el uso de una solución de FRP como alternativa a una solución de acero, sin la necesidad de pruebas adicionales o cálculos ingenieriles.

Además de las pruebas de conformidad con los requisitos de aceptación, un aspecto igualmente importante de la evaluación de los productos es el requerimiento de documentar las medidas de control de calidad durante la fabricación de los materiales. Las medidas tienen por objeto verificar que los materiales producidos se ajusten al desempeño previamente demostrado en los ensayos. Como medio de verificación, el sistema de calidad debe ser examinado por una agencia de inspección acreditada. La agencia de inspección debe ser independiente y ajustarse a los requisitos estipulados en la norma ISO/IEC 17020,¹² según lo determinado por un organismo acreditador reconocido. La agencia de evaluación se encarga de exigir que la agencia de inspección revise cada centro de fabricación con regularidad, y no menos de una vez al año, para garantizar que los materiales del FRP se produzcan y se ajusten a las prestaciones y mediciones críticas establecidas en la documentación de calidad.

Resumen

El Comité ACI 440 está avanzando en el desarrollo de un código de diseño con lenguaje obligatorio dependiente del ACI 318 que regule el uso del refuerzo de FRP. El comité espera que el documento esté terminado para 2022. Una vez que el ACI publique este código, se someterá a revisión pública a través del proceso del ICC para que pueda ser adoptado en el IBC y el IRC para la construcción de edificios de concreto. El IBC y el IRC son los códigos de construcción y residenciales más importantes de los Estados Unidos. Para construir

edificios con materiales alternativos que no están contemplados en los códigos, existen dos opciones:

- El código de construcción debe incorporar la nueva tecnología a través del proceso de audiencia pública de la ICC, o
- Se muestra el cumplimiento del código de construcción, en base a la Sección 104.11 del IBC o la Sección R104.11 del IRC.

El primer caso puede lograrse una vez que el Comité ACI 440 haya elaborado con éxito un código de diseño. El segundo caso requiere que el promotor de los materiales alternativos demuestre el cumplimiento del código de construcción a través del AC454 o del AC521, donde el primero se emplea para aplicaciones de refuerzo estructural y el segundo se emplea para aplicaciones de refuerzo por contracción y temperatura.

Referencias

1. “2021 International Building Code (IBC),” International Code Council, Country Club Hills, IL, 2021, 833 pp.
2. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
3. ISO/IEC 17065:2012, “Conformity Assessment – Requirements for Bodies Certifying Products, Processes and Services,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012, 27 pp.
4. ISO/IEC 17025:2017, “General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017, 30 pp.
5. AC454, “Acceptance Criteria for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars for Internal Reinforcement of Concrete Members,” ICC Evaluation Services, Inc., Country Club Hills, IL, 2020, 20 pp.
6. AC521, “Acceptance Criteria for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars and Meshes for Internal Reinforcement of Non-Structural Concrete Members,” ICC Evaluation Services, Inc., first edition, Country Club Hills, IL, 2020, 8 pp.
7. “2021 International Residential Code (IRC),” International Code Council, Country Club Hills, IL, 2021.
8. ASTM D7957/D7957M-17, “Standard Specification

for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 pp.

9. ACI Committee 440, “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete with Fiber-Reinforced Polymer Bars (ACI 440.1R-15),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 88 pp.

10. ACI Committee 360, “Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.

11. ACI Committee 332, “Residential Code Requirements for Structural Concrete (ACI 332-14) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 56 pp.

12 ISO/IEC 17020:2012, “Conformity Assessment – Requirements for the Operation of Various Types of Bodies Performing Inspection,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012, 18 pp.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección México-Noreste

Título: Barras de refuerzo compuestas para la infraestructura del futuro



Traductor: Lic. Iliana Margarita Garza Gutiérrez



Revisor Técnico: Ing. Francisco David Anguiano Pérez



Antonio Nanni, FACI, es un Investigador Senior Profesor y Director del Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectónica y Ambiental de la Universidad de Miami. Sus intereses de investigación incluyen los materiales de construcción, su comportamiento estructural y su aplicación en campo, especialmente el concreto y los sistemas de reparación y reforzamiento a base de materiales compuestos avanzados. Es presidente del Comité ACI 549, Productos cementantes reforzados y ferrocemento, y miembro de numerosos comités del ACI incluyendo el Comité ACI 440, Refuerzo de polímero fibro-reforzado. Ha recibido diversos premios, entre ellos en 2014 la Medalla IIFC del Instituto Internacional de FRP en la categoría de Construcción y en 2012 el Premio Henry L. Michel de la ASCE por su Investigación sobre Avances en la industria.

Mahmut Ekenel, FACI, es ingeniero senior en ICC Evaluation Service, LLC, Brea, CA, USA. Sus intereses de investigación incluyen el reforzamiento de estructuras con polímeros fibro-reforzados y matrices cementantes fibro-reforzadas, concreto reforzado con fibras, aditivos para concreto y anclajes para concreto. Es miembro de los comités ACI 440, Refuerzo de polímero fibro-reforzado; 544, Concreto reforzado con fibra; y 549, Productos cementantes finamente reforzados y ferrocemento. Obtuvo su maestría en la Southern Illinois University y su doctorado en la Missouri S&T University, Rolla, MO, USA, donde también trabajó como investigador postdoctoral.

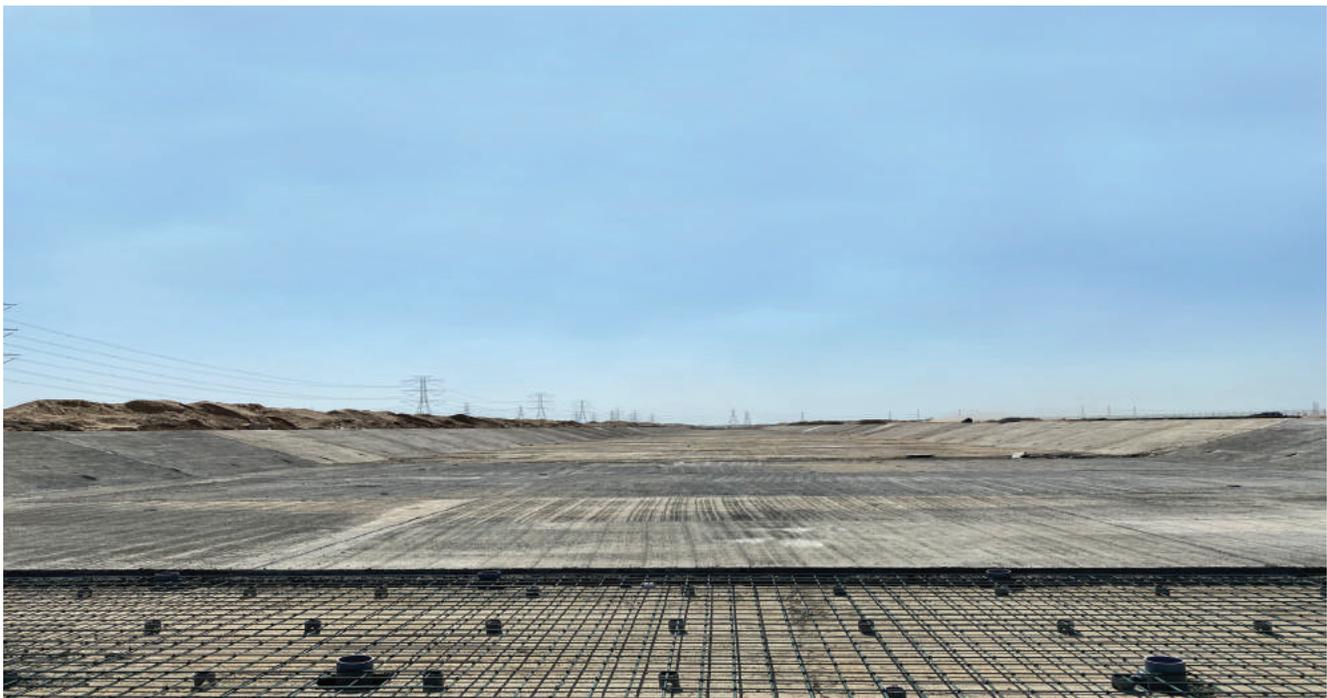


Miembro ACI, **Francisco De Caso y Basalo**, es científico titular en el Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectónica e Ingeniería Ambiental de la Universidad de Miami, Coral Gables, FL, USA. Su investigación se centra en los sistemas de materiales resistentes aplicados al medio ambiente construido y abarca un amplio espectro de retos relacionados con el comportamiento mecánico, la durabilidad y el diseño. Es miembro de los comités ACI 364, Rehabilitación, y 440, Refuerzo de polímero fibro-reforzado. Obtuvo su título de ingeniero en la Universidad de Bath, Reino Unido, y su doctorado en la Universidad de Miami.

Barras de refuerzo compuestas para la infraestructura del futuro

Los GFRP incrementan la durabilidad del concreto reforzado para satisfacer las demandas del incremento del tráfico, de la urbanización y del clima extremo.

Por Ginger Gardiner



En todo el mundo, las estructuras de concreto están siendo atacadas como nunca. No solo ha aumentado el tráfico en carreteras, puentes y pasos elevados, sino que el cambio climático ha aumentado los eventos climáticos extremos, incluyendo tormentas violentas y lluvias torrenciales que provocan avenidas repentinas y otros eventos destructivos. Bajo estas solicitaciones, el concreto puede fisurarse. Esto da lugar a un rápido deterioro en ambientes agresivos por exposición a elementos como el agua salada, la cual corroe el acero de refuerzo.

“Las fisuras crean vías para que los agentes de ambientes agresivos alcancen el acero de refuerzo y/o pretensado, y se inicie el proceso de corrosión por oxidación”, explica el sitio web de innovación de estructuras del Departamento De Transporte De La Florida (FDOT). “Un enfoque innovador para combatir este problema es reemplazar las tradicionales barras y cables de acero de refuerzo, por polímeros reforzados con fibras (FRP)”. El FDOT ha sido líder en el uso y el ensayo de barras de refuerzo de FRP, así como

Reimpreso por cortesía de CompositesWorld. Publicado originalmente en www.compositesworld.com/articles/composite-rebar-for-future-infrastructure-. Las fotografías son reimpresas por cortesía de Mateenbar and Pultron Composites.

en el desarrollo de normas de diseño y uso, como las publicadas por el Instituto Americano de Concreto (ACI). Aunque las barras de refuerzo compuestas se fabrican principalmente con fibra de vidrio (polímero reforzado con fibra de vidrio [GFRP]), también se han desarrollado usando fibra de basalto (polímero reforzado con fibra de basalto [BFRP]) o fibra de carbón (polímero reforzado con fibra de carbón [CFRP]). “Con un extenso y costoso historial de corrosión en todo el mundo, el acero ya no se considera una opción rentable en entornos agresivos” dice Nick Crofts, director general de Mateenbar, que es una fábrica de barras de refuerzo de GFRP con sede en Dubái, Emiratos Árabes Unidos (EAU), y Concord (Carolina del Norte). Mateenbar es el principal proveedor del mayor proyecto de barras de refuerzo de GFRP de todo el mundo. Este proyecto consiste en la construcción de un canal de mitigación de inundaciones de 23 km (14 millas) de longitud y hasta 80 m (262 pies) de ancho en Jizán, Arabia Saudita. Aunque las barras de refuerzo de GFRP existen desde hace 30 o 40 años, dice Crofts, proyectos claves como el canal de inundación de Jizán las están impulsando dentro de la infraestructura principal. Este crecimiento ya justifica las nuevas fábricas de Mateenbar en Arabia Saudita y los Estados Unidos.

Tecnología pionera de barras de refuerzo GFRP

La barra de refuerzo GFRP de Mateenbar fue desarrollada por Pultron Composites of Gisborne, Nueva Zelanda, un pionero y especialista en tecnología de pultrusión e innovación de productos. Mateenbar señala que existen desafíos únicos del mercado de barras de refuerzo, que no sólo exige altos volúmenes y bajos precios, sino que también requiere que el producto sea especificado por los arquitectos y/o ingenieros del proyecto. Así, la primera fábrica de Mateenbar en 2008 se construyó cerca de los clientes potenciales y las grandes firmas de ingeniería de Dubái, EAU, que es una región conocida por sus grandes proyectos de infraestructura y el uso pionero de materiales compuestos en construcción. Pultron continúa siendo un socio estratégico de Mateenbar y un proveedor clave de la tecnología y el desarrollo de productos.

La fábrica de Mateenbar utiliza la tecnología avanzada de Pultron para producir barras de refuerzo pultruidas muy consistentes con un alto rendimiento y sin emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). “Inyectamos la resina y la curamos dentro de la matriz de pultrusión de acero”, dice Crofts. “Esta barra de refuerzo es un producto de ingeniería con un desempeño dimensional mejor que $\pm 1\%$ ”, añade. “No hay excusa para ver resina en el suelo o polvo en el aire. La fibra utilizada es vidrio ECR resistente a la corrosión de Owens Corning y la resina es una propia variante de un éster de vinilo con soporte epoxi. Esto maximiza la tenacidad, la resistencia y la durabilidad, y es muy superior a una cadena principal de poliéster con terminaciones epoxi”. Las barras redondas pultruidas se mecanizan para crear un perfil en espiral que permita la adherencia dentro del concreto. “También se trata de una operación cerrada”, señala Crofts, “en la que se utilizan cabinas de mecanizado equipadas con el sistema de filtración de aire suministrado por Donaldson, que se ubican en Bloomington, MN, USA. Luego aplicamos una película de resina en el exterior para mejorar su manipulación”. La barra de refuerzo de Mateenbar se produce en longitudes de hasta 24 m (80 pies), cortada en longitudes requeridas. “Es típico ver longitudes de 12 m (40 pies) para la mayoría de los proyectos de infraestructura y construcción”, dice Crofts. “Nuestra barra de refuerzo promedio es de 19 mm (0.75 pulgadas) de diámetro, con un módulo a tensión de 60 GPa (8700 ksi) hecha de fibra de vidrio con módulo de 80 GPa (11600 ksi); por tanto, el contenido de fibra es muy alto, de más del 80% en peso. No hay forma de doblarlas, por lo que nuestras barras de refuerzo de GFRP dobladas se fabrican con un proceso y una resina diferente, con una tecnología propia”.

El proyecto de barras de refuerzo de GFRP más grande del mundo

Jizán (también escrito Jazán) es la capital de la región de Jizán, que se encuentra en el extremo suroeste de Arabia Saudita, al norte de la frontera con Yemen. Durante las fuertes lluvias periódicas se producen inundaciones repentinas desastrosas debido a

la escorrentía de las montañas cercanas. El canal de drenaje de aguas pluviales de concreto reforzado de 23 km de longitud fue construido para proteger una gran zona industrial que incluye una refinería de petróleo de Saudi Aramco en Dhahran, Arabia Saudita. Hasta la pandemia de COVID-19, Saudi Aramco era la mayor empresa del mundo en términos de ingresos. Maneja todo el negocio del petróleo y sus productos derivados, así como también representa el 10% de toda la construcción en Arabia Saudita. “Saudi Aramco se enteró de que un enorme porcentaje de su presupuesto anual se empleaba en sustituir estructuras de concreto reforzado”, dice Crofts. “La alta salinidad de la arena de la región y la elevada variación de temperatura del día a la noche provocan una fisuración más rápida en el concreto. Saudi Aramco empezó a buscar tecnologías alternativas y, como miembros del ACI, ellos tomaron su estrategia de las normas existentes de barras de refuerzo FRP, adaptándolas y ajustándolas como normas de Saudi Aramco. La empresa entonces exigió el uso de barras de refuerzo GFRP en determinados ambientes de alta corrosión”. Saudi Aramco solicitó ofertas para el proyecto del canal de inundación de Jizán y seleccionó a tres proveedores de barras de refuerzo de GFRP. A Mateenbar se le adjudicó el 50% del contrato. “Esperamos varios meses mientras se preparaba el proyecto”, recuerda Crofts, “y luego, de repente, se necesitaron inmediatamente todos los materiales. La fábrica de Dubái paso a estar a pleno rendimiento en una semana y produjo casi 6000

km (3730 millas) de refuerzo de GFRP en 7 meses.” Una vez entregada, la barra de refuerzo era instalada por el contratista del proyecto, Al Yamama Group de Dammam, Arabia Saudita. “Pensábamos que dar una gran cantidad de soporte técnico durante la instalación, pero no fue necesario”, dice Crofts. “Les resulto mucho más rápido Con un peso del 25% de las barras de refuerzo de acero, la barra de refuerzo de GFRP puede ser manipulada en tramos más largos con menos personal y es más fácil de mover y posicionar. “También se necesitan menos tubos de posicionamiento,” añade. “Estas secciones de tubos redondos son utilizadas para sostener las barras de refuerzo a la altura correcta dentro del concreto.” Una vez colocada la barra de refuerzo, atada con alambres de acero inoxidable, esta se inspecciona, y todo está listo para el vaciado del concreto. El equipo de instalación de las barras de refuerzo trabajó tan rápido, que ya habían recorrido un kilómetro por el canal de 40 a 80 m (131 a 262 pies) de ancho antes de enterarse de que las operaciones de colocación del concreto no podían mantener su paso” agregó. “Esto es importante, porque si llueve mucho, la inundación llena el canal con arena. Esto ocurrió en un par de ocasiones, causando retrasos, pero también resaltando la importancia de este canal de drenaje. Después de colocar el concreto, el equipo de instalación lo consolida y luego se cura durante las siguientes semanas. “No hay diferencia entre las barras de refuerzo de GFRP y acero en estos pasos,” dice Crofts.



El canal de concreto reforzado terminado en Jizan dirigirá el agua de escorrentía lejos de las carreteras y las instalaciones de producción industrial (foto cortesía de Al Yamama Group)

Pasos de producción



Paso 1: la fibra de vidrio se introduce en la matriz pultruida y se inyecta con resina en un proceso de moldeo cerrado.



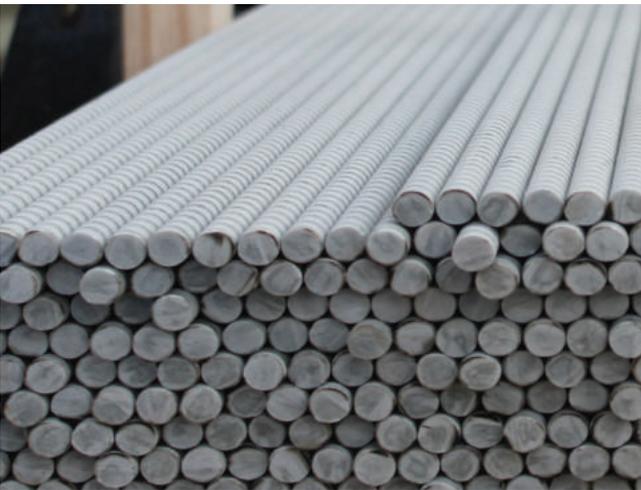
Paso 4: las barras de refuerzo rectas y dobladas se envían a obra



Paso 2: el proceso de pultrusión crea barras compuestas de fibra de vidrio/éster de vinilo en longitudes de hasta 24 m (80 pies).



Paso 5: las barras se colocan según los planos de diseño, apoyadas a la altura correcta por secciones de tubo circulares y sujetas con amarres de acero inoxidable



Paso 3: se maquina una espiral en las varillas para ayudar a la adhesión dentro del concreto



Paso 6: el concreto se coloca sobre las barras de refuerzo, se apisona y se consolida

Diseño, costos y futuro del GFRP

Crofts señala que la barra de refuerzo de GFRP no es un sustituto directo del acero. “Las barras de GFRP tienen propiedades diferentes que las barras de acero. Estas diferencias deben tenerse en cuenta en el diseño. Así, mientras que el concreto reforzado con acero se diseña de acuerdo con la norma ACI 318, esto no es adecuado para las barras de refuerzo de GFRP, que se basan en la guía de diseño ACI 440.1R. Por ejemplo, la barra de refuerzo de GFRP tiene una mayor resistencia a la tracción que el acero, pero un menor módulo a tensión. Además, es elástica hasta el punto de falla.” Señala Crofts que, en el diseño de acero, la cantidad de barras de refuerzo se determina normalmente por la resistencia a la tracción. Sin embargo, en el caso del GFRP, el módulo suele ser el factor que determina la cantidad de barras de refuerzo requeridas. El cumplimiento de este requisito suele dar lugar a una estructura que supera los requisitos de resistencia última. También garantiza un modo de fallo designado en la estructura reforzada con GFRP.

Otra consideración es la producción de dobleces y formas. Crofts señala que, en proyectos, la proporción de barras de refuerzo dobladas con respecto a las rectas es, en promedio, de aproximadamente el 30%. En el caso de las barras de refuerzo de acero, esta fabricación suele completarse in situ. “Las barras dobladas de Mateenbar se producen en nuestra fábrica de ambiente controlado y se entregan directamente en la obra sin pasos intermedios de fabricación”, explica. “Esto puede ser un reto desde el punto de vista del suministro, ya que las necesidades cambian de una semana a otra. Hemos comprobado que la flexibilidad y el hecho de tener una fábrica situada en la misma región son muy importantes”.

“El costo de las barras de refuerzo de GFRP es de 3 a 4 veces mayor que el del acero, si se calcula en dólares por libra”, dice Crofts, “porque nuestro producto tiene una cuarta parte de la densidad. La medida adecuada es el dólar por pie, porque las barras de refuerzo se especifican y se compran como una fracción del volumen del concreto. Cuando se mide su costo por volumen, las barras de refuerzo de GFRP son competitivas en costos con el acero”.

“Jizán fue el primer megaproyecto que no permitía el acero”, dice Crofts. “Tenían un equipo para diseñar las estructuras que requerían una vida útil de más de 100 años. Varios fabricantes de barras de refuerzo están buscando instalarse en Arabia Saudita a medida que crece la demanda”. Mateenbar también está construyendo una nueva fábrica allí, así como una en Concord, Carolina del Norte, para atender a Norteamérica, que es el segundo mayor mercado después de Oriente Medio. Ambas fábricas son modernas, de 9300 m² (100.000 pies²), que utilizan la avanzada tecnología de pultrusión de Pultron. Para ambas se entregó el equipo en octubre de 2020, y se espera que la producción comience a principios de 2021.

Mientras la demanda de barras de refuerzo de GFRP aumenta en Oriente Medio, el mercado de Norteamérica sigue madurando. “Actualmente, las mayores aplicaciones de barras de refuerzo de GFRP en Norte América son los muros marinos y los puentes a lo largo de la costa o donde las carreteras se encuentran en ambientes altamente salinos”, dice Crofts. “Sin embargo, los departamentos de transporte (DOT) y los propietarios de las estructuras, están revisando como reducir los costos a lo largo de la vida útil de las estructuras, lo que incluye reducir la necesidad de mantenimiento y la construcción de infraestructura duradera y sostenible. Los ingenieros consultores y los usuarios finales están viendo el valor de la tecnología de las barras de GFRP y los productores de barras de GFRP están cooperando en las normas de calidad y desempeño. También hay usuarios líderes, como el FDOT, que promueven la tecnología y ayudan a otros DOT, lo que ha ayudado a difundir el conocimiento”.

Crofts señala que el FDOT organizó recientemente un seminario web sobre el diseño de concreto reforzado con GFRP, que tuvo 200 asistentes. En otro seminario web, Antonio Nanni, FACI, uno de los principales investigadores de la Universidad de Miami que trabaja con el FDOT, declaró: “Las barras de refuerzo de FRP están listas para la hora estelar”. Esto se ha demostrado, dice Crofts: “El trabajo ahora es que más empresas las especifiquen y los contratistas las utilicen”.



Ginger Gardiner, redactora jefe de CompositesWorld, tiene formación en ingeniería/materiales y más de 20 años de experiencia en el sector de los materiales compuestos. Se graduó en ingeniería mecánica en la Universidad de Rice, Houston, TX, EE. UU

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Colombia

Título: Barras de refuerzo compuestas para la infraestructura del futuro



Traductor: Dra. Nancy Torres Castellanos



Revisor Técnico: Dr. Fabián Lamus Báez

¿Cómo obtener una Certificación ACI?



Si usted es técnico, operario o inspector de construcción, obtener una Certificación oficial ACI le ofrece los conocimientos y prácticas que le permitirán construir las mejores estructuras de concreto del mundo. Si usted es propietario de una obra o quien especifica las características de las obras, sabe que muchos reglamentos requieren de personal certificado por ACI en las operaciones diarias. Para más información visite: concrete.org/certification.

Centros de ensayo y entrenamiento



El ACI hace equipo con organizaciones que persiguen fines similares en todo el mundo para entrenar a candidatos a certificación y aplicar los exámenes escritos y de desempeño.

Los capítulos del ACI de Latinoamérica tienen estas competencias y ofrecen los cursos y material necesario para que usted pueda obtener la certificación, además de tener la posibilidad de presentar con ellos los exámenes escritos y de desempeño con equipo e instalaciones adecuadas.

Acércate al Capítulo ACI de tu país para más información y conseguir las certificaciones que necesitas.

Haciendo más y mejor con el concreto lanzado reforzado con fibra

Comparación entre diseño y ensayos.

por Antoine Gagnon y Marc Jolin

A través de los años, el concreto lanzado reforzado con fibra (fiber-reinforced shotcrete, FRS por sus siglas en inglés) ha demostrado ser un material muy eficaz y versátil. Este desempeña un papel esencial y, a menudo, único en los sistemas de soporte de suelos en minas y muchos proyectos de túneles, y hace posible la construcción segura y económica de varias estructuras civiles. En pocas palabras, FRS se desempeña bien en situaciones en las que la instalación de barras de refuerzo convencionales o concreto reforzado con fibra (fiber-reinforced concrete, FRC por sus siglas en inglés) sería compleja y tediosa o simplemente insegura. Sin embargo, creemos que FRS no recibe la consideración que merece. Este artículo discutirá cómo FRS puede lograr un mayor reconocimiento y cómo podemos hacerlo mejor explotando sus impresionantes propiedades y capturando todo su potencial.

Qué hace el FRS tan interesante

FRS es un material compuesto creado proyectando neumáticamente una mezcla de concreto y fibras sobre una superficie. Más formalmente, una mezcla de cemento, agua, agregados y aditivos es combinada con filamentos discretos y discontinuos compuestos por un material con una alta resistencia a la tracción o una alta tenacidad. El rendimiento de FRS obviamente proviene de la calidad del concreto lanzado (sus constituyentes y el proceso) y el desempeño de las fibras, pero también de la interacción entre las fibras y la matriz del concreto lanzado. Desafortunadamente, este último aspecto se pasa por alto con demasiada frecuencia al diseñar una mezcla de FRS.

El FRS está sujeto a las acciones que son específicas para el concreto lanzado. En el proceso de colocación del concreto lanzado, el material es lanzado a alta velocidad y se acumula en una superficie receptora. La energía de consolidación del material impactando la superficie produce una compactación que permite que los ingredientes del concreto lanzado trabajen juntos eficientemente a través de una fuerte densidad de

aglomeración.¹ También, el impacto tiende a dar una orientación preferencial a las fibras que es generalmente beneficiosa en la estructura porque las fibras están orientadas principalmente en un plano que es perpendicular al eje de la boquilla y paralelo a la superficie en que fue lanzado.^{2,3} Recientemente estudiamos esto en nuestro Laboratorio de Concreto Lanzado en la Universidad Laval, Ciudad de Quebec, QC, Canadá, utilizando el factor de orientación de la fibra α , que es el promedio, para todas las posibles orientaciones de la fibra, de la longitud de la fibra proyectada en la dirección del esfuerzo de tracción a la longitud de la fibra misma.⁴ Para una mezcla estándar de concreto lanzado de mezcla húmeda, encontramos que $\alpha = 0.648$ para la tensión en un plano perpendicular a la boquilla y $\alpha = 0.223$ para la tensión en un plano perpendicular al eje de la boquilla. Debido a que las grietas generalmente se forman perpendicularmente a aquel plano, está claro que la mayoría de las fibras en FRS están en la mejor posición para transferir efectivamente la tensión a través de una grieta.

La flexibilidad del proceso de colocación del concreto lanzado también permite la formación de un espesor

uniforme de FRS en superficies que son naturalmente irregulares. Debido a que está diseñado para adherirse a superficies verticales e incluso elevadas, el concreto lanzado no necesita ser soportado por encofrados. Por ejemplo, es posible seguir la forma de una excavación sin tener que sobrellenar innecesariamente las cavidades. Esto es particularmente rentable y permite una construcción rápida y un rápido reingreso del personal de trabajo en entornos subterráneos. En comparación con otros métodos de construcción y otros sistemas de soporte del terreno, generalmente se considera mucho más rápido y mucho más simple.⁵

Aprovechar al máximo el FRS consiste en encontrar “la composición” adecuada para la situación o aplicación considerada. También, se trata de encontrar la interacción óptima entre las fibras y el concreto lanzado. Esta combinación variable permite una amplia gama de posibilidades en términos de mezclas y aplicaciones. Afortunadamente, nuestro nivel de comprensión ha mejorado en las últimas décadas – la reología y el proceso de colocación del concreto lanzado ahora están mejor controlados, lo que abre las puertas a muchas nuevas aplicaciones. Además, es posible utilizar la información que se aplica de manera más general al FRC adaptándola al contexto del proceso de colocación del concreto lanzado. Después de todo, el FRS es FRC.

La consideración que merece

Debido a que FRS nos ayuda a lograr mucho en tantos contextos, parece apropiado tomarse un tiempo para asegurarse de que este sea especificado para desempeñarse al máximo. Como ocurre con todo concreto, esto significa que se debiera prestar especial atención a la elección de los ingredientes, las proporciones de la mezcla, los métodos de ensayo y los enfoques de diseño.

Para el concreto lanzado, la elección correcta de los ingredientes es esencial para lograr las propiedades deseables tanto en estado fresco como endurecido. La distribución de tamaño agregado es un parámetro clave en este asunto; una buena distribución hará que la mezcla sea bombeable y lanzable. Esto es particularmente importante para FRS, ya que la introducción

de fibras tiende a reducir la trabajabilidad del concreto lanzado. Siempre que sea posible, es mejor enfocarse en buenos materiales base para lograr los comportamientos correctos de bombeo y lanzado, en lugar de tener que depender solo de aditivos químicos y arriesgarse a un uso incorrecto y costos innecesarios.^{6,7}

El FRS debiera ser considerado un material “dinámico” porque las proporciones de sus componentes pueden cambiar durante el proceso de colocación. El efecto de rebote – material de concreto lanzado que rebota lejos de la superficie – es responsable de este cambio de proporciones. De hecho, este fenómeno generalmente se minimiza con un ajuste adecuado del equipo y manteniendo una consistencia adecuada del material. Esto siempre es cierto para el concreto lanzado, pero también puede afectar el contenido de fibra cuando se trabaja con FRS porque las fibras se comportan como agregados elongados y pueden rebotar en la superficie.⁸ De hecho, uno debe entender que el contenido final de fibra del material in situ es generalmente diferente del contenido de fibra inicial.^{2,9}

El FRS se utiliza en una amplia gama de contextos con diferentes condiciones de carga. A veces se utiliza en entornos desafiantes donde las condiciones de carga son complejas; las minas profundas y las excavaciones sometidas a grandes esfuerzos son buenos ejemplos. Por lo tanto, es esencial considerar adecuadamente el método de ensayo que se utilizará para la evaluación del FRS.

Esto es particularmente cierto considerando la cantidad disponible de métodos de ensayo estándar:

- ASTM C1399/C1399M “Método de ensayo estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibra”;
- ASTM C1550 “Método de ensayo estándar para la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibra (utilizando el panel redondo con carga en el centro)”;
- ASTM C1609/1609M “Método de ensayo estándar para el desempeño a flexión del concreto reforzado con fibra (utilizando la viga con carga al tercio medio)”;
- UNE 83-515 “Concreto reforzado con fibra. Determinación de la resistencia al agrietamiento, ductilidad y resistencia a la tensión residual. Ensayo Barcelona”¹⁰;
- EN 14488-5¹¹ para la determinación de la capacidad de absorción de energía de vigas reforzadas con fibra

- EN 14651¹² para la medición de la resistencia a la flexo-tracción;
- EFNARC “Ensayo de flexión de tres puntos en panel cuadrado con muesca”¹³;
- Ensayo Noruego en panel redondo¹⁴ y
- Grimstad and Barton¹⁵

Es fundamental comprender qué información se producirá y cómo se utilizará. ¿Se utilizará para comparar con un valor de diseño o se utilizará como indicador de calidad? Debido a que los diferentes métodos de ensayo no ensayan muestras en las mismas condiciones, generalmente es difícil comparar los métodos de ensayos directamente, aunque parezca conveniente. Aunque un método de ensayo dado puede mostrar un aumento en el desempeño de una mezcla, un segundo método de ensayo puede no hacerlo. Esto significa que los resultados del desempeño de un método de ensayo, a menudo no son comparables con los resultados de otro método de ensayo. Los pasos esenciales para asegurar conclusiones correctas y decisiones apropiadas son encontrar el método de ensayo correcto a realizar y la forma correcta de utilizar la información.

Particularmente cuando se trabaja con FRS, es importante considerar y comprender la idea detrás del procedimiento de ensayo seleccionado. Ensayar un material es lo mismo que hacer una pregunta. Por ejemplo: ¿Cómo reacciona este material bajo las condiciones específicas de este método de ensayo? Subsecuentemente, una respuesta a la pregunta puede ser recobrada a partir de los resultados, y esta respuesta puede ser compartida o utilizada para el diseño o la evaluación del desempeño.

Esencialmente, es crucial comprender el ensayo (pregunta) que se está ejecutando (preguntando) y el resultado (respuesta) que se recopila.

Por ejemplo, la resistencia a la compresión es una característica del concreto comúnmente evaluada y generalmente es un buen indicador de la calidad de la colocación del concreto lanzado y la calidad de sus ingredientes. En algunas aplicaciones, la resistencia a la compresión puede ser la única especificación de desempeño para el concreto lanzado.¹⁶ Sin embargo, generalmente no es un buen indicador del desempeño de FRS. En el rango típico de contenido de fibra encontrado, la resistencia a la compresión de FRS no se ve afectada por las fibras.¹ Además, tener la mezcla

de concreto más fuerte (es decir, la resistencia a la compresión más alta) no es el enfoque correcto para obtener un FRS con las mejores propiedades (por ejemplo, la máxima absorción de energía). De hecho, el comportamiento de esta composición proviene de la interacción entre la fibra y el concreto. En efecto, en un sistema compuesto FRS, una fibra que se extrae lentamente del concreto disipará más energía que una fibra que falla porque está fuertemente anclada. Centrarse en hacer un concreto más fuerte no es necesariamente la mejor manera de lograr una acción ideal de la composición.

Por último, como en general del concreto, la atención prestada al procedimiento de muestreo no solo es necesaria sino también beneficiosa para la toma de decisiones adecuadas. Como se explicó anteriormente, el proceso de colocación del concreto lanzado tiene un fuerte efecto sobre las características del material in situ. Por lo tanto, la elaboración de especímenes de ensayo que sean representativas de la estructura real es un aspecto importante de los pasos del diseño, control y aseguramiento de la calidad. Esto es particularmente importante para FRS porque el rebote de las fibras y su orientación en la estructura pueden afectar el desempeño del material. Afortunadamente, muchos documentos se enfocan en este aspecto y brindan una orientación sobre el procedimiento de muestreo del concreto lanzado.

De hecho, los comités técnicos de ACI han publicado múltiples documentos que pueden orientar a ingenieros, investigadores, productores de concreto y contratistas en la manera en que enfocan el FRS. Primero, ACI 506R, “Guía para el concreto lanzado”¹⁶ es un documento de referencia general que proporciona herramientas sobre la apropiada producción, colocación y ensayos del concreto lanzado. En segundo lugar, ACI 506.1R, “Guía para el concreto lanzado reforzado con fibra”⁸, brinda detalles específicos sobre el uso de fibras en el concreto lanzado.

Por último, el Comité 544 de ACI, Concreto lanzado con fibra, ofrece una serie de documentos sobre el tema del FRC, incluida mucha información que se aplica al FRS¹⁷⁻²³.

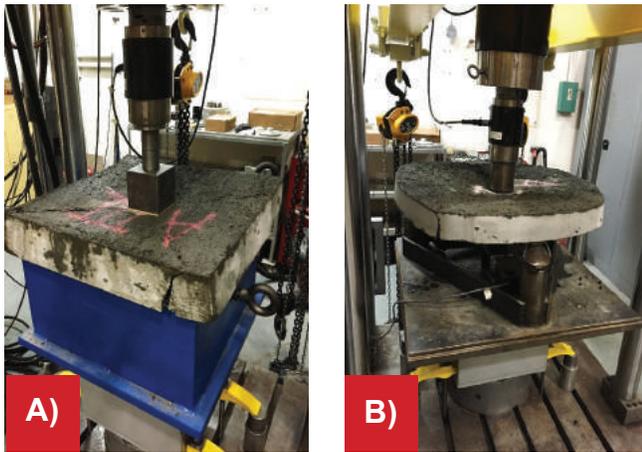


Fig. 1: Configuración del ensayo de carga: métodos de ensayo (a) ASTM C1550; and (b) EN 14488-5¹¹

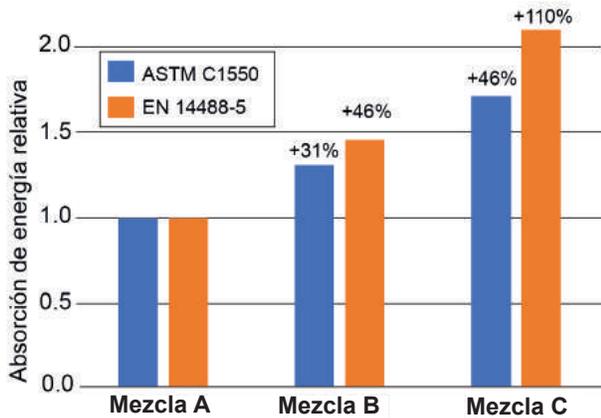


Fig. 2: Valores de absorción de energía relativa de los ensayos ASTM C1550 y EN 14488-5 a deflexión máxima para FRS con tres diferentes fibras con la misma dosis

Experiencia de laboratorio

Los resultados de un programa de investigación reciente representan bien la afirmación por la cual los diferentes diseños de concreto lanzado de mezcla húmeda responden de manera diferente al utilizar distintos procedimientos de ensayo. En esta serie de experimentos, se probaron tres mezclas diferentes de FRS siguiendo dos métodos de ensayo en paneles que se utilizan comúnmente en la industria para el diseño y ensayo de FRS: ASTM C1550 y EN 14488-5.¹¹ En ambos métodos de ensayo, un panel de hormigón se somete a una carga centrada y controlada por la velocidad de deflexión (Fig. 1). La carga máxima y la absorción de energía (tenacidad) de las muestras de FRS se miden

en ambos procedimientos.

Las mezclas de concreto para todos los paneles de ensayo tenían las mismas proporciones y dosis de fibra de acero de 25 kg/m³ (mostradas en la Tabla 1). Sin embargo, las mezclas A, B y C incorporaron fibras de acero Bekaert Dramix® 3D-45/35 BL, Dramix® 4D-65/35 BG y Dramix® 5D-65/60 BG (mostrados en la Tabla 2). A priori, estas fibras deben crear comportamientos diferentes con las mismas proporciones de mezcla de concreto, ya que las geometrías, las resistencias a la tracción y los sistemas de anclaje de las fibras son diferentes. Con base en las propiedades de las fibras, esperaríamos que la Mezcla C tenga un mejor desempeño que la Mezcla B, y esperaríamos que la Mezcla B tenga un mejor desempeño que la Mezcla A.

Los resultados resumidos en la Tabla 3 muestran que los métodos de ensayo ASTM C1550 y EN 14488-5¹¹ no reflejan aumentos idénticos en el desempeño. Independientemente de los valores absolutos de absorción de energía, la tendencia es diferente de un método de ensayo a otro. Al normalizar el valor de absorción de energía a la máxima deflexión con la Mezcla A como referencia, es posible resaltar esta tendencia (Fig. 2). El método ASTM C1550 muestra un menor aumento en el desempeño relativo al valor más bajo (Mezcla A) en comparación con el incremento mostrado con el método EN 14488-5.¹¹ Esto muestra que una mezcla de FRS podría preferirse a otra, dependiendo del método de ensayo utilizado para caracterizar el material. Los resultados también indican que el proceso de diseño podría verse afectado, de nuevo dependiendo del método de ensayo utilizado.

Los resultados apoyan la idea de que, debido a las condiciones de carga, algunos métodos de ensayo tienden a ser más sensibles al tipo de fibra, la dosis de fibra, la resistencia a la compresión del concreto o la interacción entre el concreto lanzado y las fibras. En este caso, el método de ensayo EN 14488-5 mostró una clara ventaja de resistencia de la Mezcla C sobre las otras mezclas, con un aumento del 110% con respecto a la Mezcla A. Por el contrario, el método de ensayo ASTM C1550 muestra solo una ventaja de resistencia del 71% de la Mezcla C sobre la Mezcla A. Es posible que, para esta mezcla específica de concreto lanzado, el panel cuadrado con un soporte continuo (EN 14488-5¹¹) sea más sensible al sistema de anclaje de fibras.

Estas condiciones del método de ensayo podrían aumentar el comportamiento del endurecimiento por deflexión de la Mezcla B y la Mezcla C (ambas contienen fibras con sistemas de anclaje eficientes). Los sistemas de anclaje también podrían ayudar a mantener una capacidad de carga constante de hasta 25 mm (1 pulgada) de deflexión, aumentando el valor de absorción de energía.

Tablas

Tabla 1:

Proporciones de mezcla para las Mezclas A, B y C

Material	Quantity
Cemento, kg/m ³ (lb/yd ³)	377 (635)
Ceniza volante, kg/m ³ (lb/yd ³)	29 (49)
Agregado fino, kg/m ³ (lb/yd ³)	72 (121)
Agregado fino, kg/m ³ (lb/yd ³)	1060 (1787)
Agregado grueso, kg/m ³ (lb/yd ³)	568 (957)
Agua, kg/m ³ (lb/yd ³)	213 (359)
Fibra de Acero, kg/m ³ (lb/yd ³)	25 (42)
Aditivo inclusor de aire, mL/m ³ (fl oz/yd ³)	400 (10.3)
Aditivo reductor de agua, mL/m ³ (fl oz/yd ³)	400 (10.3)

Tabla 2:

Propiedades de la fibra Bekaert en las mezclas A, B y C

Propiedades	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C
Tipo	Dramix 3D-45/35 BL	Dramix 4D-65/35 BG	Dramix 5D-65/60 BG
longitud, mm (pulgada)	35 (1.4)	35 (1.4)	60 (2.4)
Razón de aspecto	45	65	65
Resistencia a la tracción, MPa (psi)	1225 (177,700)	1850 (268,300)	2300 (333,600)
Sistema de Anclaje	Gancho de 3 caras	Gancho de 4 caras	Gancho de 5 caras

Tabla 3:

Resultados resumidos de las propiedades en estado fresco y endurecido (28 días)

Propiedades	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	
Asentamiento por ASTM C143/C143M, mm (pulgada.)	120 (4.75)	100 (4.00)	55 (2.25)	
Contenido de aire por ASTM C231/C231M Antes del bombeo y lanzado, %	6.8	9.4	7.4	
Resistencia a la compresión promedio por ASTM C1604/C1604M, MPa (psi)	49.0 (7110)	45.4 (6580)	51.7 (7500)	
Carga pico promedio por ASTM C1550, N	29,600	27,100	30,420	
Absorción de energía promedio por ASTM C1550, J	5 mm (0.2 pulgada.) deflexión	90	101	118
	10 mm (0.4 pulgada.) deflexión	115	183	245
	20 mm (0.8 pulgada.) deflexión	244	300	409
	40 mm (1.6 pulgada.) deflexión	349	456	597
Carga pico promedio por EN 14488-5 ¹¹ , kN	61	67	91	
Absorción de energía promedio por EN 14488-5 ¹¹ at 25 mm (1 pulgada.) deflexión, J	1010	1470	2120	

Estas conclusiones significan que la elección del método de ensayo es importante, ya que puede influir en las decisiones en diferentes pasos de un proceso de construcción, particularmente durante el diseño. El método de ensayo debe representar las condiciones de carga reales en las que se evaluará verdaderamente el desempeño del FRS. También significa que, una vez que se ha elegido un método de ensayo para un proyecto, debe ser el único método de ensayo utilizado durante todo el proyecto, desde el diseño inicial de la mezcla hasta el control de calidad *in situ* a menos que se haya identificado una correlación clara para una mezcla específica.

Obviamente, surgen dificultades al momento de seleccionar un método de ensayo apropiado para trabajar. Antes de hacerlo, el ingeniero no solo debe reflexionar sobre el(los) objetivo(s) del ensayo (incluido el diseño, aseguramiento y control de calidad e investigación y desarrollo), sino también identificar un método de ensayo que le permita al ingeniero discriminar verdaderamente entre resultados exitosos y significativos.

Conclusiones

No hay duda de que el FRS se aplica mediante un proceso de colocación único que genera un material complejo. La reología del concreto lanzado fresco, los aspectos de bombeo y el proceso de consolidación son todos ejemplos de lo que influye en el material *in situ*. Aunque se requiere un buen conocimiento para diseñar y especificar el concreto lanzado, afortunadamente el conocimiento está ahí para que lo utilicemos. Por otra parte, la complejidad que rodea al FRS es lo que lo hace tan versátil y útil. De hecho, cuando se utilizan las herramientas y los materiales adecuados, las posibilidades son infinitas. Por tanto, es fundamental utilizar la información disponible y darle al FRS la consideración que merece. Aún quedan muchos desafíos que debemos superar, pero así es como seremos capaces de utilizar esta herramienta eficaz en todo su potencial.

Agradecimientos

Los autores quisieran agradecer el soporte financiero de Bekaert, al Consejo de Investigación de Ciencias Naturales e Ingeniería de Canadá (NSERC por sus siglas en inglés) y a Fondo de Investigación de Quebec - Naturaleza y Tecnologías (FRQNT por sus siglas en francés).

Referencias

1. Bentur, A., and Mindess, S., *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2006, 624 pp.
2. Armelin, H.S., and Helene, P., "Physical and Mechanical Properties of Steel-Fiber Reinforced Dry-Mix Shotcrete," *ACI Materials Journal*, V. 92, No. 3, May-June 1995, pp. 258-267.
3. "Guideline on the Applicability of Fibre-Reinforced Shotcrete for Ground Support in Mines," MIGS III WP 24 Report, Nordic Rock Tech Centre, 2019, 53 pp.
4. Soroushian, P., and Lee, C.-D., "Distribution and Orientation of Fibers in Steel Fiber Reinforced Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 87, No. 5, Sept.-Oct. 1990, pp. 433-439.
5. Vandewalle, M., "Use of Steel Fibre Reinforced Shotcrete for the Support of Mine Openings." *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, V. 98, No. 3, May/June 1998, pp. 113-120.
6. Burns, D., "Characterization of Wet-Mix Shotcrete for Small Line Pumping," MS thesis, Department of Civil Engineering, Université Laval, Québec City, QC, Canada, 2008, 119 pp.
7. Jolin, M.; Melo, F.; Bissonnette, B.; Power, P.; and Demmard, E., "Evaluation of Wet-Mix Shotcrete Containing Set-Accelerator and Service Life Prediction," *Proceedings: Shotcrete for Underground Support XII*, M. Lu, O. Sigl, and G. Li, eds., Singapore, Oct. 2015, 13 pp.
8. ACI Committee 506, "Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete (ACI 506.1R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
9. Jolin, M.; Lemay, J.-D.; Ginouse, N.; Bissonnette, B.; and Blouin-Dallaire, É., "The Effect of Spraying on Fiber Content and Shotcrete Properties," *Proceedings: Shotcrete for Underground Support XII*, M. Lu, O. Sigl, and G. Li, eds., Singapore, Oct. 2015, 15 pp.
10. UNE 83515:2010, "Hormigones con Fibras. Determinación de la Resistencia a Fisuración, Tenacidad y Resistencia Residual a Tracción. Método Barcelona" (*Fibre Reinforced Concrete. Determination of Cracking Strength, Ductility and Residual Tensile Strength. Barcelona Test*), Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Madrid, Spain, 2010, 10 pp.
11. EN 14488-5, "Testing Sprayed Concrete—Part 5: Determination of Energy Absorption Capacity of Fibre Reinforced Slab Specimens," European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006, 10 pp.
12. EN 14651, "Test Method for Metallic Fibre Concrete. Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality [LOP], Residual)" European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2007, 19 pp.
13. "EFNARC Three Point Bending Test on Square Panel with Notch," EFNARC, June 2011, 12 pp.
14. "Publication No. 7: Sprayed Concrete for Rock Support," Norwegian Concrete Association, Oslo, Norway, 2011, 103 pp.
15. Grimstad, E., and Barton, N., "Updating the Q-System for NMT," *Sprayed Concrete: Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support*, R. Kompen, O. Opsahl, and K. Berg, eds., International Symposium on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway, Oct. 1993, 464 pp.
16. ACI Committee 506, "Guide to Shotcrete (ACI 506R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 52 pp.
17. ACI Committee 544, "Report on the Measurement of Fresh State Properties and Fiber Dispersion of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.2R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 20 pp.

18. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.3R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 12 pp.

19. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.4R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 39 pp.

20. ACI Committee 544, "Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.5R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 31 pp.

21. ACI Committee 544, "Report on Design and Construction of Steel Fiber-Reinforced Concrete Elevated Slabs (ACI 544.6R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 38 pp.

22. ACI Committee 544, "Report on Indirect Method to Obtain Stress- Strain Response of Fiber-Reinforced Concrete (FRC) (ACI 544.8R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 22 pp.

23. ACI Committee 544, "Report on Measuring Mechanical Properties of Hardened Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.9R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 48 pp.

Nota: Se puede encontrar información adicional sobre las normas de ASTM discutidas en este artículo en www.astm.org.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Costa Rica

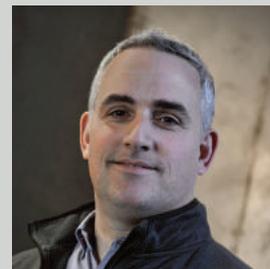
Título: Haciendo más y mejor con el concreto lanzado reforzado con fibra



*Traductora y revisora técnica:
Ing. MSC. Ana Lorena Monje Sandí*



El miembro del ACI **Antoine Gagnon** es un estudiante del PhD en el departamento de Ingeniería Civil y aguas en la Universidad de Laval, Ciudad de Québec, QC, Canadá. Su investigación se enfoca en el desarrollo de herramientas de diseño y ensayos para el concreto lanzado reforzado con fibra para soporte del terreno. Ha trabajado en proyectos de investigación de concreto lanzado con diferentes empresas del sector. Es presidente del Subcomité 506-B del ACI "Concreto lanzado reforzado con fibra" y miembro de los Comités del ACI 506 "Concreto lanzado" y 544 "Concreto reforzado con fibra". Recibió su licenciatura y su maestría en ingeniería civil de la Université Laval.



Marc Jolin, FACI, es un profesor en el departamento de Ingeniería Civil y aguas en la Universidad de Lava. Es el presidente del Subcomité 506-L del ACI "Subcomité de enlace"; ex presidente de los Comités del ACI 506 "Concreto lanzado", y C660 "Certificación de inyector de concreto lanzado"; es Secretario del Comité C661 del ACI "Certificación de inspector de concreto lanzado"; y un examinador del ACI para la "Certificación de inyector de concreto lanzado (procesos de mezcla húmeda y seca)". Jolin también es miembro de la Asociación Norteamericana de Concreto Lanzado. Recibió su doctorado de la Universidad de British Columbia, Vancouver, BC, Canadá.

Prueba de Rodamiento en una Base Preparada

P ¿Hay alguna especificación estándar que defina el método y los criterios de aceptación para prueba de rodamiento de una base preparada para una losa en suelo?

R No hay especificación estándar para la Prueba de Rodamiento. Sin embargo, la Prueba de Rodamiento es requerida en la Sección 11—Losas de Piso Industrial, del ACI 301-20, “Especificaciones para Construcción en Concreto.”¹ la Sección 11.3.1 específicamente, le instruye al contratista a “Probar el Rodamiento en la base preparada en acuerdo a los Documentos de Contrato,” y la nota correspondiente en el Listado de Requisitos Obligatorios instruye al cliente a que “Especifique el procedimiento de prueba de rodamiento, método de aceptación y corrección requerida si se identifica material inaceptable. Refiérase al ACI 302.1R y 360R para dirección.”

El ACI 360R-10, “Diseño de Losa Sobre el Terreno,”² también afirma: “No hay estándar para prueba de rodamiento y no se puede hacer un análisis cuantitativo con el uso de este.” No obstante, ese documento también indica que “la prueba de rodamiento usualmente se refiere a manejar un vehículo cargado en un patrón cuadrículado sobre la subrasante con el propósito de localizar áreas suaves y compresibles en o cerca de la superficie. Esto debería ser parte del proceso de aseguramiento de calidad para el sistema de soporte del suelo y debería ser documentado en las especificaciones del proyecto”. El ACI 302.1R-15, “Guía para la Construcción de Losas y Pisos de Concreto”³ también afirma que “En muchos casos, los resultados de la prueba de rodamiento son más indicativos de la habilidad del sistema de soporte de suelo para aguantar cargas que de pruebas de humedad en sitio o densidad.”

Preguntas en esta columna fueron respondidas por usuarios de documentos ACI y han sido respondidas por el personal del ACI. Las respuestas no representan la posición oficial del ACI. Comentarios deberán ser enviados a rex.donahey@concrete.org.

El ACI 360R y ACI 302.1R proveen recomendaciones para pruebas de rodamiento que pueden ser desarrollados en lenguaje de especificaciones. Las recomendaciones incluyen:

- La Prueba de Rodamiento deberá ser observada y evaluada por el diseñador, representante del diseñador, o el ingeniero geotécnico del dueño;
- Utilice un camión de volteo de eje tándem cargado, un camión de concreto cargado, un rolo, o equivalente, para pasar varias veces utilizando un patrón en cuadrícula para prueba de rodamiento;
- Tome acción correctiva si crean surcos mayores de ½ in. (13 mm). Repita la prueba de rodamiento para verificar la acción correctiva;
- La Prueba de Rodamiento se puede utilizar luego de cortar (antes que cualquier relleno sea colocado), luego de colocar el relleno, y después de colocar la base; y
- La prueba de rodamiento debería ser programada de tal manera que los trabajos correctivos no interfieran en la agenda de construcción.

Los siguientes ejemplos ilustran especificaciones comunes de la prueba de rodamiento:

Ejemplo A: Realizar prueba de rodamiento al 100% por lo menos 1 día antes de tirar la losa, utilizando un camión de eje tándem cargado a 40,000 lb (18,144 kg) (GVW). Reconstituir cualquier área que se haga surco de ½ in. (13 mm) o mayor. Durante el tiro de la losa, reparar cualquier área que sea necesario para mantener las tolerancias de espesor de losa y minimizar las variaciones de espesor en la losa como resultado de los surcos formados por las ruedas de los equipos.

Ejemplo B: Realizar prueba de rodamiento en terraplén, la base, o ambos para localizar áreas no estables. Utilice rolos con pesos de 25 a 50 toneladas estadounidenses (23 a 45 toneladas métricas). Realice la prueba de rodamiento tal y como es dirigido por el inspector. Ajuste las cargas y presiones de inflación de las ruedas según el rango de manufactura como es dirigido. Realice al menos dos pases con el equipo probador de rodamiento y aparte cada pase por no más del ancho de una rueda. Opere el equipo a una velocidad entre 2 y 6 mph (3 a 10 km/h). Si se encuentra un área no estable o no uniforme, corregir el área de acuerdo con las especificaciones.

Ejemplo C: Realizar prueba de rodamiento a la subrasante bajo losas de edificios y pavimentos con equipos pesados con neumáticos para identificar bolsillos y áreas flexibles. No haga prueba de rodamiento en subrasantes mojadas o saturadas:

- Haga prueba de rodamiento con un camión de vuelco de eje tándem cargado, de 10 ruedas, que pese al menos 15 toneladas estadounidenses (14 toneladas métricas);
- Haga prueba de rodamiento completamente en una dirección y repita en la dirección perpendicular. Limite la velocidad del vehículo a 3 mph (5 km/h); y
- Excave lugares suaves, suelos no satisfactorios, y áreas con excesos de surcos, tal como lo determine el arquitecto, y reemplace con relleno compactado tal como se le indique.

Reconocimientos

La pregunta y respuesta fue obtenido del Foro de Correos Electrónicos de la Asociación Americana de Contratistas de Concreto (ASCC por sus siglas en ingles), el cual es un beneficio de miembro contratista de la ASCC. Gracias a Bruce Suprenant, ASCC, St. Louis, MO, USA, por consolidar las respuestas de los participantes del Foro de Correos Electrónicos.

Referencias

- 1 Comité ACI 320, "Especificaciones para Construcción en Concreto (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.
- 2 Comité ACI 360, "Diseño de Losa en Suelo (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
- 3 Comité ACI 302, "Guía para la Construcción de Pisos y Losas de Concreto (ACI 302.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Puerto Rico

Título: Concreto P&R



Traductor: José M. Mejía Borrero



Revisor Técnico: Ing. Rubén Segarra Montelara



CONCRETO

LATINOAMÉRICA