

Fiber-Reinforced Concrete for Long-Term Durable Structures—Case Studies

by Corina-Maria Aldea, Claire Gandee, Beverly Heasley, Heidi Helmink, Carl A. Labbe III, Michael A. Mahoney, Matthew A. Offenbergl, and Steve Schaeff

Unreinforced concrete has low tensile strength and low strain capacity at fracture. These shortcomings are traditionally overcome by adding reinforcing bars or prestressing steel. Fiber reinforcement can be an alternative to continuous steel reinforcement. As defined by ACI PRC-544.3R-08, Section 1.1,¹ fiber-reinforced concrete (FRC) is a composite material consisting of a concrete/mortar phase and a dispersion of discontinuous fibers which can be randomly distributed, or specifically located in the structure to optimize performance. There are a variety of fiber types available on the market, which address various design requirements and constraints.² Based on their material type, fibers can be classified into four categories: steel, glass, synthetic (nylon, polyester, polypropylene, and carbon), and natural fibers,³ as defined by ASTM C1116/C1116M-23.⁴

Fibers are used to reinforce cementitious materials and to improve their pre- and post-crack behavior. Depending on the fiber type and at appropriate dosages, the addition of fibers can increase flexural strength, enhance ductility, provide increased resistance to plastic and drying shrinkage cracking, reduce crack widths, enhance energy absorption, and improve impact resistance by helping resist concrete tension stresses compared to nonfiber-reinforced concrete. The majority of FRC mixtures use steel, synthetic micro- or macrofiber, glass, or hybrid (or blends of) fibers. The use of FRC improves the safety, economy, sustainability, and functionality of structures.⁵

Rapid advances in fiber materials technology have enabled engineers to incorporate FRC in a variety of applications. Applications for fiber reinforcement include both nonstructural and structural elements. For structural applications, fibers are often used along with conventional reinforcement, where their role is to aid in stress redistribution and in many cases provide additional post-crack flexural strength, thus improving resistance to impact or dynamic loading and material disintegration. The major applications of FRC are slabs-on-ground and pavements, slabs-on-composite metal decks, precast concrete, and shotcrete. Examples of

slab-on-ground and pavement construction include residential, commercial, and industrial floor slabs; airport runways; roadways; and bridge decks. Precast concrete applications include septic tanks, pipes, tunnel linings, burial vaults, fence panels, and bumper blocks. Shotcrete applications often include rock slope stabilization, underground tunnel liners, hydraulic structures, and patch repair.

This article highlights the use of fiber reinforcement to enhance durability of concrete structures, as well as benefits of different types of fibers with projects up to 40 years in service, covering various applications in different geographic locations. Table 1 provides examples of structures where FRC was successfully used for a broad range of applications around the world. It includes details about installation year, location, type of application, project size, and type of fiber, as well as dosage used, where available. Additional applications are available from the various manufacturers of fiber reinforcement products for FRC.

Steel Fibers

Steel fibers for concrete reinforcement are discrete lengths of steel, sufficiently small enough to be randomly dispersed in concrete using common mixing procedures. Typical steel macrofibers diameters range from 0.01 to 0.05 in. (0.3 to 1.3 mm) and lengths from 1.2 to 2.5 in. (30 to 64 mm). ASTM A820/A820M-22, Section 4,⁶ provides classification for five general types of steel fibers, based primarily on the product or process used in their manufacture:

- Type I, cold-drawn wire;
- Type II, cut sheet;
- Type III, melt-extracted;
- Type IV, mill cut; and
- Type V, modified cold-drawn wire.

Steel fibers are available in various geometries including rectangular, flat, cylindrical, and variations or combinations of these. In typical construction, Type I and Type II are most prevalent. The dosage for steel fibers used depends on the

Table 1:
Worldwide applications of FRC

Project	Year	Location	Application	Size	Fiber type	Dosage, lb/yd ³	Why used
JFK Airport runway and taxiway	1980	New York, NY, USA	Pavement and overlay	30,000 ft ²	Steel Type I	85	Durability, long-term performance
Pepsi	1990	Cherryville, NC, USA	Pavement	250,000 ft ²	Steel Type I	—	Durability, crack control, load capacity
San Siro Stadium	1990	Milan, Italy	Cladding	77,000 ft ²	Glass	—	Durability, crack control, load capacity
Press Accommodation Building	1992	Barcelona, Spain	Façade cladding	680,000 ft ²	Glass	—	Durability, crack control, load capacity
Clackamas Hwy	1995	Estacada, OR, USA	Shotcrete	~30 yd ³	Synthetic microfiber	4.5	Safety, ease of use, cost
Maersk Container Terminal	1995	Algeciras, Spain	Pavement	3,800,000 ft ²	Steel Type I	—	Durability, crack control, load capacity
Salmon River Bridge	1995	Kemptown, NS, Canada	Bridge deck	8000 ft ²	Synthetic microfiber	8	Crack control, early project for steel-free bridge
SIMAT	1995	France	Precast pipes	—	Steel Type I	51	Ease of construction, long-term durability
Channel Tunnel Rail Link	1996	United Kingdom	Tunnel lining	70 miles	Steel Type I	51	Durability during handling and installation, corrosion resistance
Potsdamer Platz	1997	Germany	Mat foundation, pile supported	754,000 ft ²	Steel Type I	—	Ease of construction, long-term durability
Heathrow Express Station	1998	London, UK	Tunnel lining	150,000 ft ²	Glass	—	Durability, crack control, load capacity
BTS Skytrain	1999	Bangkok, Thailand	Noise barriers	490,000 ft ²	Glass	—	Durability, crack control, load capacity
Hall's Harbour Wharf	1999	Hall's Harbour, NS, Canada	Precast panels, marine environment	~80 yd ³	Synthetic macrofiber	12	Corrosion resistance, durability
Hwy 67 Bridge	1999	Elkhorn, WI, USA	Bridge deck	812 yd ³	Synthetic macrofiber	1.5	Crack control
VJ Rice septic tanks	1999	Bridgetown, NS, Canada	Precast	—	Synthetic macrofiber	11.5	Replacement of welded-wire reinforcement
Aberg Packers Bridge	2000	Madison, WI, USA	Bridge deck	180 yd ³	Steel Type V	80	Reduce transfer cracking
Halawa Quarry Scale House	2000	Honolulu, HI, USA	Pavement	—	Synthetic macrofiber	7.5	Durability, abrasion resistance
IKEA	2001	Sweden	Floor on piles, warehouse	215,000 ft ²	Steel Type I	—	Fiber-only pile-supported slab, ease of construction
Lake Ponchartrain/US-11	2001	New Orleans, LO, USA	Bridge deck overlay	5 miles	Steel Type V	88	Durability, 3D reinforcement
610 Loop overlay	2002	Houston, TX, USA	Pavement	10 miles	Blend	75	Accelerated production, durability
National Air and Space Museum	2002	Chantilly, VA, USA	Slab-on-ground	500,00 ft ²	Steel Type I	50	Durability, crack resistance, load capacity
Port Authority NY and NJ	2002	New York City, NY, USA	Pavement	—	Synthetic macrofiber	5	Rapid repair, less cracking desired
Danish Army/Aalborg Airport	2003	Aalborg, Denmark	Pavement	50,000 ft ²	Steel Type I	51	Ease of use, cost, durability, corrosion resistance
Copper Mine	2005	Los Pelambres, Chile	Shotcrete, underground	22,200 yd ³	Synthetic macrofiber	11.8	Long term durability
Ghent Rd. RTA	2005	Akron, OH, USA	Pavement	25,000 ft ²	Synthetic macrofiber	5.5	Speed of construction, replacement of welded-wire reinforcement, durability
Mason Street Bridge	2005	Green Bay, WI, USA	Bridge deck overlay	—	Synthetic macrofiber	8	Resistance to chloride ingress, corrosion, and general wear

Quartz Hill Water Treatment	2006	Palmdale, CA, USA	Shotcrete	4500 yd ³	Blend	5	Ease of use, corrosion resistance
Belfast Sewer	2007	Belfast, Ireland	Tunnel lining	41,570 yd ³	Steel Type I	51	Durability during handling and installation, corrosion resistance
Route Y and 00 Bridge	2007	Columbia, MO, USA	Bridge deck replacements	900 yd ³	Blend	7.5	Corrosion resistance, durability
USMC Base water channel	2007	29 Palms, CA, USA	Slip-form paving	1800 yd ³	Blend	5	Ease of use, corrosion resistance
1st Street intersection	2008	Abilene, TX, USA	Pavement	2500 ft ²	Blend	36	Durability, cost effectiveness
Abilene Airport parking	2008	Abilene, TX, USA	Pavement	200,000 ft ²	Blend	36	Alternative reinforcement
Interstate 220 Loop	2008	Jackson, MS, USA	Median guard rail base	2000 yd ³	Synthetic macrofiber	3	Accelerated production, durability
NCA Railcar Facility	2008	Tuscumbia, AL, USA	Industrial facility	3,200,000 ft ²	Steel Type I	50	Accelerated production, durability
Commercial warehouse	2012	Polinyà, Spain	Slab-on-ground	15,000 ft ²	Glass	9	Ease of construction, crack control
Private jet hangar	2013	Passo Fundo, Brazil	Slab-on-ground	8600 ft ²	Glass	9	Crack control

Note: 1 ft² = 0.09 m²; 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³; 1 yd³ = 0.76 m³; 1 mile = 1.6 km

application and the required engineering performance.

The use of steel-fiber reinforcement has been shown to increase durability by limiting crack development and minimizing crack widths, as well as improving fatigue response and impact resistance. Using steel fibers to extend or eliminate saw cut control joints can also help to increase the lifespan of flatwork. It is a common misconception that a steel fiber solution is more prone to cracking and damage from corrosion, but the opposite has been shown in testing and existing projects.

Durable projects with steel fibers

The construction of the Maersk Container Terminal pavement in Algeciras, Spain, began in 1995. This 3.8 million ft² (353,000 m²) project used a Type I steel-fiber solution for anticipated loading and long-term performance requirements (Fig. 1). It remains in use today and is exhibiting excellent performance.

Precast concrete pipes can be challenging to produce at scale with conventional reinforcement. To streamline construction scheduling and improve long-term durability performance, SIMAT in France has been using 50 lb/yd³ (30 kg/m³) of Type I steel fiber-reinforced solutions for their underground elements since 1995 (Fig. 2). This solution has been so successful it continues to be a standard practice for SIMAT today.

In 2002, the National Air and Space Museum in Chantilly, VA, USA, was constructed with a joint-free floor design totaling 500,000 ft² (46,450 m²) using top continuous reinforcement plus 50 lb/yd³ (30 kg/m³) Type I steel fibers. This solution was chosen for heavy long-term loading requirements and to eliminate visible joints in the floor. Among other loads, this slab supports a retired space shuttle and is still in use today.



Fig. 1: Pavement with Type I steel fibers at the Maersk Container Terminal, Algeciras, Spain, constructed in late 1990s



Fig. 2: Precast pipes with steel fibers have been manufactured by SIMAT in France since 1995

The Channel Tunnel Rail Link project in the United Kingdom is one of the largest construction projects in Europe, at approximately 70 miles (113 km) long with an internal diameter of 23.5 ft (7.2 m). Construction began in 1996; the tunnel was constructed with 60 MPa (8700 psi) concrete and 30 kg/m³ (50 lb/yd³) of Type I steel fibers for durability during handling and installation, and long-term corrosion resistance.

A warehouse slab project for IKEA in Sweden was constructed in 2001 on poor soils, where soil remediation was necessary, and the slab had to span between soil support elements. This project included a Type I fiber-only solution for the 215,000 ft² (20,000 m²) area and is still in service.

Synthetic Macrofibers

The inclusion of synthetic macrofibers in concrete structures can lead to maximizing durability and service life and offers potential reduction or elimination of conventional steel reinforcement in certain applications. Synthetic macrofibers have diameters greater than 0.01 in. (0.3 mm) and lengths ranging from 1.5 to 2.5 in. (40 to 65 mm). These products comply with ASTM D7508/D7508M⁷ standard, provide a smaller carbon footprint, and offer a safer, more affordable, and more accessible alternative to conventional steel reinforcement, especially under consideration of time for installation, inspection, and working environment. These service life improvements and material reductions present opportunities for housing and infrastructure construction that contribute to protecting the environment and ensuring public safety, health, security, serviceability, and life-cycle cost effectiveness.

Synthetic macrofibers offer improved chemical, chloride, and alkali resistance; enhanced mechanical properties (toughness; flexural, tensile, and impact strength; ductility); reduced crack width and propagation that inhibits failure modes from carbonation corrosion; chloride-induced corrosion; alkali-silica reaction (ASR); and other deterioration mechanisms, such as thermal spalling.

Durable projects with synthetic macrofibers

The Mason Street Bridge deck in Green Bay, WI, USA, demonstrates the use of synthetic macrofibers to improve long-term performance and durability. With a synthetic macrofiber dosage of 8 lb/yd³ (5 kg/m³), this bridge deck-wearing course was reconstructed in 2005 for required rehabilitation after a previous overlay had deteriorated due to chloride ingress, corrosion, and general wear. In 2018, after more than 13 years in service, the bridge deck is still performing well (Fig. 3).

VJ Rice Concrete in Bridgetown, NS, Canada, began using synthetic macrofibers in 1997 to replace welded-wire reinforcement in precast concrete septic tanks. Following a load test and waterproofing program to validate a high dosage of 11.5 lb/yd³ (6.8 kg/m³) to replace the conventional steel reinforcement, these tanks have now been in service for over 20 years.

The Port Authority of New York and New Jersey constructed a synthetic macrofiber roadway in 2002 using a dosage of 5 lb/yd³ (3 kg/m³) to improve fatigue resistance and cracking and to allow a rapid repair of a heavily trafficked roadway leading away from the shipping port and terminal. This roadway is still in service today and exhibits excellent performance.

Pavement for the scale house at Hawaii Cement's Halawa Quarry in Honolulu, HI, USA, was constructed in 2000 using 7.5 lb/yd³ (4.5 kg/m³) of synthetic macrofibers to provide abrasion resistance and durability against daily repeated loads from fully loaded aggregate carrying trucks. After more than 20 years in service and withstanding millions of tons of aggregate load, this slab is still in service and continues to exceed expectations.

Synthetic Microfibers

Synthetic microfibers also comply with ASTM D7508/D7508M. They can be in either monofilament, multifilament, or fibrillated form. The addition of synthetic microfibers in concrete pavements is an effective method to control plastic shrinkage cracking by reducing plastic settlement and providing superior microcrack control at the surface. This results in the extension of service life with reduced maintenance. These fibers are relatively fine with a typical diameter of 0.0004 to 0.012 in. (0.01 to 0.3 mm) and are used in relatively small dosages, ranging between 0.5 and 1.5 lb/yd³ (0.3 and 0.9 kg/m³) or 0.03 to 0.1% by volume. Fibrillated synthetic microfibers can be used to replace light gauge welded-wire reinforcement in most cases, typically at a dosage of 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³).

In addition to the performance benefit of controlling plastic shrinkage cracking, synthetic microfibers are also used in concrete tunnel lining segments to reduce the risk of explosive spalling in the event of fire. When the concrete temperature is substantially increased, the moisture inside the concrete transitions to a vapor state and can lead to increased pressure in the concrete. If there is no way for the pressure to escape, the force inside the concrete can exceed the concrete's tensile capacity and lead to explosive spalling. Synthetic microfibers generally melt under high temperatures and create a capillary void system, which can provide a channel for the steam to escape, thus alleviating the risk of explosive spalling.

Durable project with synthetic microfibers

In 1999, a state highway bridge in Elkhorn, WI, was constructed using 812 yd³ (621 m³) of FRC with 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³) of fibrillated synthetic microfibers for plastic shrinkage crack control. As shown in Fig. 4, the bridge remains in excellent condition after more than 22 years in service.

Hybrid or Blended Fibers

As defined by ACI PRC-544.3-08, Section 1.4.3, hybrid, or blended, fibers are combinations of fiber sizes, fiber materials,

or both, where in well-designed hybrid composites, there is positive interaction between the fibers, and the resulting hybrid FRC performance exceeds the sum of the individual fiber performances. Categories of fibers known to provide synergies are hybrids based on fiber constitutive response, hybrids based on fiber dimensions, and hybrids based on fiber function. Hybrids based on fiber function include the combination of synthetic microfibers with steel macrofibers, or synthetic microfibers with synthetic macrofibers, where one type of fiber is intended to improve the fresh and early-age properties, such as ease of production and plastic shrinkage crack control, while the second fiber leads to improved mechanical properties. Applications for blended fibers include bridge decks, pavements, overlays, structural mat foundations, and intersections.

Durable project with blended fibers

A durable project featuring blended fibers is the 1st Street intersection in downtown Abilene, TX, USA, that has been in service since 2008. This 2500 ft² (230 m²) intersection, shown in Fig. 5, was reinforced with 34.5 lb/yd³ (20.4 kg/m³) of Type V steel fibers and 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³) of synthetic microfibers. The blend was chosen for durability and cost effectiveness. When evaluated 14 years later, there were no signs of damage or needed repairs.

Glass Fibers

Glass fiber-reinforced concrete (GFR) contains alkali-resistant (AR) glass fibers conforming to ASTM C1666/C1666M-08(2023),⁸ which covers minimum requirements for AR glass fibers intended for use in GFR by spray-up, GFR premix, FRC, and other cement-based products to ensure their long-term durability in cement-based composites. AR glass fibers for concrete reinforcement are typically chopped strands of glass fibers randomly dispersed in concrete using common mixing procedures. Glass fibers may be either integral strands built from a bundle of

glass filaments or dispersible filaments. Fibers can be up to 1.4 in. (36 mm) long with a range of aspect ratios to match different applications. Dosages range from 1 lb/yd³ (0.6 kg/m³) for simple applications up to 5% by volume (200 lb/yd³ or 120 kg/m³) for highly

technical applications. The dosage of glass fibers depends on the application and the required engineering performance.

The use of glass fibers has been shown to increase durability by limiting crack development and minimizing crack widths.



Fig. 3: Views of the deck of the Mason Street Bridge in Green Bay, WI, USA, which was constructed with synthetic macrofibers: (a) during construction in 2005; and (b) after more than 13 years of service

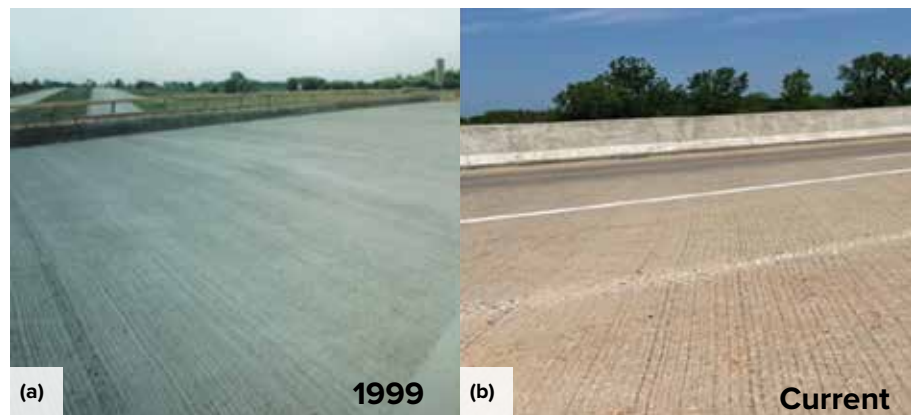


Fig. 4: Views of the deck of a state highway bridge in Elkhorn, WI, which was constructed with fibrillated synthetic microfibers: (a) during construction in 1999; and (b) after more than 22 years in service

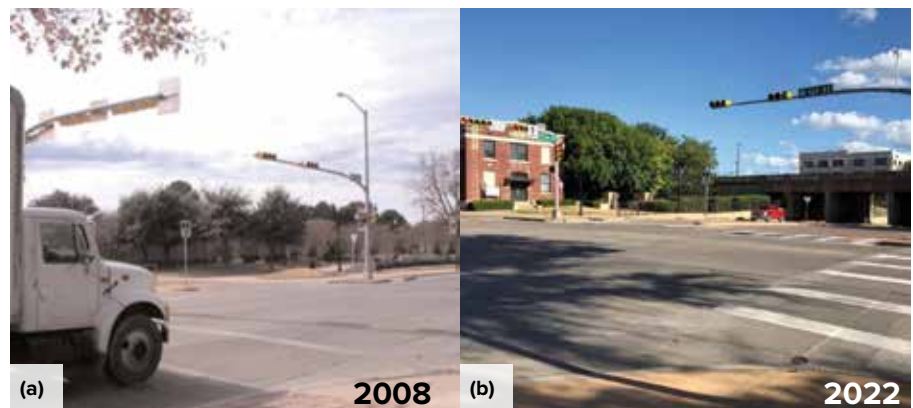


Fig. 5: Views of pavement in Abilene, TX, USA, which was constructed with a blend of steel and synthetic fibers: (a) shortly after construction in 2008; and (b) after 15 years in service

Durable projects with glass fibers

A 15,000 ft² (1400 m²) commercial warehouse was built in Polinyà, Spain, in 2012 with 8.5 lb/yd³ (5 kg/m³) of AR glass macrofibers for anticipated loading and long-term performance requirements and 1 lb/yd³ (0.6 kg/m³) of dispersible AR glass microfibers to reduce plastic shrinkage cracking.

In 1990, GFRC was selected to provide durability and crack control for the exterior panels of the renovation for the San Siro Stadium in Milan, Italy. Over 1000 panels totaling about 77,000 ft² (7150 m²) were produced to provide curtain walls and cladding to the four towers supporting the beams of the roof. GFRC architectural panels typically contain a minimum of 4% AR glass fibers by mass of total mixture.

Concluding Remarks

Evidence of the long-term durability associated with fiber reinforcement can be found not just herein, but in structures constructed throughout history. Since ancient times, for example, straw has been used to reinforce sunbaked bricks, and horsehair has been used to reinforce masonry mortar and plaster.³ Monuments to the benefits of fiber reinforcement

include the Roman Colosseum in Italy and the walls of the Alamo in Texas. With continued advancements in fiber technology and design, FRC offers the long-term durability that is an essential component in the industry's quest to lower the embodied carbon associated with the built environment and can help ensure that today's constructions are tomorrow's monuments.

References

1. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.3-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
2. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.4-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 44 pp.
3. ACI Committee 544, "Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI PRC-544.1-96) (Reapproved 2009)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 66 pp.
4. ASTM C1116/C1116M-23, "Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 5 pp.
5. ACI Committee 544, "Report on the Physical Properties and

The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction

The fourth edition of the best-selling *The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction* is now available in print and digital formats.

Written by and for contractors, and referenced by many licensing authorities, this guide details proven practices for quality concrete construction.



American Concrete Institute
Always advancing
concrete.org



AMERICAN SOCIETY OF
CONCRETE CONTRACTORS
Enhancing the Capabilities of Those Who Build with Concrete
asconline.org

Durability of Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.5-10),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 31 pp.

6. ASTM A820/A820M-22, “Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 4 pp.

7. ASTM D7508/D7508M-20, “Standard Specification for Polyolefin Chopped Strands for Use in Concrete,” ASTM International, West

Conshohocken, PA, 2020, 4 pp.

8. ASTM C1666/C1666M-08 (Reapproved 2023), “Standard Specification for Alkali Resistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber-Reinforced Concrete and Cement,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 4 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Corina-Maria Aldea, FACI, is a Principal Engineer of Materials at WSP E&I Canada Ltd. She has more than 30 years of combined technical, research, industrial, consulting, management, and academic international experience in various areas of civil and building materials engineering. She is Chair of ACI Subcommittee 544-F, FRC-Durability, and Secretary of 549, Thin

Reinforced Cementitious Products and Ferrocement. Aldea also serves as a member of ACI Committees 233, Ground Slag in Concrete; 239, Ultra-High-Performance Concrete; 523, Cellular Concrete; and 544, Fiber Reinforced Concrete. She has made numerous conference presentations and other contributions to international organizations, such as ACI, RILEM, Materials Research Society (MRS), and the American Ceramic Society (ACerS).



ACI member **Claire Gandee** is the Sales Engineering Manager for the North America Building Products Group with Bekaert Corporation. She is a member of ACI Subcommittees 544-C, FRC-Testing; 544-D, FRC-Structural Uses; and 544-F, FRC-Durability.



ACI member **Beverly Heasley** is a Technical Engineer with FORTA Corporation. She is Chair of ACI Subcommittee 544-B, FRC Education, and a member of ACI Committee 544, Fiber Reinforced Concrete.



ACI member **Heidi Helmink** is Director of Marketing for Concrete & Waterproof with Sika Corporation. She is a member of ACI Committee 544, Fiber Reinforced Concrete, and three of its subcommittees.



ACI member **Carl A. Labbe III** is the Senior Product Engineer with Sika Corporation. He has been developing and manufacturing synthetic fibers for concrete reinforcement for more than 33 years. He led the development of the first ASTM manufacturer polyolefin fiber specification for concrete (ASTM D7508/D7508M) as well as the last revision of

ASTM C1116/C1116M. Labbe has held multiple ACI certifications. He received his BS in industrial management and is listed on an international fiber patent.



Michael A. Mahoney, FACI, is the Director of Marketing and Technology, Fiber Reinforced Concrete with The Euclid Chemical Company. He is a member of ACI Committee 544, Fiber Reinforced Concrete, and four of its subcommittees.



Matthew A. Offenberg, FACI, is the North America Market Manager, Concrete Solutions at Owens Corning. He is a member of ACI Committee 552, Cementitious Grouting, and is active on several other ACI committees as an associate member.



ACI member **Steve Schaeff** is the Engineering Manager, Development & Technical Services at Master Builders Solutions Admixtures US, LLC. He is Chair of ACI Subcommittee 544-C, FRC-Testing, and a member of ACI Committees 215, Durability of Concrete, and 544, Fiber Reinforced Concrete; and ACI Subcommittees 506-B, Shotcreting-

Fiber-Reinforced, and 544-F, FRC-Durability.

Una contribución del Subcomité ACI 544-F, Durabilidad de concreto reforzado con fibras

Concreto Reforzado con Fibras para Estructuras Duraderas a Largo Plazo – Casos de Estudio. Definiendo la Industria

por Corina-Maria Aldea, Claire Gandee, Beverly Heasley, Heidi Helmink, Carl A. Labbe III, Michael A. Mahoney, Matthew A. Offenbergl, y Steve Schaeff

El concreto no reforzado tiene baja resistencia a la tracción y baja capacidad de deformación a la fractura. Estas deficiencias se solucionan tradicionalmente añadiendo barras de refuerzo o acero presforzado. El refuerzo de fibra puede ser una alternativa al refuerzo de acero continuo. Según lo definido por ACI PRC-544.3R-08, Sección 1.1¹, el concreto reforzado con fibra (CRF) es un material compuesto que consiste en una fase de concreto/mortero y una de dispersión de las fibras discontinuas que pueden distribuirse aleatoriamente o ubicarse específicamente en la estructura para optimizar el desempeño. Hay una variedad de tipos de fibras disponibles en el mercado, que abordan diversos requisitos y limitaciones de diseño². Según su tipo de material, las fibras se pueden clasificar en cuatro categorías: acero, vidrio, sintéticas (nylon, poliéster, polipropileno y carbono), y fibras naturales³, según lo definido por ASTM C1116/C1116M-23⁴.

Las fibras se utilizan para reforzar materiales cementantes y mejorar su comportamiento antes y después del agrietamiento. Dependiendo del tipo de fibra y en las dosis adecuadas, la adición de fibras puede aumentar la resistencia a la flexión, mejorar la ductilidad, proporcionar una mayor resistencia al agrietamiento por contracción plástica y por secado, reducir el ancho de las grietas, mejorar la absorción de energía y mejorar la resistencia al impacto al ayudar a resistir los esfuerzos de tracción del concreto en comparación con el concreto no reforzado con fibras. La mayoría de las mezclas de CRF utilizan acero, microfibras o macrofibras sintéticas, vidrio o fibras híbridas (o mezclas de ellas). El uso de CRF mejora la seguridad, economía, sostenibilidad y funcionalidad de las estructuras⁵.

Los rápidos avances en la tecnología de materiales de fibra han permitido a los ingenieros incorporar CFR en una variedad de aplicaciones. Las aplicaciones de refuerzo de fibra incluyen elementos estructurales y no estructurales. Para aplicaciones estructurales, las fibras se utilizan a menudo junto con el refuerzo convencional, donde su función es ayudar en la redistribución de los esfuerzos y, en muchos casos, proporcionar resistencia a la flexión adicional después del agrietamiento, mejorando así la resistencia al impacto o la carga dinámica y la desintegración del material. Las principales aplicaciones del CRF son en las losas sobre el terreno y pavimentos, losas compuestas sobre tableros permanentes de acero, concreto prefabricado y concreto lanzado. Ejemplos de construcción de losas sobre el terreno y pavimento incluyen losas para pisos residenciales, comerciales e industriales; pistas de aeropuertos; carreteras; y tableros de puentes. Las aplicaciones de concreto prefabricado incluyen tanques sépticos, tuberías, revestimientos de túneles, bóvedas funerarias, paneles de cercas y bloques protectores de estacionamiento. Las aplicaciones de concreto lanzado a menudo incluyen estabilización de taludes rocosos, revestimientos de túneles subterráneos, estructuras hidráulicas y reparación de parches.

Este artículo destaca el uso de refuerzo de fibra para mejorar la durabilidad de las estructuras de concreto, así como los beneficios de los diferentes tipos de fibras con proyectos de hasta 40 años en servicio, cubriendo diversas aplicaciones en diferentes ubicaciones geográficas. La Tabla 1 proporciona ejemplos de estructuras en las que el CRF se utilizó con éxito para una amplia gama de aplicaciones en todo el mundo. Incluye detalles sobre el año de instalación, ubicación, tipo de aplicación, tamaño del proyecto y tipo de fibra, así como la dosis utilizada, donde estuvo disponible. Se encuentran disponibles aplicaciones adicionales de varios fabricantes de productos de refuerzo de fibra para CRF.

Fibras de Acero

Las fibras de acero para refuerzo de concreto son longitudes discretas de acero, lo suficientemente pequeñas como para dispersarse aleatoriamente en el concreto mediante procedimientos de mezcla comunes. Los diámetros típicos de las macrofibras de acero varían de 0.01 a 0.05 pulgadas (0.3 a 1.3 mm) y longitudes de 1.2 a 2.5 pulg. (30 a 64 mm). ASTM A820/A820M-22, Sección 4⁶, proporciona una clasificación para cinco tipos generales de fibras de acero, basándose principalmente en el producto o proceso utilizado en su fabricación:

- Tipo I, alambre estirado en frío;
- Tipo II, hoja cortada;
- Tipo III, extraído en fusión;
- Tipo IV, corte en fábrica; y
- Tipo V, alambre modificado estirado en frío

Las fibras de acero están disponibles en varias geometrías, incluyendo rectangulares, planas, cilíndricas y variaciones o combinaciones de estas. En la construcción típica, los tipos I y II son los más frecuentes. La dosificación de fibras de acero utilizada depende de la aplicación y el desempeño ingenieril requerido.

Se ha demostrado que el uso de refuerzo de fibra de acero aumenta la durabilidad al limitar el desarrollo de grietas y minimizar el ancho de las grietas, además de mejorar la respuesta a la fatiga y la resistencia al impacto. El uso de fibras de acero para extender o eliminar las juntas de control cortadas con sierra también puede ayudar a aumentar la vida útil de las superficies planas. Es un error común pensar que una solución de fibra de acero es más propensa a agrietarse y dañarse debido a la corrosión, pero se ha demostrado lo contrario en pruebas y proyectos existentes.

Tabla 1:

Resumen de los requisitos de las ordenanzas seleccionadas.

Proyecto	Año	Ubicación	Aplicación	Tamaño	Tipo de fibra	Dosis, lb/yd ³	Razón de utilización
Pista y calle de rodaje del aeropuerto JFK	1980	Nueva York, NY, EEUU	Pavimento y sobrecarpeta	30,000 pies ²	Acero Tipo I	85	Durabilidad, desempeño a largo plazo
Pepsi	1990	Cherryville, NC, EEUU	Pavimento	250,000 pies ²	Acero Tipo I	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Estadio de San Siro	1990	Milan, Italy	Revestimiento	77,000 pies ²	Vidrio	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Edificio de Alojamiento de la Prensa	1992	Barcelona, Spain	Façade cladding	680,000 pies ²	Vidrio	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Autopista de Clackamas	1995	Estacada, OR, EEUU	Concreto proyectado	~30 yd ³	Microfibra sintética	4.5	Seguridad, facilidad de uso, costo
Terminal de Contenedores de Maersk	1995	Algeciras, España	Pavimento	3,800,000 pies ²	Acero Tipo I	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Puente del Río Salmón	1995	Kemptown, NS, Canadá	Tablero de puente	8000 pies ²	Microfibra sintética	8	Control de agrietamiento, proyecto inicial para un puente sin acero
SIMAT	1995	Francia	Tuberías prefabricadas	—	Acero Tipo I	51	Facilidad de construcción, durabilidad a largo plazo
Enlace ferroviario del Túnel del Canal de la Mancha	1996	Reino Unido	Revestimiento de túnel	70 millas	Acero Tipo I	51	Durabilidad durante el manejo e instalación, resistencia a la corrosión.
Plaza de Postdam	1997	Alemania	Losa de Cimentación soportada sobre pilotes	754,000 pies ²	Acero Tipo I	—	Facilidad de construcción, durabilidad a largo plazo
Estación de Heathrow Express	1998	Londres, Reino Unido	Revestimiento de túnel	150,000 pies ²	Vidrio	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga

Metro Aéreo de Bangkok	1999	Bangkok, Tailandia	Barreras de sonido	490,000 pies ²	Vidrio	—	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Muelle del Puerto de Hall	1999	Hall's Harbour, NS, Canadá	Paneles prefabricados, entorno marino	~80 yd ³	Macrofibra sintética	12	Resistencia a la corrosión, durabilidad
Puente de la Autopista 67	1999	Elkhorn, WI, EEUU	Tablero de puente	812 yd ³	Macrofibra sintética	1.5	Control de agrietamiento
Tanques Sépticos de VJ Rice	1999	Bridgetown, NS, Canadá	Prefabricado	—	Macrofibra sintética	11.5	Reemplazo de la malla electrosoldada
Puente Aberg Packers	2000	Madison, WI, EEUU	Tablero de puente	180 yd ³	Acero Tipo V	80	Reducir el agrietamiento por transferencia
Casa de báscula de la Cantera Halawa	2000	Honolulu, HI, EEUU	Pavimento	—	Macrofibra sintética	7.5	Durabilidad, resistencia a la abrasión
IKEA	2001	Suecia	Piso sobre pilotes, almacén	215,000 pies ²	Acero Tipo I	—	Losa sólo de fibra, soportada por pilotes facilidad de construcción
Lago Ponchartrain/ US-11	2001	Nueva Orleans, LO EEUU	Sobrecarpeta sobre el tablero de puente	5 millas	Acero Tipo V	88	Durabilidad, refuerzo 3D
Sobrecarpeta en el Loop 610	2002	Houston, TX, EEUU	Pavimento	10 millas	Mezcla	75	Producción acelerada, durabilidad
Museo Nacional del Aire y el Espacio	2002	Chantilly, VA, EEUU	Losa sobre terreno	500,00 pies ²	Acero Tipo I	50	Durabilidad, control de agrietamiento, capacidad de carga
Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey	2002	Ciudad de Nueva York, NY, EEUU	Pavimento	—	Macrofibra sintética	5	Reparación rápida, se deseó menos agrietamiento
Ejército danés/ Aeropuerto de Aalborg	2003	Aalborg, Dinamarca	Pavimento	50,000 pies ²	Acero Tipo I	51	Facilidad de uso, costo, durabilidad, resistencia a la corrosión
Mina de Cobre	2005	Los Pelambres, Chile	Concreto proyectado, subterráneo	22,200 yd ³	Macrofibra sintética	11.8	Durabilidad a largo plazo
Ghent Rd. RTA	2005	Akron, OH, EEUU	Pavimento	25,000 pies ²	Macrofibra sintética	5.5	Rapidez de construcción, sustitución de la malla electrosoldada, durabilidad
Puente de la Calle Mason	2005	Green Bay, WI, EEUU	Sobrecarpeta sobre el tablero de puente	—	Macrofibra sintética	8	Resistencia al ingreso de cloruros, corrosión, y desgaste general
Tratamiento de Agua Quartz Hill	2006	Palmdale, CA, EEUU	Concreto proyectado	4500 yd ³	Mezcla	5	Facilidad de uso, resistencia a la corrosión
Acueducto de Belfast	2007	Belfast, Ireland	Revestimiento de túnel	41,570 yd ³	Acero Tipo I	51	Durabilidad durante el manejo e instalación, resistencia a la corrosión
Ruta Y y Puente 00	2007	Columbia, MO, EEUU	Reemplazos del tablero del puente	900 yd ³	Mezcla	7.5	Resistencia a la corrosión, durabilidad
Canal base de agua USMC	2007	29 Palms, CA, EEUU	Pavimentado con encofrado deslizante	1800 yd ³	Mezcla	5	Facilidad de uso, resistencia a la corrosión
Intersección Calle 1ra	2008	Abilene, TX, EEUU	Pavimento	2500 pies ²	Mezcla	36	Durabilidad, rentabilidad
Parqueo Aeropuerto de Abilene	2008	Abilene, TX, EEUU	Pavimento	200,000 pies ²	Mezcla	36	Refuerzo alternativo
Loop de la Interestatal 220	2008	Jackson, MS, EEUU	Base de barandilla central	2000 pies ³	Macrofibra sintética	3	Producción acelerada, durabilidad
Instalación de vagones NCA	2008	Tuscumbia, AL, EEUU	Instalación industrial	3,200,000 pies ²	Acero Tipo I	50	Producción acelerada, durabilidad
Almacén Comercial	2012	Polinyà, España	Losa sobre el terreno	15,000 pies ²	Vidrio	9	Facilidad de construcción, control de agrietamiento
Hangar de jet privado	2013	Passo Fundo, Brasil	Losa sobre el terreno	8600 pies ²	Vidrio	9	Control de agrietamiento

Nota: 1 pies² = 0.09 m²; 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³; 1 yd³ = 0.76 m³; 1 milla = 1.6 km

Proyectos duraderos con fibras de acero

La construcción del pavimento de la Terminal de Contenedores de Maersk en Algeciras, España, comenzó en 1995. Este proyecto de 3.8 millones de pies² (353,000 m²) utilizó una solución de fibra de acero Tipo I para la carga anticipada y los requisitos de rendimiento a largo plazo (Fig. 1). Sigue en uso hoy en día y muestra un rendimiento excelente.

Los tubos prefabricados de concreto pueden resultar difíciles de producir a escala con refuerzo convencional. Para agilizar la programación de la construcción y mejorar el desempeño por durabilidad a largo plazo, SIMAT en Francia ha estado utilizando 50 lb/yd³ (30 kg/m³) de soluciones reforzadas con fibra de acero Tipo I para sus elementos subterráneos desde 1995 (Fig. 2). Esta solución ha tenido tanto éxito que sigue siendo una práctica estándar para SIMAT en la actualidad.

En 2002, el Museo Nacional del Aire y el Espacio en Chantilly, VA, EE. UU., se construyó con un diseño de piso sin juntas con un total de 500,000 pies² (46,450 m²) utilizando refuerzo superior continuo más 50 lb/yd³ (30 kg/m³) de fibras de acero Tipo I. Esta solución fue elegida para requisitos de carga pesada a largo plazo y para eliminar juntas visibles en el piso. Entre otras cargas, esta losa soporta un transbordador espacial retirado y todavía está en uso en la actualidad.

El proyecto de enlace ferroviario del Túnel del Canal de la Mancha en el Reino Unido es uno de los proyectos de construcción más grandes de Europa, con aproximadamente 70 millas (113 km) de largo y un diámetro interno de 23.5 pies (7.2 m). La construcción comenzó en 1996; el túnel se construyó con concreto de 60 MPa (8700 psi) y 50 lb/yd³ (30 kg/m³) de fibras de acero Tipo I para mayor durabilidad durante el manejo e instalación, y resistencia a la corrosión a largo plazo.

En 2001 se construyó un proyecto de losa de almacén para IKEA en Suecia en suelos pobres, donde era necesario remediarlos y la losa tenía que extenderse entre elementos de soporte del suelo. Este proyecto incluyó una solución de solo fibra Tipo I para el área de 215,000 pies² (20,000 m²) y todavía está en servicio.



Fig. 1: Pavimento con fibras de acero Tipo I en la Terminal de Contenedores de Maersk, Algeciras, España, construido a finales de los años 1990.



Fig. 2: Desde 1995 en Francia, SIMAT ha fabricado tubos prefabricados con fibras de acero.

Macrofibras Sintéticas

La inclusión de macrofibras sintéticas en estructuras de concreto puede maximizar la durabilidad y la vida útil y ofrece una reducción o eliminación potencial del refuerzo de acero convencional en determinadas aplicaciones. Las macrofibras sintéticas tienen diámetros superiores a 0.01 pulgadas (0.3 mm) y longitudes que varían de 1.5 a 2.5 pulgadas (40 a 65 mm). Estos productos cumplen con la norma ASTM D7508/D7508M⁷, proporcionan una menor huella de carbono y ofrecen una alternativa más segura, asequible y accesible al refuerzo de acero convencional, especialmente teniendo en cuenta el tiempo de instalación, inspección y entorno de trabajo.

Estas mejoras en la vida útil y reducciones de materiales presentan oportunidades para la construcción de viviendas e infraestructura que contribuyen a proteger el medio ambiente y garantizar la seguridad pública, la salud, la capacidad de servicio y la rentabilidad durante todo el ciclo de vida.

Las macrofibras sintéticas ofrecen resistencia mejorada a químicos, cloruros y álcalis; propiedades mecánicas mejoradas (dureza; resistencia a la flexión, a la tracción y al impacto; ductilidad); reducción del ancho y la propagación de las grietas que inhiben los modos de falla debidos a la corrosión por carbonatación; corrosión inducida por cloruro; reacción álcali-sílice (RAS); y otros mecanismos de deterioro, como el desconchado térmico.

Proyectos duraderos con macrofibras sintéticas

El tablero del puente Mason Street en Green Bay, WI, EE. UU., demuestra el uso de macrofibras sintéticas para mejorar el rendimiento y la durabilidad a largo plazo. Con una dosis de macrofibra sintética de 8 lb/yard³ (5 kg/m³), esta capa de rodadura del tablero del puente fue reconstruida en 2005 para la rehabilitación requerida después de que una sobrecarpeta anterior se hubiera deteriorado debido al ingreso de cloruro, la corrosión y el desgaste general. En 2018, después de más de 13 años en servicio, el tablero del puente sigue funcionando bien (Fig. 3).

VJ Rice Concrete en Bridgetown, NS, Canadá, comenzó a utilizar macrofibras sintéticas en 1997 para reemplazar la malla electrosoldada en fosas sépticas de concreto prefabricado. Luego de una prueba de carga y un programa de impermeabilización para validar una dosis alta de 11.5 lb/yard³ (6.8 kg/m³) para reemplazar el refuerzo de acero convencional, estos tanques han estado en servicio durante más de 20 años.

La Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey construyó una carretera de macrofibra sintética en 2002 utilizando una dosis de 5 lb/yard³ (3 kg/m³) para mejorar la resistencia a la fatiga y al agrietamiento y permitir una reparación rápida de una carretera muy transitada que se aleja del puerto y la terminal de embarque. Esta vía todavía está en servicio hoy y exhibe un excelente desempeño.

El pavimento para la casa de báscula en la cantera Halawa de Hawaii Cement en Honolulu, Hawaii, EE. UU., se construyó en el año 2000 utilizando 7.5 lb/yard³ (4.5 kg/m³) de macrofibras sintéticas para proporcionar resistencia a la abrasión y durabilidad frente a cargas repetidas diarias provenientes del transporte de agregados en camiones completamente cargados. Después de más de 20 años en servicio y soportando millones de toneladas de carga de agregados, esta losa sigue en servicio y continúa superando las expectativas.



Fig. 3: Vistas del tablero del puente Mason Street en Green Bay, WI, EE. UU., que fue construido con macrofibras sintéticas: (a) durante la construcción en 2005; y (b) después de más de 13 años de servicio.

Microfibras Sintéticas

Las microfibras sintéticas también cumplen con ASTM D7508/D7508M. Pueden estar en forma de monofilamento, multifilamento o fibrilada. La adición de microfibras sintéticas en pavimentos de concreto es un método eficaz para controlar el agrietamiento por contracción plástica al reducir el asentamiento plástico y proporcionar un control superior de las microfisuras en la superficie. Esto da como resultado una extensión de la vida útil con un mantenimiento reducido. Estas fibras son relativamente finas con un diámetro típico de 0.0004 a 0.012 pulgadas (0.01 a 0.3 mm) y se usan en dosis relativamente pequeñas, que oscilan entre 0.5 y 1.5 lb/yd³ (0.3 y 0.9 kg/m³) o 0.03 a 0.1% por volumen. En la mayoría de los casos, se pueden utilizar microfibras sintéticas fibriladas para reemplazar la malla electrosoldada de calibre ligero, generalmente en una dosis de 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³).

Además del beneficio de desempeño que supone controlar el agrietamiento por contracción plástica, las microfibras sintéticas también se utilizan en segmentos de revestimiento de túneles de concreto para reducir el riesgo de desconchado explosivo en caso de incendio. Cuando la temperatura del concreto aumenta sustancialmente, la humedad dentro del concreto pasa a un estado de vapor y puede provocar un aumento de presión en el concreto. Si no hay forma de que escape la presión, la fuerza dentro del concreto puede exceder la capacidad de tracción del concreto y provocar un desconchado explosivo. Las microfibras sintéticas generalmente se derriten a altas temperaturas y crean un sistema de huecos capilares, que puede proporcionar un canal para que escape el vapor, aliviando así el riesgo de desconchado explosivo.

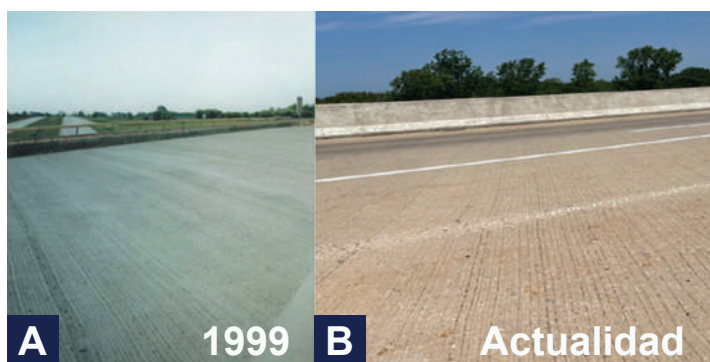


Fig. 4: Vistas del tablero de un puente de una carretera estatal en Elkhorn, WI, que se construyó con microfibras sintéticas fibriladas: (a) durante la construcción en 1999; y (b) después de más de 22 años en servicio.

Proyecto duradero con microfibras sintéticas

En 1999, se construyó un puente de una carretera estatal en Elkhorn, WI, utilizando 812 yd³ (621 m³) de CRF con 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³) de microfibras sintéticas fibriladas para el control de grietas por contracción plástica. Como se muestra en la Fig. 4, el puente permanece en excelentes condiciones después de más de 22 años en servicio.

Fibras Híbridas o Mixtas

Según lo definido por ACI PRC-544.3-08, Sección 1.4.3, las fibras híbridas o mezcladas son combinaciones de tamaños de fibra, materiales de

fibra o ambos, donde en compuestos híbridos bien diseñados, existe una interacción positiva entre las fibras y el desempeño resultante del CRF híbrido excede la suma de los rendimientos de las fibras individuales. Las categorías de fibras que se sabe que proporcionan sinergias son los híbridos basados en la respuesta constitutiva de la fibra, los híbridos basados en las dimensiones de la fibra y los híbridos basados en la función de la fibra. Los híbridos basados en la función de la fibra incluyen la combinación de microfibras sintéticas con macrofibras de acero, o microfibras sintéticas con macrofibras sintéticas, donde un tipo de fibra está destinado a mejorar las propiedades frescas y de edad temprana, como la facilidad de producción y el control de grietas por contracción plástica, mientras que la segunda fibra conduce a una mejora en las propiedades mecánicas. Las aplicaciones de fibras mezcladas incluyen tableros de puentes, pavimentos, sobrecarpetas, cimientos de losas estructurales e intersecciones.



Fig. 5: Vistas del pavimento en Abilene, TX, EE. UU., que fue construido con una mezcla de acero y fibras sintéticas: (a) poco después de la construcción en 2008; y (b) después de 15 años de servicio.

Proyecto duradero con fibra mezclada

Un proyecto duradero que incluye fibras mezcladas es el de la intersección de 1st Street en el centro de Abilene, TX, EE.UU., que ha estado en servicio desde el 2008. Esta intersección de 2,500 pies² (230 m²), mostrada en la Fig. 5, fue reforzada con 34.5 lb/yd³ (20.4 kg/m³) de fibras de acero Tipo V y 1.5 lb/yd³ (0.9 kg/m³) de microfibras sintéticas. La mezcla fue elegida por durabilidad y efectividad de costo. Cuando fue evaluada 14 años después, no existían signos de daño o reparaciones necesarias.

Fibras de Vidrio

El concreto reforzado con fibras de vidrio (CRFV) contiene fibras de vidrio resistentes a los álcali (RA) de acuerdo a la ASTM C1666/ C1666M-08(2023)⁸, que cubre los requerimientos mínimos para que las fibras de vidrio RA destinadas a ser utilizadas en CRFV por pulverización, premezcla de CRFV, CRF y otros productos a base de cemento para garantizar su durabilidad a largo plazo en compuestos basados en cemento. Las fibras de vidrio RA para concreto reforzado suelen ser hebras de fibras de vidrio cortadas y dispersas aleatoriamente en el concreto usando procedimientos de mezcla común. Las fibras de vidrio pueden ser hilos integrales construidos a partir de una hebra de filamentos de vidrio o filamentos dispersables. Las fibras pueden tener hasta 36 mm (1.4 pulg.) de largo con una variedad de relaciones de aspecto para combinarse con diferentes aplicaciones. El rango de dosis va desde 1 lb/ yd³ (0.6 kg/m³) para fácil aplicación, hasta 5% por volumen (200 lb/ yd³ o 120 kg/m³) para aplicaciones altamente técnicas. La dosis de las fibras de vidrio depende de la aplicación y el desempeño ingenieril requerido.

El uso de fibras de vidrio ha demostrado incrementar la durabilidad al limitar desarrollo de grietas y minimizar anchos de grietas.

Proyectos durables con fibras de vidrio

A En 2012 se construyó un almacén comercial de 15,000 pies² (1,400 m²) en Polinyà, España, con 8.5 lb/ yd³ (5 kg/m³) de macrofibras de vidrio RA para carga anticipada y requisitos de rendimiento a largo plazo y 1 lb/ yd³ (0,6 kg /m³) de microfibras de vidrio dispersables RA para reducir el agrietamiento por contracción plástica.

En 1990, el CRFV fue seleccionado para proporcionar durabilidad y control de grietas para los paneles exteriores de la renovación del Estadio San Siro en Milán, Italia. Se produjeron más de 1,000 paneles con un total de aproximadamente 77,000 pies² (7,150 m²) para proporcionar muros cortina y revestimiento a las cuatro torres que sostienen las vigas del techo. Los paneles arquitectónicos de CRFV normalmente contienen un mínimo de 4% de fibras de vidrio AR por masa de la mezcla total.

Observaciones Finales

La evidencia de la durabilidad a largo plazo asociada con el refuerzo de fibra se puede encontrar no sólo aquí, sino también en estructuras construidas a lo largo de la historia. Desde la antigüedad, por ejemplo, se ha utilizado paja para reforzar ladrillos cocidos al sol y crin de caballo para reforzar morteros de mampostería y yesos³. Monumentos a los beneficios del refuerzo con fibras incluyen el Coliseo Romano en Italia y los muros del Álamo en Texas. Con avances continuos en la tecnología y el diseño de la fibra, el CRF ofrece la durabilidad a largo plazo que es un componente esencial en la búsqueda de la industria para reducir el carbono incorporado asociado con el entorno construido y puede ayudar a garantizar que las construcciones de hoy sean los monumentos del mañana.

Referencias

1. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.3-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
2. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.4-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 44 pp.
3. ACI Committee 544, "Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI PRC-544.1-96) (Reapproved 2009)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 66 pp.
4. ASTM C1116/C1116M-23, "Standard Specification for Fiber- Reinforced Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 5 pp.
5. ACI Committee 544, "Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete (ACI PRC-544.5-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 31 pp.
6. ASTM A820/A820M-22, "Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 4 pp.
7. ASTM D7508/D7508M-20, "Standard Specification for Polyolefin Chopped Strands for Use in Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 4 pp.
8. ASTM C1666/C1666M-08 (Reapproved 2023), "Standard Specification for Alkali Resistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber-Reinforced Concrete and Cement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 4 pp.

Seleccionado por los editores para el interés del lector.



Corina-Maria Aldea, FACI, es ingeniera principal de materiales en WSP E&I Canada Ltd. Tiene más de 30 años de experiencia internacional técnica, de investigación, de industria, de consultoría, de gestión y académica combinadas en diversas áreas de la ingeniería civil y de materiales de construcción. Es Presidenta del Subcomité 544-F del ACI, CRF-Durabilidad y secretaria del 549, Productos Cementantes Armados Delgados y Ferrocemento. Aldea también es miembro de los Comités 233 de ACI, Escoria Molida en Concreto; 239, Concreto de Ultra Alto Desempeño; 523, Concreto Celular; y 544, Concreto Reforzado con Fibras. Ha realizado numerosas presentaciones en conferencias y otras contribuciones a organizaciones internacionales, como ACI, RILEM, Materials Research Society (MRS) y American Ceramic Society (ACerS).



Carl A. Labbe III, miembro del ACI, es Ingeniero de Producto Sénior de Sika Corporation. Lleva más de 33 años desarrollando y fabricando fibras sintéticas para refuerzo de concreto. Lideró el desarrollo de la primera especificación de fibra de poliolefina para concreto del fabricante ASTM (ASTM D7508/ D7508M), así como la última revisión de ASTM C1116/C1116M. Labbe ha obtenido múltiples certificaciones ACI. Recibió su licenciatura en gestión industrial y figura en una patente internacional de fibra.



Claire Gandee, miembro del ACI, es directora de ingeniería de ventas del grupo de productos de construcción de Norteamérica de Bekaert Corporation. Es miembro de los Subcomités 544-C de ACI, Pruebas CRF; 544-D, CRF-Usos Estructurales; y 544-F, CFR-Durabilidad.



Michael A. Mahoney, FACI, es Director de Mercadeo y Tecnología de Concreto Reforzado Con Fibra de The Euclid Chemical Company. Es miembro del Comité 544 de ACI, Concreto Reforzado Con Fibra, y de cuatro de sus subcomités.



Beverly Heasley, miembro de ACI, es ingeniera técnica de FORTA Corporation. Es Presidenta del Subcomité 544-B del ACI, Educación en CRF, y miembro del Comité 544 de ACI, Concreto Reforzado con Fibra.



Matthew A. Offenberg, FACI, es el Gerente de Mercado de América del Norte, Soluciones de Concreto en Owens Corning. Es miembro del Comité 552 de ACI, Inyección de Cemento, y participa activamente en varios otros comités de ACI como miembro asociado.



Heidi Helmink, miembro del ACI, es Directora de Marketing de Concreto e Impermeabilización de SIKKA Corporation. Es miembro del Comité 544 del ACI, Concreto Reforzado con Fibra, y de tres de sus subcomités.



Steve Schaef, miembro de ACI, es Gerente de Ingeniería, Desarrollo y Servicios Técnicos en Master Builders Solutions Admixtures US, LLC. Es presidente del Subcomité 544-C de ACI, Pruebas CRF y miembro de ACI. También es parte de los comités 215, Durabilidad del Concreto, y 544, Concreto Reforzado con Fibras; y Subcomités 506-B de ACI, Shotcreting-Reforzado con Fibra y Durabilidad CRF 544-F.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de República Dominicana

Título: Concreto Reforzado con Fibras para Estructuras Duraderas a Largo Plazo — Casos de Estudio



*Traductora:
Ing. Sarah Miranda*



*Revisor Técnico:
Dr. Fray F.
Pozo-Lora*