



The light rail station after completion in January 2024

# Slashing Construction Times with Fiber-Reinforced Concrete

A light rail extension project in Phoenix redesigned to incorporate fibers

by Deborah R. Huso

**W**hen Valley Metro Rail, Inc., completed preliminary engineering for a 2.5 km (1.6 mile) light rail extension for the Phoenix, AZ, USA, metropolitan area in 2018, its directors were concerned about rapidly rising transportation construction costs. They were also seeking to minimize disruptions associated with the expected 36-month-long construction schedule, including potentially catastrophic financial consequences for retail establishments located along the corridor.

So, when the Valley Metro Rail Board of Directors awarded the contract for the project to Tempe, AZ-based engineering firm Jacobs, they tasked the firm with getting costs under

control and minimizing the construction schedule. According to Jacobs Vice President and Executive Project Manager Andrew Haines, the firm saw the use of fiber-reinforced concrete rather than traditional reinforced concrete as a cost-saving solution. Jacobs sought guidance from the School of Sustainable Engineering and the Built Environment at Arizona State University, where Professor Barzin Mobasher, FACI, led a team exploring how to reduce the project's cost and community impacts without compromising the quality, serviceability, or safety of the line extension. This resulted in a complete redesign of the track slab, eliminating traditional steel-reinforced concrete construction in favor of fiber-reinforced concrete.

## How Fiber-Reinforced Concrete Works

Mobasher has been researching concrete materials for 40 years, 35 of those years spent specifically in research on fiber-reinforced concrete. “The concept [of fiber-reinforced concrete] is not new. It goes back to when Egyptians used horsehair in mud to build structures,” Mobasher explained.

Exploration of fiber-reinforced concrete began in the 1940s and 1950s, as researchers began to examine the strength properties of fibers. As Mobasher explained, a fiber is essentially an element that is three-dimensional, but two of its dimensions are really small. “If you can generate the microstructure to make two dimensions really small, like human hair,” Mobasher said, “you can increase the strength.” The advantage, he explained, is that small flaws are reduced when you reduce the size of a material.

“It takes energy to create a crack, normally from the largest flaw [in concrete], and the process has two steps: initiation and propagation,” Mobasher said. Once a crack forms, the big concern in construction is how long it takes that crack to grow. “If it takes a long time for a crack to grow, we call the material ductile,” Mobasher noted, “and we can make a brittle material ductile if we can get it to absorb energy-creating barriers to the growth of the crack.”

According to Mobasher, this is what fibers do in concrete. If fibers are mixed into concrete, they can carry the tension force that creates cracks. Cracks will still form, but the size remains so small as their growth is slowed down by the fibers such that they aren’t even visible and can still carry a load. Historically, engineers have used iron and steel reinforcing bars to carry the tension load in concrete after cracks have fully formed. Though tensile stresses may cause the concrete to crack, the reinforcement will still carry the load.

In the 140 years since the first structures were built with reinforced concrete, modern construction has become dependent on concrete. “Society would be totally nonexistent without it,” Mobasher said, “but we ignore the tensile properties concrete can offer because the tensile strength is so small.”

He said that more than 60 to 70% of the volume of concrete used globally has limited tensile strength and is unable to carry load, making it susceptible to cracks that start small but then grow because of material brittleness until they result in a structural fault. While steel reinforcing bars can delay these structural faults by providing load-bearing strength, eventually the reinforcing bars will corrode and require repairs.

“We assume that cracked concrete carries compression only and steel carries tension,” Mobasher added. “As soon as concrete cracks, the tension load needs to find and travel into the rebar, but for that to happen, the crack has to grow and open for the rebar to feel and resist it.” The problem is those cracks, once open, reduce any load transfer across the fracture surfaces and allow harmful chemicals like deicing chemicals to reach the reinforcing bars.

Mobasher claims the building industry has tolerated the

basic inefficiency of concrete as a material because cement can be purchased for as little as 3 to 5 cents USD per pound (per 0.45 kg). To gain more strength, one uses more cement ... and reinforcing bars. “Every time you have to put steel in there, it requires a lot of labor and more materials,” Mobasher said. “Fifty percent of the cost is in the forming—setting up forms, setting up rebar, bending it, tying it, and the cost of the cranes and storage.” Not to mention the cost and time of on-site labor, and, in the case of the Phoenix light rail extension, the cost of rerouting traffic during construction, user costs, and the impacts on businesses that lose that traffic.

## Cutting Costs with Fiber Reinforcement

Mobasher contends that for over a century, the building industry has “only been looking at cradle to gate” impacts of concrete—the carbon footprint cost to make the material and get it to the jobsite. He said that one of the reasons it costs multimillions of dollars to expand a freeway or light rail line is because engineers are not looking at construction dynamics. The goal of much of his research over the past 30 years has been to reduce the amount of steel being used in concrete construction and replace that reinforcement with something more economical.

Fibers, whether made with steel, polypropylene, or some other material, can allow concrete to carry more load. With fiber-reinforced concrete, a structure becomes more resilient because it can move or crack without falling apart.

When Valley Metro initially came to Mobasher for advice on reducing construction time and cost for the Northwest Extension Phase II for light rail, they were looking at using 370 mm (14.5 in.) thick slabs reinforced with two layers of steel reinforcing bars laid in cross directions to support the track. So Mobasher proposed fully replacing reinforcing bars with steel fibers. Thus, steel fibers are added at the batch plant, and the builder doesn’t have to have the reinforcing bars transported to the field or close streets for an extended period of time. Meanwhile, the strength of the fibers is five to six times higher than that of steel reinforcing bars.

“Trying to get [owners, builders, and engineers] to go from two layers of rebar to something way different required a lot of iterations,” Haines said. “But the most cost-effective way to do this was to totally replace the steel rebar with fiber-reinforced concrete.”

Valley Metro had the Structural Engineering Laboratory at Arizona State University establish a set of strength and fatigue tests to define the daily service load of the track. The test assumed extreme conditions with the train running 24/7 for 45 years with three times the load of people and also took into account the potential for a water main breaking below the slab and the slab hanging up in the air. The team had to consider potential corrosion from stray currents as well.

The construction team, composed of a joint venture between the Phoenix offices of McCarthy Building Companies and Kiewit, fabricated six mockups of the track slabs to test total elimination of continuous steel reinforcing

bars and their replacement with short steel fibers directly blended into the concrete mixture at the batch plant. They constructed two control slabs that were 370 mm thick and reinforced with reinforcing bars, reflecting the typical two-rail track slab that Valley Metro uses, which is 3.2 m (10.5 ft) wide by 370 mm thick. Kiewit then fabricated four more fiber-reinforced slabs using two different manufacturers of steel fibers to reflect the proposed track slab section that would be 2.4 m (8 ft) wide and 300 mm (12 in.) thick.

The lab conducted strength and fatigue tests up to 2 million cycles and, based on the test results and examination of the performance of the fibers, determined that concrete reinforced with 50 mm (2 in.) long steel fibers, about the size of hairpins, used at a dosage of 39 kg/m<sup>3</sup> (65 lb/yd<sup>3</sup>) was a feasible and cost-effective solution.

All the mockups were able to withstand 18,142 kg (40,000 lb) of load, which was more than four times the design service load. The fiber-reinforced concrete also allowed for a 17% reduction in thickness of the concrete track slabs while still being able to meet stiffness, load capacity, and crack-width requirements. “Reducing 2-1/2 inches [64 mm] off the concrete [ended up] saving a lot of money,” Haines noted.

“Fibers were equivalent to or better than traditional rebar during mockups,” said John Kreps, Phoenix-based Kiewit Project Manager on the Northwest Extension Phase II.

## Slashing Light Rail Construction Time and Increasing Safety

The fiber-reinforced concrete was used to construct track slabs for rail and the plinths for station platforms. In addition to the steel fibers used in the concrete for the track slabs, polypropylene fibers at a dosage rate of 7 kg/m<sup>3</sup> (12 lb/yd<sup>3</sup>) were mixed into the concrete for the station platforms.

At the batch plant, steel fibers were added to the concrete mixture for the track slabs. “There were literally sacks of steel fiber poured onto a conveyor and dropped into the concrete mixer on the truck,” explained Nikolas Hunter, Project Manager with Kiewit. The use of steel fibers resulted in about 20% reduction in the amount of concrete needed to complete the trackwork portion of the project.

Also, Kreps said jobsite safety improved dramatically with the use of fiber-reinforced concrete because there weren’t piles of reinforcing bars lying next to the track during construction or any reinforcing bar cages that workers had to navigate. “We were able to shoot points where the track goes without having to survey or do an offset because of the rebar,” he explained. “When inspecting the rail, which has extreme tightness tolerances, we were able to work on grade and dirt instead of on the rebar mats, which also improved safety and allowed for more thorough evaluation because it was easier [to maneuver on the jobsite].”

“It’s a lot cleaner of an operation overall,” Hunter added. “You eliminate an entire step of rebar placement, which makes for schedule advantages. On the direct-fixation track, [the fiber-reinforced concrete] eliminated the potential for



**Fiber-reinforced concrete placement of track slabs for Phoenix’s light rail extension**

conflicts between fastener inserts and rebar, too.”

According to Don Mac, Project Director with McCarthy Building Companies, the steel fibers did not impact the finish of the concrete. Its appearance was like that of concrete reinforced with steel reinforcing bars.

“As they were screeding the concrete off, the fibers did not show,” Kreps added. “When the concrete cured, some fibers were visible but could be brushed away.”

When the team got down to constructing the last track slab, they decided to try polypropylene fibers for the final 9 m (30 ft) concrete placement. “Polypropylene fibers are cheaper than steel fibers, and we wanted to evaluate them for future projects,” Haines explained. “The [team] that poured and finished the polypropylene fiber-reinforced concrete said it was so much easier to finish.”

## Moving Beyond Cradle to Gate Construction

“The key benefit [of fiber-reinforced concrete] was not having the rebar installation portion of the schedule,” Kreps said.

According to Hunter, for every concrete placement, the use of fiber-reinforced concrete saved at least 1 to 2 days of labor. “You’re still purchasing steel [for the fiber reinforcement], but you’re saving on labor,” he noted.

By the time the light rail project was completed in January 2024, the combined project cost savings resulting from use of steel fiber-reinforced concrete, as well as value engineering, was about 23%, according to Haines. The fiber-reinforced concrete eliminated weeks of manual labor that would have been required in forming and placing reinforcing bars. Instead, steel fibers were blended directly into the concrete at the batch plant and delivered to the jobsite for placement.

Hypothetically and on a larger project, the budget cost to place one linear foot (0.3 m) of track slab using traditional steel reinforcing bar construction methods is just over 3000 USD.

Using fiber-reinforced concrete, that cost could drop to around 1000 USD per linear foot of track.

Mobasher said the possibilities for reducing construction costs, speeding work timelines, and decreasing worker safety hazards through use of fiber-reinforced concrete are substantial. “One cannot identify a single application where fibers cannot be used as an integral part of the system,” he said. That doesn’t mean replacing all the reinforcing bars in future projects. There will still be applications where it’s necessary, like in places where one wouldn’t want to see surface discoloration that may become visible with corrosion.

However, Kreps said fiber-reinforced concrete offers significant benefits to embedded track projects: “At intersections, in particular, you don’t have to shut them down for several days of construction.”

“Where work sites are tight and schedule is important, fiber-reinforced concrete allows for an overall cleaner jobsite and a more streamlined construction process,” Hunter said. In the case of Phoenix’s light rail extension, Hunter notes that it took a project owner and contractor willing to be innovative: “Sometimes you get clients or engineers who don’t want to do anything new.”

“I’m confident we have the tools to do the calculations to convince structural engineers that you can [use fiber-reinforced concrete] to design with a lot more reliability and less risk,” Mobasher added. “The more challenging part is encouraging structural engineers to use it. It’s critical to consider cradle to cradle, not just cradle to the gate.”

Hunter said the construction and engineering teams were lucky to work with a client like Valley Metro: “We had a

progressive client willing to do something that’s newer. With this successful implementation, we hope other projects will examine the potential for using fiber-reinforced concrete.”

Mobasher said that when one considers the carbon footprint of construction materials—concrete and steel, in particular—the global building industry is using 20 billion tons (18 billion tonnes) of concrete every year and 500 million tons (450 tonnes) of reinforcing bars for reinforcing that concrete. “The efficiency of concrete as we typically use it is very low,” Mobasher said. But the industry can increase its sustainability by employing fiber-reinforced concrete in more projects like the Phoenix light rail extensions, where Mobasher predicted the newly laid track slabs will have a service life of more than 100 years.

Selected for reader interest by the editors.



**Deborah R. Huso** is Creative Director and Founding Partner of WWM, Farmington, NM, USA. She has written for a variety of trade and consumer publications, such as *Ascent*, *U.S. News & World Report*, *Concrete Construction*, and *Construction Business Owner*. She has provided website development and content strategy for several building products companies, including Cultured Stone and Trex.

# The ACI Detailing Manual

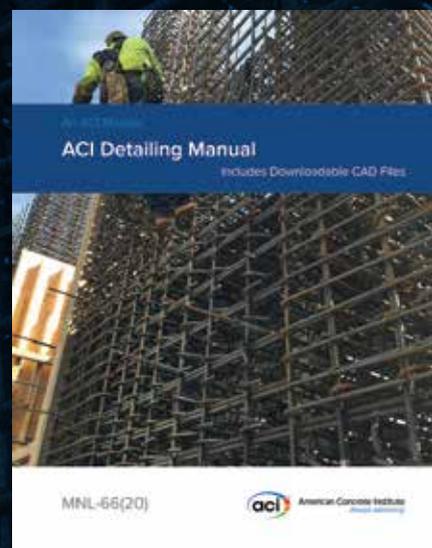
Includes **FREE**  
Downloadable **CAD Files**

The 2020 edition of the *ACI Detailing Manual* includes many new updates and revisions, plus the addition of valuable downloadable CAD files.

Visit [concrete.org/store](https://concrete.org/store) for more information.



American Concrete Institute  
*Always advancing*



## Reducción de los Tiempos de Construcción con Concreto Reforzado con Fibras

Un proyecto de extensión del tren ligero en Phoenix rediseñado para integrar fibras

Por Deborah R. Huso

Cuando Valley Metro Rail, Inc., terminó la ingeniería preliminar para una extensión del tren ligero de 2.5 km (1.6 millas) para el área metropolitana de Phoenix, Arizona, Estados Unidos de Norteamérica en 2018, sus directores estaban preocupados por el rápido incremento de los costos de construcción de transporte. También estaban tratando de minimizar las interrupciones relacionadas con el programa previsto de construcción de 36 meses, incluyendo consecuencias financieras potencialmente catastróficas para comercios minoristas ubicados a lo largo del corredor.

De manera que cuando el Consejo de Administración de Valley Metro Rail otorgó el contrato para el proyecto a la empresa de ingeniería Jacobs con sede en Tempe, Arizona, le encomendaron a la compañía controlar los costos y minimizar los tiempos de construcción. De acuerdo con el Vicepresidente y Gerente Ejecutivo de Proyecto de Jacobs, Andrew Haines, la compañía consideró el uso de concreto reforzado con fibras, en lugar del concreto reforzado tradicional como una solución para reducir costos. Jacobs buscó la guía de la Facultad de Ingeniería Sustentable y Entorno Construido en la Universidad Estatal de Arizona, donde el Catedrático Barzin Mobasher, FACI, dirigió un equipo que estudió la forma de reducir el costo del proyecto y los impactos a la comunidad sin comprometer la calidad, capacidad de servicio o seguridad de la extensión de la línea. Esto dio por resultado un rediseño completo de la losa de la vía, eliminando la construcción con concreto reforzado tradicional, favoreciendo así el concreto reforzado con fibras.

## Cómo Funciona el Concreto Reforzado con Fibras

Mobasher ha estado investigando materiales de concreto durante 40 años, 35 de los cuales los dedicó específicamente a la investigación del concreto reforzado con fibras. “El concepto [de concreto reforzado con fibras] no es nuevo. Se remonta a cuando los egipcios utilizaron pelo de caballo en lodo para construir estructuras”, explicó Mobasher.

La prospección del concreto reforzado con fibras inició en la década de los 40's y 50's del siglo pasado, a medida que los investigadores empezaron a examinar las propiedades de resistencia de las fibras. Tal como lo explicó Mobasher, una fibra es básicamente un elemento tridimensional, pero dos de sus dimensiones son realmente pequeñas. “Si se puede generar la microestructura para hacer dos dimensiones muy pequeñas, como un cabello humano”, indicó Mobasher, “se puede incrementar la resistencia”. La ventaja, explicó, es que las imperfecciones pequeñas se reducen al disminuir el tamaño de un material.

“Se necesita energía para crear una grieta, por lo general desde la falla más grande [en concreto], y el proceso consta de dos pasos: inicio y propagación”, expresó Mobasher. Una vez que se forma una grieta, la gran preocupación en la construcción es cuánto tiempo pasará antes de que la grieta se agrande. “Si transcurre mucho tiempo para que una grieta se agrande, al material lo llamamos dúctil”, observó Mobasher, “y podemos hacer que un material quebradizo sea dúctil si logramos que el material absorba energía creando barreras al crecimiento de la grieta”.

Según Mobasher, esto es lo que las fibras hacen en el concreto. Si las fibras se mezclan con el concreto, pueden soportar la fuerza de tensión que crean las grietas. Las grietas se seguirán formando, pero el tamaño será pequeño, debido a que las fibras mitigan su agrandamiento, de manera tal que ni siquiera son visibles y pueden seguir soportando una carga. Históricamente, los ingenieros utilizaban barras de refuerzo de hierro y acero para soportar la carga de tensión en el concreto una vez que se formaban las grietas en su totalidad. Aunque las fatigas por tensión pueden provocar que el concreto se agriete, el refuerzo seguirá soportando la carga.

En los 140 años desde que se construyeron las primeras estructuras con concreto reforzado, la construcción moderna ha dependido del concreto.

“La sociedad sería totalmente inexistente sin él”, afirmó Mobasher, “pero en los cálculos despreciamos las propiedades de tensión que el concreto puede ofrecer, porque su resistencia a la tensión es demasiado pequeña”.

Dijo que más del 60 al 70% del volumen de concreto que se utiliza a nivel mundial tiene resistencia limitada a la tensión y no puede soportar la carga, lo que lo hace susceptible a grietas que empiezan siendo pequeñas, pero después crecen por la fragilidad del material hasta que dan por resultado una falla estructural. Si bien las barras de refuerzo de acero pueden retardar estas fallas estructurales proporcionando resistencia a la carga, finalmente las barras de refuerzo se oxidan y necesitan reparación.

“Asumimos que el concreto agrietado soporta únicamente la compresión y el acero soporta la tensión”, agregó Mobasher. “Tan pronto como el concreto se agrieta, la carga de tensión necesita encontrar y desplazarse hacia la barra de refuerzo, pero para que eso suceda, la grieta tiene que crecer y abrirse para que la barra de refuerzo la detecte y la resista”. El problema es que las grietas una vez abiertas, reducen toda transferencia de carga a través de las superficies fracturadas y permiten que las sustancias químicas nocivas, como los líquidos para deshielo, lleguen a las barras de refuerzo.

Mobasher asevera que la industria de la construcción ha tolerado la ineficacia básica del concreto como material, porque el cemento puede comprarse por tan sólo 3 a 5 centavos de dólar

estadounidense por libra (0.45 kg). Para obtener más resistencia, se utiliza más cemento ... y barras de refuerzo. “cada vez que se coloca acero allí, se requiere mucha mano de obra y más materiales”, dijo Mobasher. “Cincuenta por ciento del costo es para el habilitado – instalación de cimbras, colocación de barras de refuerzo, doblado, atado de las mismas y el costo de las grúas y almacenaje”. Por no mencionar el costo y tiempo de la mano de obra in situ y, en el caso de la extensión del tren ligero de Phoenix, el costo del redireccionamiento del tránsito durante la construcción, costos del usuario y los impactos en los negocios que pierden ese tránsito.

## Reducción de Costos con Refuerzo de Fibras

Mobasher sostiene que durante más de un siglo, la industria de la construcción sólo “ha estado observando los impactos del concreto *cradle to gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)” – el costo de la huella de carbono para hacer el material y llevarlo al sitio de la obra. Dijo que una de las razones por las que cuesta miles de millones de dólares ampliar una vía rápida o la línea del tren ligero es porque los ingenieros no observan la dinámica de la construcción. El objetivo de mucha de su investigación en los últimos 30 años ha sido reducir la cantidad de acero que se utiliza en la construcción con concreto y reemplazar ese refuerzo por algo más económico.



Estación del tren ligero después de su terminación en enero de 2024.

Las fibras, ya sea que estén hechas de acero, polipropileno o de algún otro material, permiten que el concreto soporte más carga. Con el concreto reforzado con fibras, una estructura se hace más resiliente porque puede moverse o agrietarse sin desplomarse.

Cuando inicialmente Valley Metro le solicitó asesoría a Mobasher sobre la reducción de tiempo y costos de construcción para la Fase II de la Extensión Noroeste del tren ligero, pretendían utilizar losas de 370 mm (14.5 pulgadas) de espesor reforzadas con dos capas de barras de refuerzo de acero colocadas en direcciones cruzadas para soportar la vía. Entonces Mobasher propuso reemplazar en su totalidad las barras de refuerzo por fibras de acero. De esta forma, se agregan fibras de acero en la planta mezcladora y el constructor ya no tiene que ordenar que se transporten las barras de refuerzo al sitio de la obra ni a calles aledañas durante un período prolongado. Por otra parte, la resistencia de las fibras es de cinco a seis veces más alta que las de las barras de refuerzo de acero.

“Tratar de que [los propietarios, constructores e ingenieros] pasaran de utilizar las dos capas de barras de acero a algo muy diferente requirió muchas reiteraciones”, dijo Haines. “Pero la forma más eficiente de optimizar el costo fue reemplazar por completo la barra de acero por concreto reforzado con fibras”.

Valley Metro le pidió al Laboratorio de Ingeniería Estructural de la Universidad Estatal de Arizona que realizara una serie de pruebas de resistencia y fatiga para determinar la carga de servicio diario de la vía. La prueba suponía condiciones extremas del tren circulando 24/7 durante 45 años con tres veces la carga de gente y también tomó en consideración el potencial de una tubería principal de agua que se rompiera por debajo de la losa y que la losa quedara colgando al aire. El equipo asimismo tuvo que plantear una potencial corrosión proveniente de corrientes parásitas.

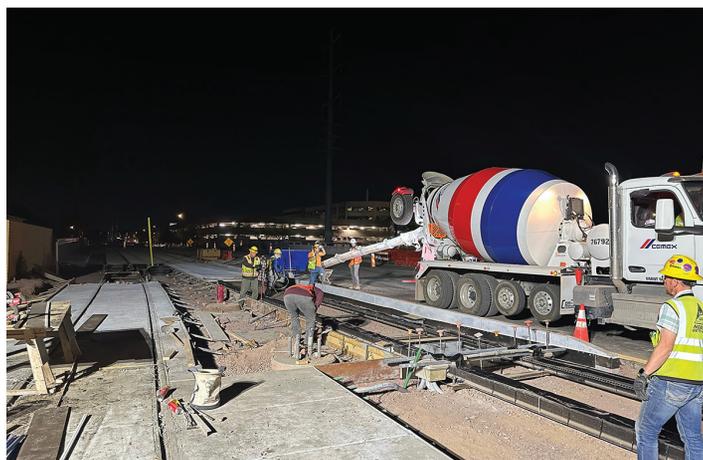
El equipo de construcción, que estaba formado por una empresa conjunta entre las oficinas de Phoenix de McCarthy Building Companies y Kiewit, fabricaron seis prototipos de losas de vía para probar la eliminación total de barras de refuerzo de acero continuas y su reemplazo por fibras de acero cortas directamente fusionadas en la mezcla de concreto en la planta mezcladora. Construyeron dos losas de control que tenían 370 mm de espesor y reforzadas con barras de refuerzo, que reflejan la losa de vía típica de dos rieles que utiliza Valley Metro, de 3.2 m (10.5 pies) de ancho por 370 mm de espesor. Entonces Kiewit fabricó cuatro losas más, reforzadas con fibras, utilizando a dos fabricantes diferentes de

fibras de acero para reflejar la sección de la losa de vía propuesta que sería de 2.4 m (8 pies) de ancho y 300 mm (12 pulgadas) de espesor.

El laboratorio realizó pruebas de resistencia y fatiga de hasta 2 millones de ciclos y, basándose en los resultados y análisis del desempeño de las fibras, determinaron que el concreto reforzado con fibras de acero de 50 mm (2 pulgadas) de largo, aproximadamente del tamaño de broches para cabello, utilizados a una dosis de 39 kg/m<sup>3</sup> (65 lb/yd<sup>3</sup>) representaba una solución factible y más eficiente de optimizar el costo fue reemplazar.

Todos los prototipos pudieron soportar 18,142 kg (40,000 lb) de carga, que fue más de cuatro veces la carga de servicio del diseño. El concreto reforzado con fibras también permitió una reducción del 17% en espesor de las losas de vía de concreto, sin dejar de cumplir con la rigidez, capacidad de carga y requerimientos de ancho de grieta. “Al reducir 2-1/2 pulgadas (64 mm) del concreto [terminamos] ahorrando mucho dinero”, observó Haines.

“Durante la realización de los prototipos, las fibras fueron equivalentes o mejores que las barras de refuerzo tradicionales”, dijo John Kreps, Gerente de Proyecto de Kiewit con base en Phoenix, en la Fase II de la Extensión Noroeste.



Colocación de losas de vía de concreto reforzado con fibras para la extensión del tren ligero de Phoenix.

## Reducción de Tiempos de Construcción del Tren Ligero y Aumento de la Seguridad

El concreto reforzado con fibras se utilizó para construir losas de vía para el riel y los pedestales para las plataformas de la estación. Además de las fibras de acero utilizadas en el concreto para las losas de vía, se mezclaron fibras de polipropileno a una dosis de 7 kg/m<sup>3</sup> (12 lb/yd<sup>3</sup>) en el concreto para las plataformas de la estación.

En la planta mezcladora, las fibras de acero se agregaron a la mezcla de concreto para las losas de vía. “Se vaciaron literalmente sacos de fibras de acero a la banda transportadora y se dejaban caer en la mezcladora de concreto en el camión”, explicó Nikolas Hunter, Gerente de Proyecto en Kiewit. El uso de fibras de acero dio por resultado una reducción de aproximadamente 20% de la cantidad de concreto necesaria para completar la parte de la obra de vía del proyecto.

Asimismo, Kreps afirmó que la seguridad en el sitio de la obra mejoró mucho con el uso de concreto reforzado con fibras debido a que no había pilas de barras de refuerzo colocadas junto a la vía durante la construcción ni ninguna jaula para las barras de refuerzo que los trabajadores tuvieran que sortear. “Podimos llegar a los puntos exactos donde va la vía sin tener que hacer estudios topográficos ni ajustes debido a las barras de refuerzo”, explicó. “Cuando inspeccionamos el riel, que tenía tolerancias de tensión extremas, pudimos trabajar sobre rasante y tierra en lugar de sobre las esterillas de las barras de refuerzo, lo que también mejoró la seguridad y permitió más evaluación exhaustiva porque fue más sencillo [las maniobras en el sitio de la obra]”.

“La operación total es mucho más limpia”, agregó Hunter. “Se elimina un paso completo de la colocación de la barra de refuerzo, lo que representa ventajas para la programación. En la vía de fijación directa [el concreto reforzado con fibras] también eliminó el potencial de conflictos entre los insertos sujetadores y la barra de refuerzo”.

De acuerdo con Don Mac, Director de Proyecto de McCarthy Building Companies, las fibras de acero no impactaron el acabado del concreto. Su apariencia fue como la del concreto reforzado con barras de acero.

“A medida que enrasaban el concreto, las fibras no aparecían”, agregó Kreps. “Cuando el concreto se curó, había algunas fibras visibles, pero pudimos cepillarlas y desaparecieron”.

Cuando el equipo estaba construyendo la última losa de la vía, decidieron intentar con fibras de polipropileno para la colocación del concreto final de 9 m (30 pies). “Las fibras de polipropileno son menos costosas que las fibras de acero y queríamos evaluarlas para proyectos futuros”, explicó Haines. “El [equipo] que coló y terminó el concreto reforzado con fibras de polipropileno dijo que el acabado fue mucho más sencillo”.

## Más Allá de la Construcción *Cradle to Gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)

“El beneficio principal [del concreto reforzado con fibras] fue el no contar con la parte de la instalación de las barras de refuerzo dentro del programa,” afirmó Kreps.

De acuerdo con Hunter, por cada colocación de concreto, el uso del concreto reforzado con fibras ahorró por lo menos 1 a 2 días de mano de obra. “De cualquier forma se está comprando acero [para el refuerzo de la fibras], pero se está ahorrando en mano de obra”, observó.

Para el momento en que se terminó el proyecto del tren ligero en enero de 2024, los ahorros combinados en el costo del proyecto que fueron resultado del uso de concreto reforzado con fibras de acero, así como la ingeniería de valor, representaron alrededor del 23%, según Haines. El concreto reforzado con fibras eliminó semanas de mano de obra que se hubieran requerido para la formación y colocación de las barras de refuerzo. En lugar de ello, las fibras de acero se mezclaron directamente en el concreto en la planta mezcladora y se entregó en el sitio de la obra para su colocación.

Hipotéticamente y en un proyecto más grande, el costo presupuestado por la colocación de un pie lineal (0.3 metros) de losa de vía, utilizando métodos de construcción tradicionales con barras de acero de refuerzo es de más de 3,000 dólares estadounidenses. Con el uso de concreto reforzado con fibras, ese costo podría disminuir hasta aproximadamente 1,000 dólares estadounidenses por pie lineal de vía.

Mobasher afirmó, que las posibilidades de reducir los costos de construcción, acelerar los tiempos de la obra y disminuir los riesgos de seguridad para los trabajadores mediante el uso de concreto reforzado con fibras, son substanciales. “Uno no puede identificar una sola aplicación en lugares en los que no pueden utilizarse fibras como una parte integral del sistema”, indicó. Eso no significa reemplazar todas las barras de refuerzo en proyectos futuros. Seguirá habiendo aplicaciones en las que sean

necesarias, como lugares en los que no se desea ver decoloración de la superficie que pudiera hacerse visible con la corrosión.

No obstante, Kreps indicó que el concreto reforzado con fibras ofrece beneficios significativos a los proyectos de vías integradas: “Particularmente, en las intersecciones que no tienen que cerrarse durante varios días para la construcción”.

“Cuando los sitios de la obra son estrechos y la programación es importante, el concreto reforzado con fibras permite un sitio de obra más limpio en general y un proceso de construcción más optimizado”, dijo Hunter. En el caso de la extensión del tren ligero de Phoenix, Hunter observa que se necesitó que el propietario del proyecto y el contratista estuvieran dispuestos a innovar: “Algunas veces uno se encuentra con clientes o ingenieros que no desean nada nuevo”.

“Confío en que contamos con las herramientas para hacer los cálculos de manera tal que podamos convencer a los ingenieros estructurales que pueden utilizar [concreto reforzado con fibras] para diseñar con más confiabilidad y menos riesgo”, agregó Mobasher. “La parte más desafiante es exhortar a los ingenieros estructurales a que lo utilicen. Es de suma importancia considerar *cradle to cradle* (de la cuna a la cuna) y no sólo *cradle to gate* (de la cuna a la puerta de la fábrica)”.

Hunter confirmó que los equipos de construcción e ingeniería fueron afortunados al trabajar con un cliente como Valley Metro: “tuvimos a un cliente progresista dispuesto a hacer algo más novedoso. Con esta implementación exitosa, esperamos que otros proyectos analizarán el potencial de utilización de concreto reforzado con fibras”.

Mobasher indicó que cuando uno considera la huella de carbono de los materiales de construcción – el concreto y el acero, en particular – la industria de la construcción a nivel mundial está utilizando 20 mil millones de toneladas (18 mil millones de toneladas métricas) de concreto cada año y 500 millones de toneladas (450 toneladas métricas) de barras de refuerzo para reforzar ese concreto. “La eficiencia del concreto, tal como lo utilizamos típicamente es muy baja”, afirmó Mobasher. Pero la industria puede incrementar su sustentabilidad empleando concreto reforzado con fibras en más proyectos como las extensiones del tren ligero de Phoenix, en las que Mobasher predijo que las losas de vía recién colocadas tendrán una vida de servicio de más de 100 años.

Seleccionado por los editores para interés del lector.

**Deborah R. Huso** es Directora Creativa y Socia Fundadora de WWM, Farmington, NM, Estados Unidos de Norteamérica. Ha escrito diversas publicaciones comerciales y para el consumidor, tales como Ascent, U.S. News & World Report, Concrete Construction, y Construction Business Owner. Ha desarrollado páginas web y estrategia de contenido para varias compañías de productos de construcción, incluyendo a Cultured Stone y Trex.



Título original en inglés:  
**Slashing Construction Times with Fiber-Reinforced Concrete.**  
A light rail extension project in Phoenix redesigned to incorporate fibers

**La traducción de este artículo correspondió al Capítulo México Centro y Sur**



*Traductora:*  
**Lic. Ana Patricia García Medina**



*Revisor Técnico:*  
**Dr. Esteban Astudillo de la Vega**