Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Members

ACI Committee 440 is taking the next step toward building code compliance

by Mahmut Ekenel, Francisco De Caso y Basalo, and Antonio Nanni

Fiber-reinforced polymer (FRP) offers new capabilities for structural and nonstructural applications in building construction. FRP bars and, more recently, meshes (Fig. 1 and 2) for use as concrete reinforcement have gained popularity by offering some distinct advantages such as resistance to corrosion, high stiffness-to-weight ratio, and relatively lower labor and handling costs. FRP bars have been successfully used as structural reinforcement in concrete members in building and bridge projects (for example, slabs and beams) for the past three decades. Figure 3 shows progress on the construction of a residential home in Great Harbour, Berry Island, Bahamas, where glass fiber-reinforced polymer (GFRP) reinforcement was used for all structural concrete elements, including the masonry walls. Figure 4 shows the use of GFRP straight and bent bars for the construction of the bent caps in a bridge replacement project at the 23rd Avenue over Ibis Waterway, Broward County, FL, USA.

Recently, there has also been interest in using FRP bars and meshes as secondary reinforcement for concrete members such as plain concrete footings, slabs-on-ground, and plain concrete walls in lieu of conventional temperature and shrinkage steel reinforcement. Use of basalt fiber-reinforced polymer (BFRP) mesh as secondary reinforcement is shown in Fig. 5. BFRP mesh was used for this project at Florida Keys Marathon International Airport in Marathon, FL. The mesh comprised 3.6 mm (0.14 in.) diameter wire fabricated in a 100 x 100 mm (4 x 4 in.) orthogonal grid. The floor slab constructed on an existing concrete slab (with cracks and gaps) is used for light aircraft hangar. The slab thickness varies from 100 to 150 mm (4 to 6 in.).

The evaluation of FRP bars and meshes used as primary or secondary concrete reinforcement in compliance with the legally adopted building codes in the United States is the topic of this article.

Fig. 1: FRP bar examples with various surface characteristics

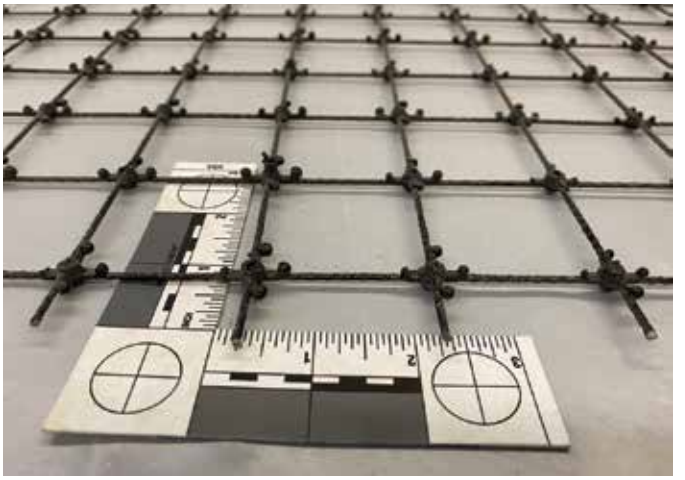

Fig. 2: An FRP mesh example. The intersections are connected with a nonstructural polymer connector

Building Codes in the United States

In the United States, where the power to regulate construction is vested in local authorities, a system of model building codes is used. The International Building Code (IBC) and the International Residential Code (IRC) are the two model codes that have been developed to establish the minimum requirements to safeguard the public health and safety. In general, IBC and IRC address structural strength, means of egress, sanitation, adequate lighting and ventilation, accessibility, energy conservation, and life safety regarding new and existing buildings, facilities, and systems. Currently, IBC has been adopted throughout the entire country, as well as the U.S. territories, while IRC has also been adopted by most of the states.

Engineers and architects are usually guided by national and local building codes that are based on the model codes. These model codes become especially important when compliance with the legally adopted building code is mandated by a jurisdiction having the authority to approve construction projects. Compliance can be readily achieved when a design incorporates materials or assemblies covered in the IBC or IRC. However, when a design incorporates materials or assemblies that are not specifically covered in the IBC and IRC, building code compliance may need to be demonstrated. Section 104.11 of IBC provisions[1] allows an alternative material, design, or method of construction to be approved, where the building official finds that the proposed design is satisfactory and complies with the intent of the provisions of this code, provided the material and method under evaluation is, for the purpose intended, at least the equivalent of that prescribed in quality, strength, effectiveness, fire resistance, durability, and safety. Subsection 104.11.1 of IBC, which refers to research reports, allows such reports to be issued by approved sources where necessary to assist in the approval of materials or assemblies not specifically covered.

The more permanent option would be to revise IBC and IRC to allow alternative materials or assemblies, such as FRP bars and mashes to be used as structural and secondary reinforcement; however, such revisions must go through the lengthy, public comment and approval process of the

Fig. 3: A coastal residence under construction. The concrete slabs, concrete columns, and masonry walls included FRP reinforcement

Fig. 4: A coastal bridge under construction. The piers and bent cap were reinforced with FRP reinforcing bars supplied in both straight and pre-bent forms

Fig. 5: FRP meshes can be used as secondary reinforcement in slabs-on-ground

International Code Council (ICC). To this end, ACI Committee 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement, has commenced the development of a mandatory language design code governing the use of FRP reinforcement. This code will be dependent on the ACI 318 Code[2] and designed to be readily adopted by reference into the model and local building codes.

Creating a code compliance in accordance with Section 104.11 of IBC is the preferred method. This is typically accomplished through product testing in accordance with an Acceptance Criteria (AC), which defines product sampling, testing, and quality requirements to be fulfilled to obtain code-compliance verification. The results of these requirements are summarized in a research report made available to code officials, as set forth in Section 104.11.1 of IBC. The research reports are typically issued by certification bodies that are accredited as complying with ISO/IEC 17065.[3] All testing must be conducted by a laboratory that complies with ISO/IEC 17025.[4] The certification body (evaluation agency) requires accreditation by a recognized accreditation body, which directly verifies the competence of a laboratory by visiting the facility and observing its personnel during testing. The accreditation body must also determine whether the laboratory has a robust quality system to assure accuracy of reported results and have means to investigate and make corrections when reports are questioned.

To date, IBC and IRC do not include provisions for use of FRP bars and meshes as replacement of steel reinforcement. Chapter 19 of the IBC refers to ACI 318 for design of reinforced concrete buildings; similarly, ACI 318 also does not address use of FRP bars and meshes as replacement for steel reinforcement. Therefore, AC for use of FRP as reinforcement of concrete, AC454[5] and AC521[6], have been developed by ICC-Evaluation Service (ICC-ES) under Section 104.11 of IBC and Section R104.11 of IRC.[7]

Acceptance Criteria for Building Code Compliance

Development of an AC usually starts with an application from an interested party who oversees the invention or production of an alternative construction product, system, or technology. After review of the IBC and IRC to confirm that the proposed alternative is not within the provisions of IBC or IRC, an AC is drafted with the help of producers, academics, and other interested parties. The draft AC is then shared with the public, through an open, online web posting, to solicit

comments. Public comments are collected, a response letter by the proponents of the proposed criteria is prepared and shared publicly, and further revisions are implemented if necessary. As a final step, open public hearings are held, with selected independent code officials acting as an evaluation committee that listens to the concerns of the public and the responses of the AC proponents and poses their own questions and comments. The evaluation committee then votes on the proposed AC. A simple majority is required for an AC to be accepted and issued. Because the use of FRP bars and meshes as primary or secondary reinforcement is not within the current code provisions, AC454 and AC521 have been developed under Section 104.11 of IBC and Section R104.11 of IRC, with final approval dates of October 2020 and December 2020, respectively.

AC454 applies to GFRP or BFRP bars, in cut lengths, bent shapes, and continuous closed stirrups and ties (hoops), that are used to reinforce concrete structural members. The AC requires evaluation of physical and mechanical properties, performance under accelerated environmental exposures, performance under exposure to fire conditions, and structural design procedures. AC454 is applicable to FRP bars that are solid and have circular or noncircular cross sections, or hollow and have circular cross sections. Bars meeting AC454 are used as reinforcement in structural concrete members such as columns, beams, walls, shallow foundations, and one-way or two-way slabs, and as shear reinforcement for flexural members. Under AC454, FRP bars are limited to structures constructed in Seismic Design Category A or B using normalweight concrete. AC454 references include ASTM D7957/D7957M-17[8] for most of the required testing and ACI 440.1R-15[9] for design provisions. However, AC454 also describes full-scale structural tests for members reinforced with noncircular solid FRP bars or circular hollow FRP bars.

AC521 applies to glass or basalt FRP bars in cut lengths or meshes produced with solid wires with continuous, uninterrupted circular cross sections. Items evaluated under AC521 include physical and mechanical properties. FRP bars and meshes evaluated under the AC521 are used as alternatives to the shrinkage and temperature reinforcement specified in Section 24.4 of ACI 318-19 for plain concrete footings and for plain concrete slabs-on-ground (as defined by ACI 360R-10[10]). However, this AC does not eliminate the requirement for joints specified in Section 14.3.4 of ACI 318-19 (and thus IBC and IRC). FRP bars and meshes under this AC are also used as an alternative to horizontal temperature and shrinkage reinforcement in structural plain concrete walls covered in IBC Section 1906, IRC Sections R404.1.3 and R608.1, and ACI 332-14, Sections 8.2.1 and 8.2.7,[11] excluding walls where vertical reinforcement is required. AC521 also provides provisions for shrinkage cracking testing (Fig. 6). The purpose of the shrinkage cracking test is to demonstrate equivalency between a given FRP bar or mesh configuration (that is, FRP cross section size and spacing) and a selected steel reinforcement configuration, in terms of control of shrinkage cracking performance. The intent is to allow the contractor to obtain the building official's approval for the use of an FRP solution as an alternative to a steel solution, without the need for additional testing or engineering calculations.

Fig. 6: Formwork, reinforcing bars, and crack initiator for shrinkage cracking test specimen preparation

Besides testing in accordance with the requirements of acceptance criteria, an equally important aspect of product evaluation is the requirement for documentation of quality control measures during the manufacture of the materials. The measures are intended to verify that the produced materials will match the performance as previously demonstrated by testing. As a means of verification, the quality system needs to be inspected by an accredited inspection agency. The inspection agency must be independent and conform to requirements stipulated in ISO/IEC 17020,[12] as determined by a recognized accreditation body. The evaluation agency is charged with requiring that the inspection agency inspect each manufacturing location regularly, and not less than once per year, to provide assurance that the FRP materials are produced and conform to critical performance and measurements set forth in quality documentation.

Summary

ACI Committee 440 is progressing with the development of an ACI 318-dependent, mandatory language design code governing the use of FRP reinforcement. The committee expects the document to be completed by 2022. Once this code is published by ACI, it will be submitted for public review through the ICC process so it can be adopted into IBC and IRC for concrete building construction.

IBC and IRC are the predominant building and residential codes in the United States. To construct buildings using alternative materials that are not covered by the codes, two options exist:

- The building code must incorporate the new technology through the public hearing process of ICC, or
- Building code compliance is shown, based on Section 104.11 of IBC or Section R104.11 of IRC.

The first case may be accomplished once ACI Committee 440 has successfully developed a design code. The second case requires that the proponent of the alternative materials demonstrates building code compliance via AC454 or AC521, where AC454 applies to structural reinforcement applications

and AC521 applies to shrinkage and temperature reinforcement applications.

References

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.

Selected for reader interest by the editors.

Mahmut Ekenel, FACI, is a Senior Staff Engineer at ICC Evaluation Service, LLC, Brea, CA, USA. His research interests include fiber-reinforced polymer and fiber-reinforced cementitious matrix strengthening of structures, fiber-reinforced concrete, concrete admixtures, and anchorage to concrete. He is a member of ACI Committees 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement; 544, Fiber Reinforced Concrete; and 549, Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement. He received his MS from Southern Illinois University and his PhD from Missouri S&T University, Rolla, MO, USA, where he also worked as a Postdoctoral Researcher.

ACI member **Francisco De Caso y Basalo** is a Principal Scientist in the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering at the University of Miami, Coral Gables, FL, USA. His research focuses on resilient material systems applied to the built environment and encompasses a broad spectrum of challenges related to mechanical behavior, durability, and design. He is a member of ACI Committees 364, Rehabilitation, and 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. He received his MEng from the University of Bath, UK, and his PhD from the University of Miami.

Antonio Nanni, FACI, is an Inaugural Senior Scholar, Professor, and Chair of the Department of Civil, Architectural, and Environmental Engineering at the University of Miami. His research interests include construction materials, their structural performance, and field application, especially concrete and advanced composites-based repair and strengthening systems. He is Chair of ACI Committee 549, Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement, and a member of numerous ACI committees, including ACI Committee 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. He has received several awards, including the 2014 IIFC Medal from the International Institute for FRP in Construction and the 2012 ASCE Henry L. Michel Award for Industry Advancement of Research.

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

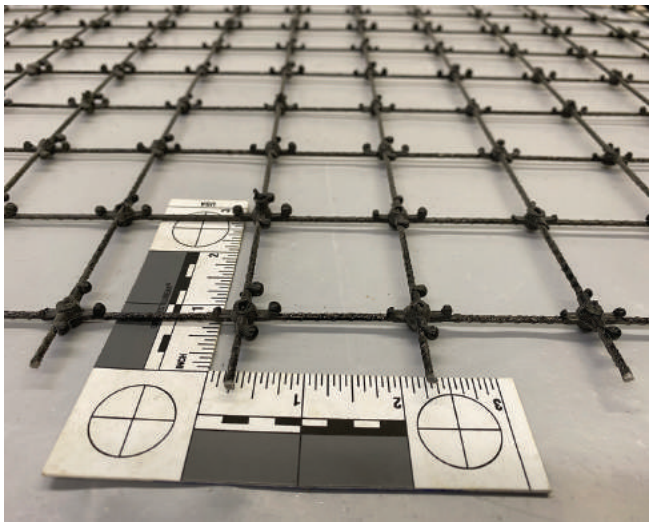

Fig. 2: Ejemplo de malla FRP. Las intersecciones están sujetas mediante un conector de polímero no estructural

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 318[2] 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 AC454[5] y el AC521[6], 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 (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-15[9] 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.

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

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-10[10]). 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.