

# Doing More and Doing Better with Fiber-Reinforced Shotcrete

Design and testing comparison

by Antoine Gagnon and Marc Jolin

Over the years, fiber-reinforced shotcrete (FRS) has proven to be a very effective and versatile material. It plays an essential and often unique role in ground support systems in mines and many tunneling projects, and it makes possible the safe and economical construction of various civil structures. Simply put, FRS performs well in situations where installing conventional reinforcing bars or cast fiber-reinforced concrete (FRC) would be complex and tedious or simply unsafe. However, we believe that FRS does not get the consideration it deserves. This article will discuss how FRS can achieve more recognition and how we can do better in exploiting its impressive properties and capturing its full potential.

## What Makes FRS So Interesting

FRS is a composite material created by pneumatically projecting a concrete mixture and fibers onto a surface. More formally, a mixture of cement, water, aggregate, and admixtures are combined with discrete, discontinuous filaments comprised of a material with a high tensile strength and/or a high toughness. The performance of FRS obviously comes from the quality of the shotcrete (its constituents and process) and the performance of the fibers, but also from the interaction between the fibers and the shotcrete matrix. Unfortunately, the latter aspect is too often overlooked when designing an FRS mixture.

FRS is subject to the actions that are specific to shotcrete. In the process of placing shotcrete, the material is sprayed at high velocity and builds up on a receiving surface. The consolidation energy of the material impacting the surface produces compaction that allows shotcrete ingredients to work together efficiently through a strong packing density.<sup>1</sup> Also,

the impact tends to give a preferential orientation to the fibers that is generally beneficial in the structure because the fibers are mainly oriented in a plane that is perpendicular to the nozzle axis and parallel to the surface sprayed.<sup>2,3</sup> We recently studied this in our Shotcrete Laboratory at Université Laval, Québec City, QC, Canada, using the fiber orientation factor  $\alpha$ , which is the average, for all possible fiber orientations, of the projected fiber length in the tensile stress direction to the fiber length itself.<sup>4</sup> For a standard wet-mix shotcrete mixture, we found that  $\alpha = 0.648$  for tension in a plane perpendicular to the nozzle and  $\alpha = 0.223$  for tension in a plane perpendicular to the nozzle axis. Because cracks generally form perpendicularly to the former plane, it is clear that most of the fibers in FRS are in the best position to effectively transfer stress across a crack.

The flexibility of the shotcrete placement process also allows the buildup of a uniform thickness of FRS on surfaces that are naturally uneven. Because it is designed to adhere to vertical and even overhead surfaces, shotcrete does not need to be supported by formwork. For example, it is possible to follow the shape of an excavation without having to unnecessarily overfill the cavities. This is particularly cost-effective and allows for fast construction and fast reentry of work personnel in underground environments. Compared to other construction methods and other ground support systems, it is generally considered much faster and much simpler.<sup>5</sup>

Getting the most out of FRS is about finding the right “composite” for the situation or application considered. It is also a question of finding the optimal interaction between fibers and shotcrete. This varying combination allows for a wide range of possibilities in terms of mixtures and applications. Fortunately, our level of understanding has

improved over the past decades—the rheology and the placement process of shotcrete are now better controlled, which opens the doors to many new applications. It is also possible to use the information that applies more generally to FRC by adapting it to the context of the shotcrete placement process. After all, FRS is FRC.

## The Consideration That It Deserves

Because FRS helps us achieve so much in so many contexts, it seems appropriate to take some time to make sure it is specified to perform at its best. As for all concrete, this means that special care should be given to the choice of ingredients, mixture proportions, testing methods, and design approaches.

For shotcrete, the right choice of ingredients is essential to achieve the desirable properties in both fresh and hardened states. The aggregate size distribution is a key parameter in this matter; a good distribution will make a mixture that is both pumpable and sprayable. This is particularly important for FRS, as the introduction of fibers tends to reduce the workability of shotcrete. Whenever possible, it is better to focus on good base materials to reach the right pumping and spraying behaviors rather than having to rely only on chemical admixtures and risk incorrect use and unnecessary costs.<sup>6,7</sup>

FRS should be considered a “dynamic” material because the proportions of its components may change during the placement process. The effect of rebound—shotcrete material that bounces away from the surface—is responsible for this shift of proportions. In fact, this phenomenon is usually minimized by adequate tuning of the equipment and by maintaining a proper consistency of the material. This is always true for shotcrete, but it can also affect the fiber content when working with FRS because fibers behave like elongated aggregates and can bounce off the surface.<sup>8</sup> Indeed, one must understand that the final fiber content of the in-place material is usually different from the initial fiber content.<sup>2,9</sup>

FRS is used in a wide range of contexts with different loading conditions. It is sometimes used in challenging environments where the loading conditions are complex; deep mines and highly stressed ground openings are great examples. Therefore, it is essential to give appropriate consideration to the test method that will be used for the evaluation of FRS. This is particularly true considering the number of standard test methods available:

- ASTM C1399/C1399M, “Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete”;
- ASTM C1550, “Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)”;
- ASTM C1609/1609M, “Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading)”;
- UNE 83-515, “Fibre Reinforced Concrete. Determination of Cracking Strength, Ductility and Residual Tensile

Strength. Barcelona Test”<sup>10</sup>;

- EN 14488-5<sup>11</sup> for determination of energy absorption capacity of fiber-reinforced slab specimens;
- EN 14651<sup>12</sup> for measuring the flexural tensile strength;
- “EFNARC Three Point Bending Test on Square Panel with Notch”<sup>13</sup>;
- Norwegian round panel test<sup>14</sup>; and
- Grimstad and Barton.<sup>15</sup>

It is crucial to understand what information will be produced and how it will be used. Will it be used to compare with a design value, or will it be used as a quality indicator? Because different test methods do not test samples under the same conditions, it is generally hard to compare test methods directly, even though it may seem convenient. Although a given test method may show an increase in performance of a mixture, a second test method may not. This means that performance results from one test method are often not comparable to results from another test method. Finding the right test method to be used and the right way to use the information are essential steps for ensuring correct conclusions and appropriate decisions.

Particularly when working with FRS, it is important to consider and understand the idea behind the testing procedure selected. Testing a material is the same as asking a question. For example: How does this material react under the specific conditions of this test method? Subsequently, an answer to the question can be retrieved from the results, and this answer can be shared or used for design or performance evaluation. Essentially, it is crucial to understand the test (question) that is being run (asked) and the result (answer) that is collected.

For example, the compressive strength is a commonly evaluated characteristic of concrete, and it is generally a good indicator of the quality of the placement of shotcrete and the quality of its ingredients. In some applications, the compressive strength can be the only performance specification for shotcrete.<sup>16</sup> However, it is generally not a good indicator of the performance of FRS. In the typical range of fiber contents found, the compressive strength of FRS is not affected by the fibers.<sup>1</sup> Also, having the strongest concrete mixture (that is, the highest compressive strength) is not the correct approach to obtaining an FRS with the best properties (highest energy absorption, for example). In fact, the behavior of this composite comes from the interaction between the fiber and the concrete. Indeed, in an FRS composite system, a fiber that slowly pulls out of the concrete will dissipate more energy than a fiber that breaks because it is too strongly anchored. Focusing on making a strong(er) concrete is not necessarily the best way to reach an ideal composite action.

Finally, as for concrete in general, the attention given to the sampling procedure is not only necessary but also beneficial in making the appropriate decisions. As it was explained previously, the placement process of shotcrete has a strong effect on the characteristics of the in-place material. Thus, creating test specimens that are representative of the actual structure is an important aspect of the design steps, quality

control, and quality assurance. This is particularly important for FRS because the rebound of fibers and their orientation in the structure can affect the performance of the material. Luckily, many documents focus on this aspect and give guidance on the sampling procedure of shotcrete.

As a matter of fact, ACI technical committees have published multiple documents that can guide engineers, researchers, concrete producers, and contractors in the way they approach FRS. First, ACI 506R, “Guide to Shotcrete,”<sup>16</sup> is a general reference document that provides tools on the appropriate production, placement, and testing of shotcrete. Second, ACI 506.1R, “Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete,”<sup>8</sup> gives specific details about the use of fibers in shotcrete. Finally, ACI Committee 544, Fiber Reinforced Concrete, offers a number of documents on the subject of FRC, including a lot of information that applies to FRS.<sup>17-23</sup>

### Laboratory Experience

Results from a recent research program well represent the affirmation by which different wet-mix shotcrete designs respond differently to different test procedures. In this series of experiments, three different FRS mixtures were tested following two test methods on panels that are commonly used in the industry for the design and testing of FRS: ASTM C1550 and EN 14488-5.<sup>11</sup> In both test methods, a shotcrete panel is subjected at its center to a load controlled by deflection rate (Fig. 1). The peak load and energy absorption (toughness) of the FRS samples are measured in both of these procedures.

The concrete batches for all test panels had the same mixture proportions and steel fiber dosage of 25 kg/m<sup>3</sup> (shown in Table 1). However, Mixtures A, B, and C incorporated Bekaert Dramix<sup>®</sup> 3D-45/35 BL, Dramix<sup>®</sup> 4D-65/35 BG, and Dramix<sup>®</sup> 5D-65/60 BG steel fibers (shown in Table 2). A priori, these fibers should create different behaviors with the same concrete mixture proportions, as the fibers’ geometries, tensile strengths, and anchoring systems are different. Based

on the fibers’ properties, we would expect Mixture C to have better performance than Mixture B, and we would expect Mixture B to have better performance than Mixture A.

The results summarized in Table 3 show that the ASTM C1550 and EN 14488-5<sup>11</sup> test methods do not reflect identical increases in performance. Regardless of the absolute values of energy absorption, the trend is different from one test method to another. By normalizing the value of energy absorption at maximum deflection with Mixture A as a reference, it is possible to highlight this trend (Fig. 2). ASTM C1550 shows a lower increase in performance relative to the lowest value (Mixture A) compared to the increase shown with EN 14488-5.<sup>11</sup> This shows that one FRS mixture could be preferred over another, depending on the test method used to characterize the material. The results also indicate that the design process could be affected, again depending on the test method used.

The results support the idea that, because of the loading conditions, some test methods tend to be more sensitive to the fiber type, the fiber dosage, the compressive strength of the concrete, or the interaction between the shotcrete and the fibers. In this case, the EN 14488-5 test method showed a clear strength advantage of Mixture C over the other mixtures, with a 110% increase with regard to Mixture A. In contrast, the ASTM C1550 test method shows only a 71% strength advantage of Mixture C over Mixture A. It is possible that, for that specific shotcrete mixture, the square panel on continuous support (EN 14488-5<sup>11</sup>) is more sensitive to the fiber-anchoring system. These test method conditions could increase the deflection hardening behavior of Mixture B and Mixture C (both contain fibers with efficient anchoring systems). The anchor systems could also help to maintain a steady load capacity up to a 25 mm (1 in.) deflection, making the energy absorption value higher.

These conclusions mean that the choice of test method is important, as it can influence the decisions in different steps of a construction process, particularly during design. The test

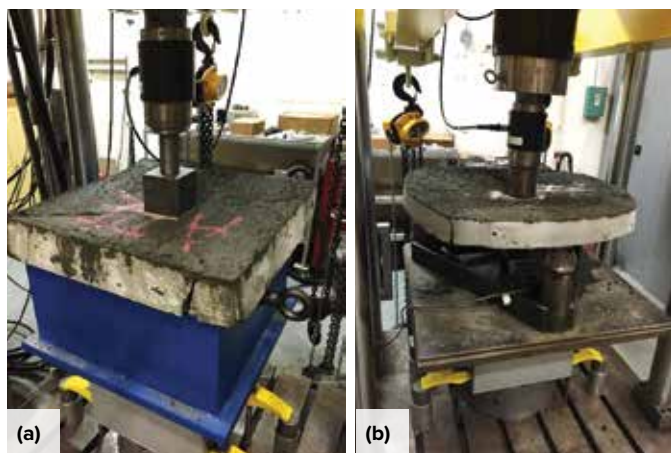


Fig. 1: Setup for bending tests: (a) ASTM C1550; and (b) EN 14488-5<sup>11</sup> test methods

Table 1: Mixture proportions for Mixtures A, B, and C

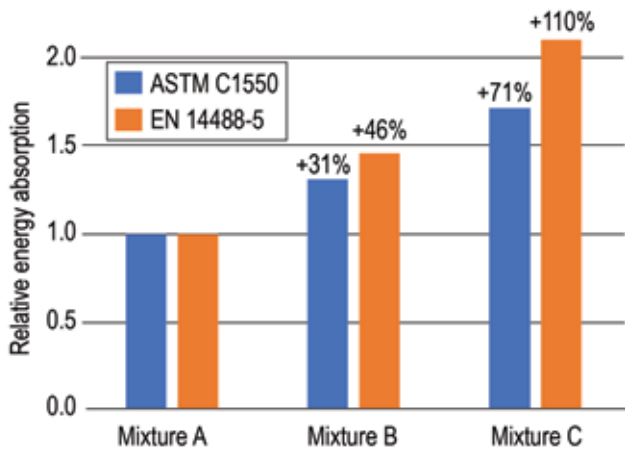
| Material   | Quantity    |
|--|-------------|
| Cement, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )                      | 377 (635)   |
| Silica fume, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )                 | 29 (49)     |
| Fly ash, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )                     | 72 (121)    |
| Fine aggregate, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )              | 1060 (1787) |
| Coarse aggregate, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )            | 568 (957)   |
| Water, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )                       | 213 (359)   |
| Steel fiber, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )                 | 25 (42)     |
| Air-entraining admixture, mL/m <sup>3</sup> (fl oz/yd <sup>3</sup> ) | 400 (10.3)  |
| Water-reducing admixture, mL/m <sup>3</sup> (fl oz/yd <sup>3</sup> ) | 400 (10.3)  |

**Table 2:**  
Bekaert fiber properties in Mixtures A, B, and C

| Fiber properties            | Mixture A          | Mixture B          | Mixture C          |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Type                        | Dramix 3D-45/35 BL | Dramix 4D-65/35 BG | Dramix 5D-65/60 BG |
| Length, mm (in.)            | 35 (1.4)           | 35 (1.4)           | 60 (2.4)           |
| Aspect ratio                | 45                 | 65                 | 65                 |
| Tensile strength, MPa (psi) | 1225 (177,700)     | 1850 (268,300)     | 2300 (333,600)     |
| Anchoring system            | 3-face hook        | 4-face hook        | 5-face hook        |

**Table 3:**  
Summarized results from properties at fresh state and hardened state (28 days)

| Properties  | Mixture A                  | Mixture B   | Mixture C   |     |
|---|----------------------------|-------------|-------------|-----|
| Slump per ASTM C143/C143M, mm (in.)   | 120 (4.75)                 | 100 (4.00)  | 55 (2.25)   |     |
| Air content per ASTM C231/C231M before pumping and spraying, %                        | 6.8                        | 9.4         | 7.4         |     |
| Average compressive strength per ASTM C1604/C1604M, MPa (psi)                         | 49.0 (7110)                | 45.4 (6580) | 51.7 (7500) |     |
| Average peak load per ASTM C1550, N   | 29,600                     | 27,100      | 30,420      |     |
| Average energy absorption per ASTM C1550, J   | 5 mm (0.2 in.) deflection  | 90          | 101         | 118 |
|   | 10 mm (0.4 in.) deflection | 115         | 183         | 245 |
|   | 20 mm (0.8 in.) deflection | 244         | 300         | 409 |
|   | 40 mm (1.6 in.) deflection | 349         | 456         | 597 |
| Average peak load per EN 14488-5 <sup>11</sup> , kN                                   | 61                         | 67          | 91          |     |
| Average energy absorption per EN 14488-5 <sup>11</sup> at 25 mm (1 in.) deflection, J | 1010                       | 1470        | 2120        |     |



**Fig. 2:** Relative energy absorption values from ASTM C1550 and EN 14488-5 testing at maximum deflection for FRS with three different fibers at the same dosage

method should represent the actual loading conditions in which FRS will be used to truly evaluate its performance. It also means that, once a test method has been chosen for a project, it should be the only test method used throughout the entire project, from the initial design of the mixture to the quality control on-site—unless a clear correlation has been identified for a specific mixture.

Obviously, difficulties arise when the time comes to select

an appropriate test method to work with. Before doing so, the engineer must not only reflect on the objective(s) of the test (including design, quality assurance, quality control, and research and development) but also identify a test method that will allow the engineer to truly discriminate between successful and meaningful results.

### Conclusions

There is no doubt that FRS is applied using a unique placement process that yields a complex material. The rheology of the fresh shotcrete, the pumping aspects, and the consolidation process are all examples of what influences the in-place material. Although a good understanding is required to design and specify shotcrete, the knowledge is fortunately there for us to use. Besides, the complexity surrounding FRS is what makes it so versatile and useful. Indeed, when using the proper tools and materials, the possibilities are endless. Therefore, it is essential to use the information that is available and give FRS the consideration that it deserves. Many challenges we must overcome remain, but this is how we will be able to use this effective tool at its full potential.

### Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support of Bekaert, Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), and Fonds de Recherche du Québec—Nature et Technologies (FRQNT).

## References

1. Bentur, A., and Mindess, S., *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2006, 624 pp.
2. Armelin, H.S., and Helene, P., "Physical and Mechanical Properties of Steel-Fiber Reinforced Dry-Mix Shotcrete," *ACI Materials Journal*, V. 92, No. 3, May-June 1995, pp. 258-267.
3. "Guideline on the Applicability of Fibre-Reinforced Shotcrete for Ground Support in Mines," *MIGS III WP 24 Report*, Nordic Rock Tech Centre, 2019, 53 pp.
4. Soroushian, P., and Lee, C.-D., "Distribution and Orientation of Fibers in Steel Fiber Reinforced Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 87, No. 5, Sept.-Oct. 1990, pp. 433-439.
5. Vandewalle, M., "Use of Steel Fibre Reinforced Shotcrete for the Support of Mine Openings," *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, V. 98, No. 3, May/June 1998, pp. 113-120.
6. Burns, D., "Characterization of Wet-Mix Shotcrete for Small Line Pumping," MS thesis, Department of Civil Engineering, Université Laval, Québec City, QC, Canada, 2008, 119 pp.
7. Jolin, M.; Melo, F.; Bissonnette, B.; Power, P.; and Demnard, E., "Evaluation of Wet-Mix Shotcrete Containing Set-Accelerator and Service Life Prediction," *Proceedings: Shotcrete for Underground Support XII*, M. Lu, O. Sigl, and G. Li, eds., Singapore, Oct. 2015, 13 pp.
8. ACI Committee 506, "Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete (ACI 506.1R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 14 pp.
9. Jolin, M.; Lemay, J.-D.; Ginouse, N.; Bissonnette, B.; and Blouin-Dallaire, É., "The Effect of Spraying on Fiber Content and Shotcrete Properties," *Proceedings: Shotcrete for Underground Support XII*, M. Lu, O. Sigl, and G. Li, eds., Singapore, Oct. 2015, 15 pp.
10. UNE 83515:2010, "Hormigones con Fibras. Determinación de la Resistencia a Fisuración, Tenacidad y Resistencia Residual a Tracción. Método Barcelona" (Fibre Reinforced Concrete. Determination of Cracking Strength, Ductility and Residual Tensile Strength. Barcelona Test), Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Madrid, Spain, 2010, 10 pp.
11. EN 14488-5, "Testing Sprayed Concrete—Part 5: Determination of Energy Absorption Capacity of Fibre Reinforced Slab Specimens," European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006, 10 pp.
12. EN 14651, "Test Method for Metallic Fibre Concrete. Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality [LOP], Residual)" European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2007, 19 pp.
13. "EFNARC Three Point Bending Test on Square Panel with Notch," EFNARC, June 2011, 12 pp.
14. "Publication No. 7: Sprayed Concrete for Rock Support," Norwegian Concrete Association, Oslo, Norway, 2011, 103 pp.
15. Grimstad, E., and Barton, N., "Updating the Q-System for NMT," *Sprayed Concrete: Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support*, R. Kompen, O. Opsahl, and K. Berg, eds., International Symposium on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway, Oct. 1993, 464 pp.
16. ACI Committee 506, "Guide to Shotcrete (ACI 506R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 52 pp.
17. ACI Committee 544, "Report on the Measurement of Fresh State Properties and Fiber Dispersion of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.2R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 20 pp.
18. ACI Committee 544, "Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.3R-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 12 pp.
19. ACI Committee 544, "Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.4R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 39 pp.
20. ACI Committee 544, "Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.5R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 31 pp.
21. ACI Committee 544, "Report on Design and Construction of Steel Fiber-Reinforced Concrete Elevated Slabs (ACI 544.6R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 38 pp.
22. ACI Committee 544, "Report on Indirect Method to Obtain Stress-Strain Response of Fiber-Reinforced Concrete (FRC) (ACI 544.8R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 22 pp.
23. ACI Committee 544, "Report on Measuring Mechanical Properties of Hardened Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.9R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 48 pp.

Note: Additional information on the ASTM standards discussed in this article can be found at [www.astm.org](http://www.astm.org).

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Antoine Gagnon** is a PhD Student in the Department of Civil and Water Engineering at Université Laval, Québec City, QC, Canada. His research focuses on the development of tools for the design and testing of fiber-reinforced shotcrete for ground support. He has worked on shotcrete research projects with different companies in the industry. He is Chair of ACI Subcommittee 506-B, Shotcreting-Fiber-Reinforced, and a member of ACI Committees 506, Shotcreting, and 544, Fiber Reinforced Concrete. He received his bachelor's degree and his master's degree in civil engineering from Université Laval.



**Marc Jolin**, FACI, is a Professor in the Department of Civil and Water Engineering at Université Laval. He is Chair of ACI Subcommittee 506-L, Liaison Subcommittee; past Chair of ACI Committees 506, Shotcreting, and C660, Shotcrete Nozzleman Certification; Secretary of ACI Committee C661, Shotcrete Inspector Certification; and an ACI Examiner for Shotcrete Nozzleman Certification (wet- and dry-mix processes). Jolin is also a member of the American Shotcrete Association. He received his PhD from the University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.

# Haciendo más y mejor con el concreto lanzado reforzado con fibra

Comparación entre diseño y ensayos.

---

por Antoine Gagnon y Marc Jolin

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

## Qué hace el FRS tan interesante

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

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

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

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

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

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

### La consideración que merece

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

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

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

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

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

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

- ASTM C1399/C1399M “Método de ensayo estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibra”;
- ASTM C1550 “Método de ensayo estándar para la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibra (utilizando el panel redondo con carga en el centro)”;
- ASTM C1609/1609M “Método de ensayo estándar para el desempeño a flexión del concreto reforzado con fibra (utilizando la viga con carga al tercio medio)”;
- UNE 83-515 “Concreto reforzado con fibra. Determinación de la resistencia al agrietamiento, ductilidad y resistencia a la tensión residual. Ensayo Barcelona”<sup>10</sup>;
- EN 14488-5<sup>11</sup> para la determinación de la capacidad de absorción de energía de vigas reforzadas con fibra

- EN 14651<sup>12</sup> para la medición de la resistencia a la flexo-tracción;
- EFNARC “Ensayo de flexión de tres puntos en panel cuadrado con muesca”<sup>13</sup>;
- Ensayo Noruego en panel redondo<sup>14</sup> y
- Grimstad and Barton<sup>15</sup>

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

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

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

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

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

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

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

Por último, el Comité 544 de ACI, Concreto lanzado con fibra, ofrece una serie de documentos sobre el tema del FRC, incluida mucha información que se aplica al FRS<sup>17-23</sup>.



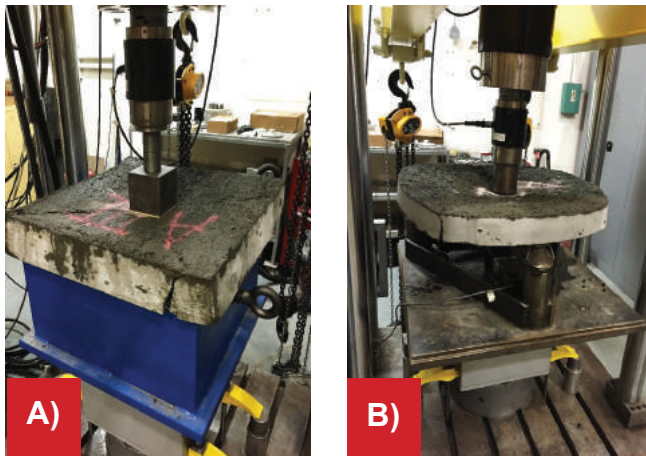


Fig. 1: Configuración del ensayo de carga: métodos de ensayo (a) ASTM C1550; and (b) EN 14488-5<sup>11</sup>

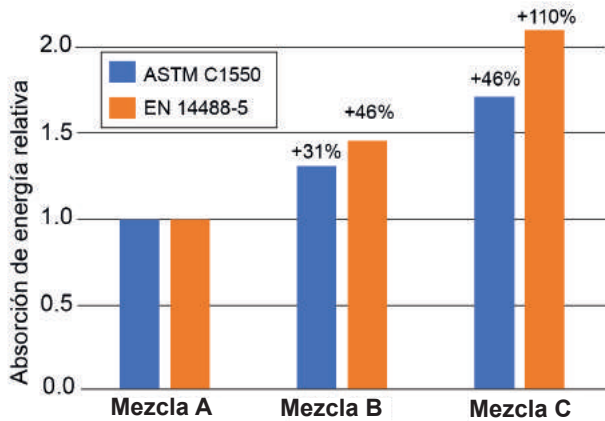


Fig. 2: Valores de absorción de energía relativa de los ensayos ASTM C1550 y EN 14488-5 a deflexión máxima para FRS con tres diferentes fibras con la misma dosis

## Experiencia de laboratorio

Los resultados de un programa de investigación reciente representan bien la afirmación por la cual los diferentes diseños de concreto lanzado de mezcla húmeda responden de manera diferente al utilizar distintos procedimientos de ensayo. En esta serie de experimentos, se probaron tres mezclas diferentes de FRS siguiendo dos métodos de ensayo en paneles que se utilizan comúnmente en la industria para el diseño y ensayo de FRS: ASTM C1550 y EN 14488-5.<sup>11</sup> En ambos métodos de ensayo, un panel de hormigón se somete a una carga centrada y controlada por la velocidad de deflexión (Fig. 1). La carga máxima y la absorción de energía (tenacidad) de las muestras de FRS se miden

en ambos procedimientos.

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

Los resultados resumidos en la Tabla 3 muestran que los métodos de ensayo ASTM C1550 y EN 14488-5<sup>11</sup> no reflejan aumentos idénticos en el desempeño. Independientemente de los valores absolutos de absorción de energía, la tendencia es diferente de un método de ensayo a otro. Al normalizar el valor de absorción de energía a la máxima deflexión con la Mezcla A como referencia, es posible resaltar esta tendencia (Fig. 2). El método ASTM C1550 muestra un menor aumento en el desempeño relativo al valor más bajo (Mezcla A) en comparación con el incremento mostrado con el método EN 14488-5.<sup>11</sup> Esto muestra que una mezcla de FRS podría preferirse a otra, dependiendo del método de ensayo utilizado para caracterizar el material. Los resultados también indican que el proceso de diseño podría verse afectado, de nuevo dependiendo del método de ensayo utilizado.

Los resultados apoyan la idea de que, debido a las condiciones de carga, algunos métodos de ensayo tienden a ser más sensibles al tipo de fibra, la dosis de fibra, la resistencia a la compresión del concreto o la interacción entre el concreto lanzado y las fibras. En este caso, el método de ensayo EN 14488-5 mostró una clara ventaja de resistencia de la Mezcla C sobre las otras mezclas, con un aumento del 110% con respecto a la Mezcla A. Por el contrario, el método de ensayo ASTM C1550 muestra solo una ventaja de resistencia del 71% de la Mezcla C sobre la Mezcla A. Es posible que, para esta mezcla específica de concreto lanzado, el panel cuadrado con un soporte continuo (EN 14488-5<sup>11</sup>) sea más sensible al sistema de anclaje de fibras.

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

## Tablas

**Tabla 1:**

Proporciones de mezcla para las Mezclas A, B y C

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

**Tabla 2:**

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

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

**Tabla 3:**

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

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

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

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

## Conclusiones

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

## Agradecimientos

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

## Referencias

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

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

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

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

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

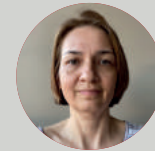
22. ACI Committee 544, "Report on Indirect Method to Obtain Stress- Strain Response of Fiber-Reinforced Concrete (FRC) (ACI 544.8R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 22 pp.

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

Nota: Se puede encontrar información adicional sobre las normas de ASTM discutidas en este artículo en [www.astm.org](http://www.astm.org).

### La traducción de este artículo correspondió a la Sección Costa Rica

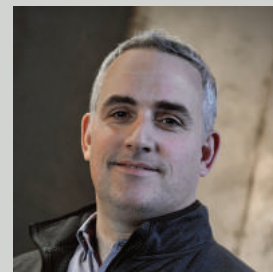
*Título: Haciendo más y mejor con el concreto lanzado reforzado con fibra*



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



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



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