

Building Code Compliance of Alternative Applications Case Study

Twisted steel micro reinforcement in concrete

by Luke R. Pinkerton, Yamil Moya, and Mahmut Ekenel

This article describes one industry effort to develop alternative methods for designing concrete in compliance with current building codes in the United States. While it focuses on how ICC-ES AC470,¹ International Code Council Evaluation Service Acceptance Criteria, leverages the plain concrete design pathway for structural concrete and the development of new test methods to demonstrate code compliance for twisted steel micro reinforcement (TSMR), these methods could potentially be used for other forms of alternative reinforcement.

Building Codes

Model building codes establish minimum requirements for new building construction and may be adopted by building officials in various jurisdictions, with or without modifications. The International Building Code (IBC) has been adopted in all 50 states, the District of Columbia, Puerto Rico, and the U.S. Virgin Islands. Furthermore, several other countries/jurisdictions, including Saudi Arabia, Jamaica, and Abu Dhabi, use IBC as a reference for developing their national building codes. Another model building code, the International Residential Code (IRC), has been adopted by most U.S. states as a legal building code. It is noteworthy to mention that both the IBC and IRC contain references to standards promulgated by other organizations, including ACI and the Steel Deck Institute (SDI). To the extent that they are referenced, these standards are part of IBC and IRC. Further, many of these standards allow the use of alternative reinforcement as described herein.

ACI CODE-318

The 2021 IBC² refers to ACI 318-19, “Building Code Requirements for Structural Concrete.”³ The upcoming 2024 edition of the IBC will refer to ACI CODE-318-19(22).⁴ ACI 318-19, Section 9.6.3.1, allows the use of steel fibers for shear

reinforcement for very limited applications. Table 9.6.3.1 of ACI 318-19 refers to use of steel fiber-reinforced concrete in cases where minimum area of shear reinforcement $A_{v,min}$ is not required. For steel fibers, ACI 318-19, Section 26.4.1.6.1, requires compliance with ASTM A820/A820M-16, “Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.”

ACI 332

The 2021 IRC⁵ refers to ACI 332-20, “Code Requirements for Residential Concrete,”⁶ which allows the use of fibers in concrete for hot weather construction and slabs. In accordance with ACI 332-20, Section 7.7.3, fibers must comply with requirements of ASTM C1116/C1116M-10(2015), “Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.”

SDI C

The 2021 IBC refers to ANSI/SDI C - 2017, “Standard for Composite Steel Floor Deck-Slabs.”⁷ Section 2.4-B-15-a-2 of this standard allows the use of steel fibers as temperature and shrinkage reinforcement, but at a rate not less than 25 lb/yd³ (14.8 kg/m³). The standard also requires compliance with ASTM A820/A820M for steel fibers.

Alternative Materials

The 2021 IBC, Section 104.11, allows for the integration of new construction products, systems, and technologies not explicitly described in the code itself, permitting manufacturers to demonstrate that these products are compliant with the intent of the code. Section 104.11.1 states that “Supporting data, where necessary to assist in the approval of materials or assemblies not specifically provided for in the code, can consist of valid research reports from approved sources.”² This is typically accomplished in two stages: first creating acceptance criteria documents and then issuing research reports.

Acceptance criteria documents outline specific product sampling, testing, and quality requirements that must be fulfilled to verify that a product is code compliant. Research reports verify building code compliance and are issued according to specific acceptance criteria. The research results are summarized in an evaluation report and made available to code officials, licensed design professionals, and the public.

Compliance Verification

Given there are limited mentions of steel fibers and no mentions of TSMR in IBC and IRC, an acceptance criteria document, ICC-ES AC470, was developed to provide requirements for demonstrating building code compliance of TSMR. ICC-ES is a product certification body accredited by the ANSI National Accreditation Board (ANAB) under ISO/IEC17065:12 requirements.⁸ AC470 describes evaluating the use of TSMR in concrete to comply with building code objectives, such as structural strength, fire resistance, material properties, and durability.

TSMR Design Types in AC470

AC470 defines five design types for TSMR (see Table 1). The design professional must select the appropriate design type considering the characteristics of the project. In addition to the standards referenced in IBC and IRC, AC470 refers to practices produced by ACI Committees 330, Concrete Parking Lots and Site Paving, and 360, Design of Slabs on Ground. ACI 360R-10, “Guide to Design of Slabs-on-Ground,”¹⁰ allows the use of plain concrete in Chapter 7 and steel fibers in Section 11.3 to reinforce concrete slabs-on-ground for increased strain strength, impact resistance, flexural toughness, crack-width control, and tensile strength. The guide refers to ACI 544.4R, 544.1R, and 544.3R¹¹⁻¹³ reports and ASTM A820/A820M for identification of fibers that can be used under this document. ACI PRC-330-21, “Commercial Concrete Parking Lots and Site Paving Design and Construction—Guide,”¹⁴ uses plain concrete design methods

for pavement design. The report refers to ASTM C1116/C1116M-10a(15) for steel fibers. Pavementdesigner.org, developed through a collaboration of the American Concrete Pavement Association (ACPA), Portland Cement Association (PCA), and National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), implements ACI PRC-330-21.

Minimum Requirements Testing

This is testing to assure that TSMR does not negatively impact the performance of the concrete and that mixtures with TSMR have adequate freezing-and-thawing resistance and post-crack tensile capacity. The testing is done under a different ICC-ES acceptance criteria (AC208, “Steel Fibers in Concrete”¹⁵).

Modulus of rupture (Types S, G, and P)

The designs under AC470 are typically governed by concrete cracking and crushing limit states. Accordingly, testing is done in a variety of concrete mixtures to characterize the relationship between flexural tensile strength (modulus of rupture f_r) and compressive strength f'_c . The results are used to compute maximum design strengths.

Composite concrete steel decks (Type C)

Serviceability is the governing design factor in slab-on-metal-deck construction (another term for composite concrete-steel deck). The method seeks only to provide replacement for the minimum required steel for temperature and shrinkage. Specially designed specimens which meet SDI C requirements for traditional shrinkage and temperature reinforcement, as well as specimens using alternative reinforcement, are exposed to an environment that induces tensile strain/stress that exceeds the capacity of plain concrete. If the average measured crack width of the specimens reinforced with alternative reinforcement, in this case TSMR, is less than the average measured crack width of control specimens reinforced with conventional shrinkage and temperature reinforcement (for example, welded wire reinforcement [WWR]) after

Table 1:
Design types for TSMR in AC470

Type N, non-structural	Discontinuous steel reinforcement used as an alternative to the shrinkage and temperature reinforcement specified in Section 24.4 of ACI 318-19 for plain concrete footings, and for plain concrete slabs (as defined by ACI 360) supported directly on the ground
Type S, structural elastic design supported structures	Applications that fall within the scope of ACI 318-19, Chapter 14; IBC, Section 1906; ACI 332-14, Section 8.2.1; ^[9] IRC, Sections R404.1.3 and R608.1; or Tables 8.2.1.3a and 8.2.1.3b of ACI 332-14. ^[9] Discontinuous steel reinforcements 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 ^[9]
Type G, slabs-on-ground	Applications that fall within the scope of ACI 360, Chapter 7 (plain concrete slabs) or Section 11.3 (fiber-reinforced concrete slabs)
Type P, parking lots	Applications that fall within the scope of ACI 330, Chapter 3—Pavement Design
Type C, composite concrete slabs over steel deck	Applications that are alternative to SDI C, Section 2.4-B-15-a (as referenced by IBC, Section 2210.1.1) for concrete over composite steel decks when discontinuous steel reinforcement is used as temperature and shrinkage reinforcement

environmental cycling, the reinforcement and its dosage are considered acceptable.

Test Methods in AC470

Modulus of rupture

Flexural testing is conducted according to ASTM C78/C78M, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading),” as shown in Fig. 1. The standard (Section 6.2) allows for testing of any size specimen “provided the smaller cross-sectional dimension of the beam is at least three times the nominal maximum size of the coarse aggregate.” The maximum coefficient of variation (COV) of test results must be equal to or less than 15% (Commentary Section R8.1.2 in ACI CODE-355.2-22¹⁶).

Compressive strength

Compressive strength testing is done in accordance with ASTM C39/C39M, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.” Average compressive strength is measured with the TSMR added to the concrete. Maximum COV of test results must be equal to or less than 15% (Commentary Section R8.1.2 in ACI CODE-355.2-22).

Fire resistance

The criteria allow for optional evaluation of fire rating in accordance with 2021 IBC, Section 703.

Shrinkage cracking

A modification to the standard ASTM C1579, “Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert),” was developed to evaluate tensile strain due to shrinkage in composite slab-on-metal-deck assemblies. A standard piece of composite decking is secured to an aluminum base plate (Fig. 2). Two specimens, one constructed with conventional WWR and one with TSMR, are fabricated and tested simultaneously by exposure to conditioned heat and airflow.

Test Data Analysis and Design Limits

AC470 requires additional analysis for application of Types S, G, and P.

Modulus of rupture (Type S)

Type S criteria (see Table 1) are based on ACI 318-19, Chapter 14, application limits and design equations with three modifications. First, the value allowed for f_r is modified based on testing required by AC470. Second, a size effect factor is included

to account for the depth of the section. Third, a capacity reduction is determined to assure compliance with ASCE/SEI 7-16, Table 1.3-1.^{17,18} It should be noted that ACI 318-19, Chapter 14, specifies a very conservative f_r of concrete for flexure as $5\sqrt{f'_c}$ in Eq. (14.5.2.1a).

Modulus of rupture and compressive strength

The relationship between f_r and f'_c ($R_{c,ave}$) is determined by dividing f_r from ASTM C78/C78M tests by the square root of f'_c . The maximum limit for flexural strength L_f is equal to $R_{c,ave}$

$$L_f = R_{c,ave} = \frac{f_r}{\sqrt{f'_c}} \quad (1)$$

Modulus of rupture COV and resistance factor

The calculations given in Eq. (2) and later are necessary to consider the variability in f_r as well as other variability inherent to the system, and to account for the higher reliability index required for brittle materials in ASCE/SEI 7-16, Table 1.3-1,



Fig. 1: ASTM C78/C78M flexural test setup

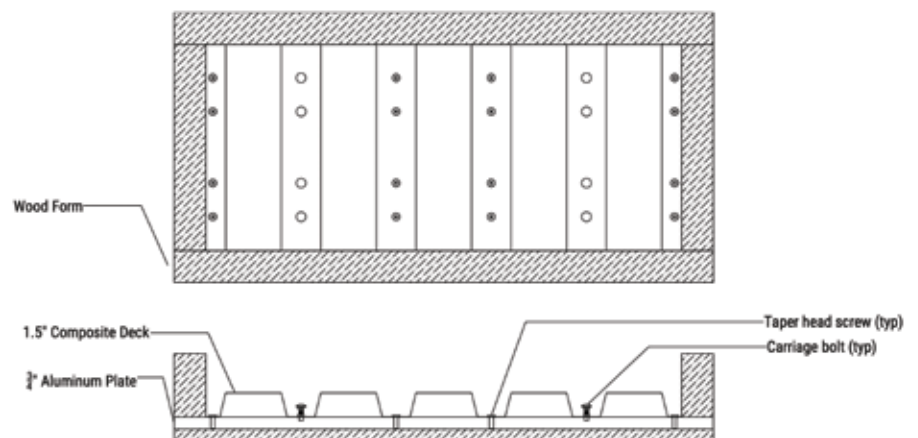


Fig. 2: Shrinkage specimen for ASTM C1579 testing

assuming a reliability index of 4.0.¹⁹ The governing resistance factor (ϕ) is adopted as the lesser of the standard 0.6 for plain concrete and the value calculated using this approach. Typical values range from 0.55 to 0.60.

The overall COV V_r is the root sum squared of the sources of variability

$$V_r = \sqrt{V_b^2 + 2V_h^2 + V_p^2 + V_{ip}^2 + COV^2} \quad (2)$$

where V_b is the COV of member width; V_h is the coefficient of variation of member depth; V_p is the professional factor which accounts for accuracy of design equations; and V_{ip} is the in-place mixture variation factor.

Scale effect adjustment factor

Size effect is a well-known and accepted property of materials. ACI 318-19, Eq. (14.5.2.1a), with $5\sqrt{f'_c}$, does not include consideration for the size effect. However, AC470 implements a size effect factor developed by Legeron²⁰ and adopted in the *fib* Model Code 1990²¹

$$\lambda_s = \frac{2.5 \left(\frac{h_b}{h_0} \right)^{0.7}}{1 + 1.5 \left(\frac{h_b}{h_0} \right)^{0.7}} \quad (3)$$

where h_0 is the depth of the member being designed; and h_b is the depth of the ASTM C78/C78M test beam.

Flexural design limits

AC470 specifies flexural strengths based on modified versions of ACI 318-19, Chapter 14, Eq. (14.5.2.1a) and

Eq. (a) in Table 14.5.4.1, taking into account f_r , ϕ , and the size effect factor in Eq. (3):

- For pure flexure

$$M_u \leq \lambda_s \phi L_f \sqrt{f'_c} S_m \quad (4)$$

- For combined flexure and axial compression

$$\frac{M_u}{S_m} - \frac{P_u}{A_g} \leq \lambda_s \phi L_f \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

where M_u is the moment strength; P_u is the axial strength; S_m is the section modulus; A_g is the gross cross-sectional area; and λ_s is the size effect factor.

Modulus of rupture (Types G and P)

Per AC470, designs for slabs-on-ground and pavement are based on average f_r in accordance with ACI 360 and ACI 330

$$f_r = L_f \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Summary

The IBC is the predominant building code in the United States. Section 104.11 of the code allows for alternative materials, designs, and methods provided that such alternatives have been evaluated to meet code requirements. AC470 provides the evaluation criteria and data for quantifying the use of TSMR in concrete in compliance with the building codes. An evaluation report has been issued in accordance with AC470 and is intended to demonstrate building code compliance verification for TSMR as alternative reinforcement used in concrete for several specific applications.

Stay Up-to-Date with the ACI Concrete Industry Calendar!

Whether you're interested in networking with industry leaders, learning a new technology, or wanting to let others know about your upcoming event, be sure to check out the ACI Events Calendar. With just a few clicks, you can connect with an event near you or post your own event to share with the world!



American Concrete Institute
Always advancing

Search your Events Calendar by...



Certifications and Training



Seminars and Webinars



Events

Search, Click, Connect!

Visit the Events Calendar Page at www.concrete.org/calendar

References

1. "AC470 - Use of Twisted Steel Micro Reinforcement (TSMR) in Concrete," ICC Evaluation Service, LLC, 2023, 9 pp.
2. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Washington, DC, 2020, 833 pp.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
5. "2021 International Residential Code (IRC)," International Code Council, Washington, DC, 2021, 1108 pp.
6. ACI Committee 332, "Code Requirements for Residential Concrete (ACI 332-20) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 72 pp.
7. ANSI/SDI C - 2017, "Standard for Composite Steel Floor Deck-Slabs," Steel Deck Institute, Allison Park, PA, 2017, 43 pp.
8. ISO/IEC 17065:12, "Conformity Assessment—Requirements for Bodies Certifying Products, Processes and Services," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012, 27 pp.
9. ACI Committee 332, "Residential Code Requirements for Structural Concrete (ACI 332-14) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 54 pp.
10. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
11. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.4R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 44 pp.
12. ACI Committee 544, "Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R-96) (Reapproved 2009)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 66 pp.
13. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.3R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
14. ACI Committee 330, "Commercial Concrete Parking Lots and Site Paving Design and Construction—Guide (ACI PRC-330-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 48 pp.
15. "AC208 - Steel Fibers in Concrete," ICC Evaluation Service, LLC, 2023, 5 pp.
16. ACI Committee 355, "Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete—Qualification Requirements and Commentary (ACI CODE-355.2-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 98 pp.
17. ASCE/SEI 7-16, "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2017, 800 pp.
18. Nowak, A.S., and Collins, K.R., *Reliability of Structures*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2013, 407 pp.
19. Nowak, A.S., and Iatsko, O., "Revised Load and Resistance Factors for the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," *PCI Journal*, V. 62, No. 3, May-June 2017, pp. 46-58.
20. Legeron, F., and Paultre, P., "Prediction of Modulus of Rupture of Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000,

pp. 193-200.

21. "CEB-FIP Model Code 1990: Design Code," Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland, 1990, 462 pp.

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

Selected for reader interest by the editors.



Luke R. Pinkerton is CEO and Founder of Helix Steel, Ann Arbor, MI, USA. He is Chair of ACI Subcommittee 332-D, Residential Concrete-Footings & Foundation Walls; Secretary of ACI Committee 380, Structural Plain Concrete; and a member of ACI Committees 332, Residential Concrete Work, and 551, Tilt-Up Concrete

Construction. He was awarded the 2018 Tilt-up Concrete Association's Robert Aiken Memorial Award. He received his BS in engineering physics from Hope College, Holland, MI; his MS in structural engineering from the University of Michigan, Ann Arbor, MI; and his MBA from the Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.



Yamil Moya is a Senior Staff Engineer at ICC Evaluation Service, LLC, Brea, CA, USA. His research interests include fiber-reinforced concrete, sandwich panel connectors, and ultra-light reinforced concrete panels. He is a member of ASTM Committees E05, Fire Standards, and E06, Performance of Buildings. He received his BS in civil engineering from California State University in Long Beach,

CA, USA. He is a licensed professional engineer in California, Maine, New Hampshire, and Rhode Island.



Mahmut Ekenel, FCI, is a Certification and Conformity Assessment Engineer at ACI (formerly a Senior Staff Engineer at ICC Evaluation Service, LLC, when this article was drafted). 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 received his MS from Southern Illinois University, Carbondale, IL, USA; and his PhD from Missouri S&T University, Rolla, MO, USA, where he also worked as a Postdoctoral Researcher. He is a licensed professional engineer in California, Ohio, Michigan, and Pennsylvania.

Caso de Estudio en Aplicaciones Alternativas del Cumplimiento del Reglamento de Construcción

Micro refuerzo de acero torsionado en el concreto

Por Luke R. Pinkerton, Yamil Moya, and Mahmut Ekenel

Este artículo describe un esfuerzo de la industria para desarrollar métodos alternativos para diseñar concreto de acuerdo con los códigos de construcción vigentes en los Estados Unidos. Si bien se centra en cómo el ICC-ES AC470¹, Criterios de aceptación del servicio de evaluación del Consejo Internacional de Códigos, aprovecha la vía de diseño de concreto simple para el diseño de concreto estructural y para el desarrollo de nuevos métodos de prueba para demostrar el cumplimiento del código para micro refuerzos de acero torsionado (TSMR por sus siglas en inglés), estos métodos potencialmente podrían usarse para otras formas de refuerzo alternativo.

Códigos de Construcción

Los códigos de construcción modelo establecen requisitos mínimos para la construcción de edificios nuevos y pueden ser adoptados por los oficiales de la construcción en varias jurisdicciones, con o sin modificaciones. El Código Internacional de Construcción (IBC por sus siglas en inglés) ha sido adoptado en los 50 estados, el Distrito de Columbia, Puerto Rico y en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Además, otros países/jurisdicciones, incluidos Arabia Saudita, Jamaica y Abu Dhabi, utilizan el IBC como referencia para desarrollar sus códigos de construcción nacionales. Otro código de construcción modelo, el Código Residencial Internacional (IRC por sus siglas en inglés), ha sido adoptado por la mayoría de los estados de EE. UU. como código de construcción legal. Cabe mencionar que tanto el IBC como el IRC contienen referencias a estándares promulgados por otras organizaciones, incluidos ACI y el Steel Deck Institute (SDI). En la medida en que se haga referencia a ellos, estos estándares son parte de IBC e IRC. Además, muchas de estas normas permiten el uso de refuerzo alternativo como se describe en este documento.

ACI Código-318

El IBC² del 2021 hace referencia al ACI318-19 “Requisitos del código de construcción para concreto estructural”.³ La próxima edición de 2024 del IBC se referirá al CÓDIGO ACI-318-19(22).⁴ El ACI 318-19 Sección 9.6.3.1, permite el uso de fibras de acero como refuerzo de cortante para aplicaciones muy limitadas. La Tabla 9.6.3.1 del ACI 318-19 se refiere al uso de concreto reforzado con fibras de acero en los casos en los que no se requiere un área mínima de refuerzo de cortante $A_{v,min}$. Para fibras de acero, el ACI 318-19, Sección 26.4.1.6.1, requiere el cumplimiento de ASTM A820/A820M-16, “Especificación estándar para fibras de acero para concreto reforzado con fibras”.

ACI 332

El IRC⁵ de 2021 hace referencia a ACI 332-20, “Requisitos del código para concreto residencial”,⁶ que permite el uso de fibras en concreto para construcciones en climas cálidos y losas. De acuerdo con el ACI 332-20, Sección 7.7.3, las fibras deben cumplir con los requisitos de ASTM C1116/C1116M-10(2015), “Especificación estándar para concreto reforzado con fibras”.

El IBC de 2021 hace referencia al ANSI/SDI C - 2017, “Estándar para losas de piso de acero compuesto”.⁷ La sección 2.4-B-15-a-2 de esta norma permite el uso de fibras de acero como refuerzo de temperatura y contracción, pero a una proporción no inferior a 25 lb/yd³ (14,8 kg/m³). La norma también exige el cumplimiento de ASTM A820/A820M para fibras de acero.

Materiales Alternativos

La sección 104.11 del IBC del 2021 permite la integración de nuevos productos, sistemas y tecnologías de construcción que no se describen explícitamente en el código mismo, lo que permite a los fabricantes demostrar que estos productos cumplen con la intención del código. La Sección 104.11.1 establece que “los datos de respaldo, cuando sean necesarios para ayudar en la aprobación de materiales o conjuntos no previstos específicamente en el código, pueden consistir en informes de investigación válidos de fuentes aprobadas”.² Esto generalmente se logra en dos etapas: primero crear documentos de criterios de aceptación y luego emitir informes de investigación.

Los documentos de criterios de aceptación describen los requisitos de calidad, pruebas y muestreo de productos específicos que deben cumplirse para verificar que un producto cumple con el código. Los informes de investigación verifican el cumplimiento del código de construcción y se emiten de acuerdo con criterios de aceptación específicos. Los resultados de la investigación se resumen en un informe de evaluación y se ponen a disposición de los oficiales del código, los profesionales de diseño autorizados y el público.

Verificación de Cumplimiento

Dado que hay menciones limitadas a las fibras de acero y ninguna mención a TSMR en el IBC o el IRC, se desarrolló un documento de criterios de aceptación, ICC-ES AC470, para proporcionar requisitos para demostrar el cumplimiento del código de construcción de TSMR. El ICC-ES es un organismo de certificación de productos acreditado por la Junta Nacional de Acreditación ANSI (ANAB

por sus siglas en inglés) según los requisitos ISO/IEC17065:12.⁸ El AC470 describe la evaluación del uso de TSMR en concreto para cumplir con los objetivos del código de construcción, como resistencia estructural y resistencia al fuego, propiedades del material y durabilidad.

Tipos de Diseños de TSMR en AC470

El AC470 define cinco tipos de diseño para TSMR (consulte la Tabla 1). El profesional del diseño debe seleccionar el tipo de diseño adecuado considerando las características del proyecto. Además de los estándares a los que se hace referencia en el IBC y el IRC, AC470 hace referencia a las prácticas producidas por los Comités ACI 330, Estacionamientos de concreto y pavimentación del sitio, y 360, Diseño de losas sobre el terreno.

El ACI 360R-10, “Guía para el diseño de losas sobre el terreno”,¹⁰ permite el uso de concreto simple en el Capítulo 7 y fibras de acero en la Sección 11.3 para reforzar losas de concreto sobre el terreno con el fin de aumentar la resistencia a la deformación, al impacto y a la flexión, tenacidad, control del ancho de grietas y la resistencia a la tracción. La guía hace referencia a los informes ACI 544.4R, 544.1R y 544.3R¹¹⁻¹³ y ASTM A820/A820M para la identificación de fibras que se pueden utilizar según este documento.

El ACI PRC-330-21, “Guía de diseño y construcción de lotes de pavimentos de concreto para estacionamientos comerciales y pavimentación en obra”,¹⁴ utiliza métodos de diseño de concreto simple para el diseño de pavimentos. El informe hace referencia a ASTM C1116/C1116M-10a (15) para fibras de acero. Pavementdesigner.org, desarrollado a través de la colaboración de la Asociación Estadounidense de Pavimentos de Concreto (ACPA), la Asociación de Cemento Portland (PCA) y la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA), implementa ACI PRC-330-21.

Requerimientos Mínimos de Ensayo.

Esta es una prueba para garantizar que los TSMR no afecten negativamente el rendimiento del concreto y que las mezclas con TSMR tengan una resistencia adecuada al congelamiento-descongelamiento y una adecuada capacidad de tracción posterior a la fisura. Las pruebas se realizan bajo un criterio de aceptación diferente del ICC-ES (AC208, "Fibras de acero en concreto"15).

Módulo de Rotura (Tipos S, G, and P)

Los diseños según el AC470 normalmente se rigen por estados límite de agrietamiento y aplastamiento del concreto. Por esto, se realizan pruebas en una variedad de mezclas de concreto para caracterizar la relación entre la resistencia a la tracción por flexión (módulo de ruptura f_t) y la resistencia a la compresión f'_c . Los resultados se utilizan para calcular las resistencias máximas de diseño.

Lámina colaborante de Concreto y Acero (Tipo C)

La capacidad de servicio es el factor de diseño que rige en la construcción de losas sobre lamina colaborante (otro término para plataforma compuesta de concreto y acero ó por sus siglas en inglés Steel Deck). El método busca únicamente proporcionar reemplazo para el acero mínimo requerido en cuanto a temperatura y contracción. Las muestras control que cumplen con los requisitos SDI C para el refuerzo tradicional de contracción y temperatura, así como las muestras que utilizan refuerzo alternativo, se exponen a unas condiciones ambientales que inducen una deformación/esfuerzo de tracción que excede la capacidad del concreto simple. Si el ancho de grieta promedio medido de las muestras reforzadas con refuerzo alternativo, en este caso TSMR, es menor que el ancho de grieta promedio medido de las muestras de control reforzadas con refuerzo de contracción y temperatura convencional (por ejemplo, refuerzo de alambre soldado [WWR]) después de ser sometidos a ciclos de condiciones ambientales, entonces el refuerzo y su dosificación se consideran aceptables.

Tipo N, no estructural	Refuerzo de acero discontinuo utilizado como alternativa al refuerzo de contracción y temperatura especificado en la Sección 24.4 de ACI 318-19 para zapatas de concreto simple y losas de concreto simple. (según lo definido por ACI 360) apoyado directamente en el suelo
Tipo S, diseño estructural elástico estructuras apoyadas	Aplicaciones que caen dentro del alcance de ACI 318-19, Capítulo 14; CIB, Sección 1906; ACI 332-14, Sección 8.2.1; [9] IRC, Secciones R404.1.3 y R608.1; o Tablas 8.2.1.3a y 8.2.1.3b de ACI 332-14. [9] Los refuerzos de acero discontinuos también se utilizan como una alternativa al refuerzo horizontal de temperatura y contracción en muros estructurales de concreto simple cubiertos con IBC, Sección 1906; IRC, Secciones R404.1.3 y R608.1; y ACI 332-14, Secciones 8.2.1 y 8.2.7 [9]
Tipo G, losas en el terreno	Aplicaciones que caen dentro del alcance de ACI 360, Capítulo 7 (losas de concreto simple) o Sección 11.3 (losas de concreto reforzado con fibra)
Tipo P, estacionamientos	Aplicaciones que caen dentro del alcance de ACI 330, Capítulo 3—Diseño de pavimentos
Tipo C, losas de concreto compuesto sobre plataforma de acero	Aplicaciones que son alternativas a SDI C, Sección 2.4-B-15-a (como se menciona en IBC, Sección 2210.1.1) para concreto sobre plataformas de acero compuesto cuando se usa refuerzo de acero discontinuo como refuerzo de temperatura y contracción.

Tabla 1: Tipos de Diseños para TSMR in AC470.

Métodos de ensayo en AC470

Módulo de ruptura

Las pruebas de flexión se realizan de acuerdo con ASTM C78/C78M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en tres puntos)", como se muestra en la Fig. 1. La norma (Sección 6.2) permite realizar pruebas a especímenes de cualquier tamaño "siempre que la dimensión de la sección transversal más pequeña de la viga sea al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso"

El coeficiente máximo de variación de los resultados de la prueba debe ser igual o inferior al 15% (Sección de Comentario R8.1.2 en Código ACI-355.2-22¹⁶).

Resistencia a Compresión

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizan de acuerdo con ASTM C39/C39M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndricas". La resistencia a la compresión promedio se mide con el TSMR agregado al concreto. El CV máximo de los resultados de la prueba debe ser igual o inferior al 15 % (Sección de comentarios R8.1.2 en el Código ACI-355.2-22).

Resistencia al Fuego

Los criterios permiten una evaluación opcional de la tasa de incendios de acuerdo con el IBC del 2021, Sección 703.

Agrietamiento por Contracción

Se desarrolló una modificación del estándar ASTM C1579, "Método de prueba estándar para evaluar el agrietamiento por contracción plástica de concreto restringido reforzado con fibra (usando un inserto de encofrado de acero)", para evaluar la deformación por tracción debido a la contracción en ensamblajes de losas sobre plataformas de acero.

Una pieza estándar de la plataforma de acero se fija a una placa base de aluminio (Fig. 2). Se fabrican y prueban dos muestras, una construida con WWR convencional y otra con TSMR, simultáneamente mediante exposición a un calentamiento acondicionado y flujo de aire.

Análisis de datos de los ensayos y límites de diseño

El AC470 requiere un análisis adicional para la aplicación de los tipos S, G y P.

Módulo de Rotura (Tipo S)

Los criterios de tipo S (consulte la Tabla 1) se basan en ACI 318-19, Capítulo 14, límites de aplicación y ecuaciones de diseño con tres modificaciones. Primero, el valor permitido para f_r se modifica según las pruebas requeridas por AC470. En segundo lugar, se incluye un factor de efecto de tamaño para tener en cuenta la profundidad de la sección. En tercer lugar, se determina una reducción de capacidad para asegurar el cumplimiento del ASCE/ SEI 7-16, Tabla 1.3-1.^{17,18} Se debe notar que el ACI 318-19, Capítulo 14, especifica un f_r muy conservador para concreto a flexión de $5 \sqrt{f'_c}$ en la ecuación (14.5.2.1a).

Módulo de Rotura y Resistencia a Compresión

La relación entre f_r y f'_c ($R_{c,prom}$) es determinada dividiendo la f_r obtenida del ensayo ASTM C78/C78M entre la raíz cuadrada de f'_c . El límite máximo de resistencia a flexión L_f es igual a $R_{c,prom}$.

$$L_f = R_{c,prom} = \frac{f_r}{\sqrt{f'_c}} \quad (1)$$

COV del Módulo de rotura y del factor de resistencia

Los cálculos dados en la E_c (2) y posteriores son necesarios para considerar la variabilidad en f_r así como otras variabilidades inherentes al sistema, y para tener en cuenta el índice de confiabilidad más alto requerido para materiales frágiles en ASCE/ SEI 7-16, Tabla 1.3-1, asumiendo un coeficiente de confiabilidad de 4.0.¹⁹ El factor de resistencia dominante (ϕ) será el menor entre el estándar 0,6 para concreto simple y el valor calculado usando este enfoque. Los valores típicos oscilan entre 0.55 y 0.60.

El coeficiente de variación COV general V_r es la raíz de la suma al cuadrado de las fuentes de variabilidad.

$$V_r = \sqrt{V_b^2 + 2V_h^2 + V_p^2 + V_{ip}^2 + COV^2} \quad (2)$$

Donde V_b es el coeficiente de variación COV de la profundidad del elemento; V_h es el coeficiente de variación de la profundidad del elemento; V_p es el factor profesional que explica la precisión de las ecuaciones de diseño; y V_{ip} es el factor de variación de la mezcla en sitio.



Figura 1. Configuración de ensayos de flexión ASTM C78/C78 M.

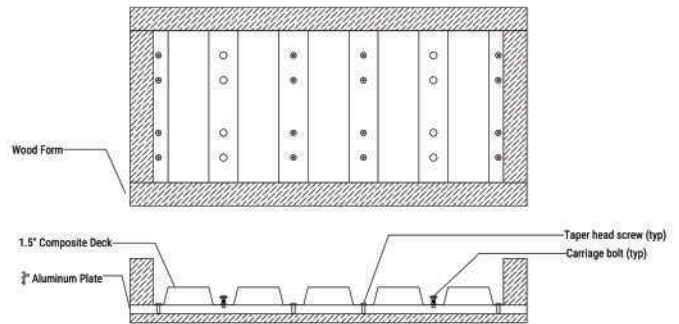


Figura 2. Especimen de ensayo de retracción por el ASTM C1679.

Factor de ajuste por efecto del tamaño

El efecto del tamaño es una propiedad bien conocida y aceptada para los materiales. La ecuación (14.5.2.1a) del ACI 318-19 con $5 \sqrt{f' c'}$, no incluye la consideración por el efecto del tamaño. Sin embargo, el AC470 implementa un factor de efecto del tamaño desarrollado por Legeron²⁰ y adoptado en el Código de modelo fib 1990²¹

$$\lambda_s = \frac{2.5 \left(\frac{h_b}{h_0} \right)^{0.7}}{1 + 1.5 \left(\frac{h_b}{h_0} \right)^{0.7}} \quad (3)$$

Donde h_0 es la profundidad del miembro diseño y h_b es la profundidad de la viga de ensayo del ASTM C78/78M.

Límites del diseño a flexión

El AC470 especifica resistencias a la flexión basadas en versiones modificadas de ACI 318-19, Capítulo 14, Ecuación (14.5.2.1a) y la ecuación. (a) en la Tabla 14.5.4.1, teniendo en cuenta f_r , ϕ y el factor de efecto de tamaño en la ecuación (3).

Para flexión Pura

$$M_u \leq \lambda_s \phi L_f \sqrt{f'_c} S_m \quad (4)$$

Para flexión combinada y compresión axial

$$-\frac{P_u}{A_g} \leq \lambda_s \phi L_f \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

Donde M_u es la resistencia a momento; P_u es la resistencia axial; S_m es el módulo de sección; A_g es el área transversal bruta; y λ_s es el factor de efecto de tamaño.

Módulos de ruptura (Tipos G y P)

Según AC470, los diseños para losas sobre terreno y pavimento son basados en el promedio de acuerdo con ACI 360 y ACI 330.

$$f_r = L_f \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Resumen

El IBC es el código de construcción predominante en los Estados Unidos. La sección 104.11 del código permite materiales alternativos, diseños y métodos siempre que se hayan evaluado alternativas para cumplir con los requisitos del código. El AC470 proporciona los criterios y datos de evaluación para cuantificar el uso de TSMR en concreto de conformidad con los códigos de construcción. Se ha emitido un informe de evaluación de acuerdo con AC470 y está destinado a demostrarla verificación del cumplimiento del código de construcción para TSMR como refuerzo alternativo utilizado en el concreto para diversas aplicaciones específicas.

Referencias

1. "AC470 - Use of Twisted Steel Micro Reinforcement (TSMR) in Concrete," ICC Evaluation Service, LLC, 2023, 9 pp.
2. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Washington, DC, 2020, 833 pp.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
5. "2021 International Residential Code (IRC)," International Code Council, Washington, DC, 2021, 1108 pp.
6. ACI Committee 332, "Code Requirements for Residential Concrete (ACI 332-20) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 72 pp.
7. ANSI/SDI C - 2017, "Standard for Composite Steel Floor Deck- Slabs," Steel Deck Institute, Allison Park, PA, 2017, 43 pp.
8. ISO/IEC 17065:12, "Conformity Assessment—Requirements for Bodies Certifying Products, Processes and Services," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012, 27 pp.
9. ACI Committee 332, "Residential Code Requirements for Structural Concrete (ACI 332-14) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 54 pp.
10. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
11. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.4R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 44 pp.
12. ACI Committee 544, "Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R-96) (Reapproved 2009)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 66 pp.
13. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.3R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
14. ACI Committee 330, "Commercial Concrete Parking Lots and Site Paving Design and Construction—Guide (ACI PRC-330-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 48 pp.
15. "AC208 - Steel Fibers in Concrete," ICC Evaluation Service, LLC, 2023, 5 pp.
16. ACI Committee 355, "Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete—Qualification Requirements and Commentary (ACI CODE- 355.2-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 98 pp.
17. ASCE/SEI 7-16, "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2017, 800 pp.
18. Nowak, A.S., and Collins, K.R., Reliability of Structures, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2013, 407 pp.
19. Nowak, A.S., and Iatsko, O., "Revised Load and Resistance Factors for the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," PCI Journal, V. 62, No. 3, May-June 2017, pp. 46-58.
20. Legeron, F., and Paultre, P., "Prediction of Modulus of Rupture of Concrete," ACI Materials Journal, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000, pp. 193-200.
21. Legeron, F., and Paultre, P., "Prediction of Modulus of Rupture of Concrete," ACI Materials Journal, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000, pp. 193-200.

Nota: Información adicional sobre las normas ASTM podrán ser encontradas en www.astm.org.

Seleccionado por editores para el interés del lector.



Luke R. Pinkerstone es el CEO y fundador de Helix Steel, Ann-Arbor, MI, USA. Él es el presidente del Subcomité ACI 332-D, Cimentaciones y Muros de Fundación de Concreto Residencial, secretario del Comité ACI 380, Concreto Estructural Simple, y Miembro de los Comités ACI 332, Construcción de Concreto Residencial 551, Concreto Tilt-Up. Luke fue premiado con el galardón Robert Ailen Memorial 2018 del Tilt-Up Concrete Association. Él recibió su grado en Física de la Ingeniería Estructural del Hope College, Holland, MI; su maestría en Ingeniería Estructural en la University of Michigan, Ann Arbor, MI; y un MBA del Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.



Mahmut Ekenel, FACI, es un ingeniero de Evaluaciones de Certificaciones y Complacencia en ACI (previamente ingeniero Senior en ICC Evaluation Service, LLC, cuando este artículo fue escrito). Sus intereses de investigación incluyen reforzamiento de estructuras usando materiales cementicios y polímeros reforzados con fibra, concreto reforzado con fibra, aditivos de concreto y anclaje a hormigón. Él recibió su Maestría de la Southern Illinois University, Carbondale, IL, USA y su PhD del Missouri S&T University, Rolla, MO, USA, donde trabajó como investigador postdoctorado. Él es un ingeniero profesional licenciado en California, Ohio, Michigan y Pensilvania.



Yamil Moya es un Ingeniero Senior en ICC Evaluation Service, LLC, Brea, CA, USA. Sus intereses de investigación incluyen concreto reforzado con fibra, conectores de paneles sandwich y paneles de concreto reforzado ultraligero. Él es miembro de los comités ASTM E05, Estándares del Fuego y E06, Desempeño de Edificaciones. Él recibió su grado en ingeniería civil del California State University in Long Beach, CA, USA. Él es un ingeniero profesional licenciado en California, Maine, New Hampshire y Rhode Island.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de República Dominicana

Título: Caso de Estudio en Aplicaciones Alternativas del Cumplimiento del Reglamento de Construcción



*Traductora:
Ing. Damariel
Cáceres*



*Revisor Técnico:
Ing. Piero R.
Caputo*