

GFRP Reinforcement for Concrete Facilities to Protect Against Mudflow

by Valery Hurnovich and Antonio Nanni

A unique complex of mudflow protection facilities was recently constructed to protect the city of Ashgabat, Turkmenistan, using concrete reinforced with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) reinforcement. The project's specifications and design provisions followed current Russian standards for fiber-reinforced polymer reinforcement, and the project was completed on time and under budget.

Ashgabat is the capital and largest city of Turkmenistan. The city is situated at the foot of the Kopet Dag mountain range in Central Asia, with the highest nearby peak standing at 2940 m (9646 ft) above sea level. The slopes of the range facing Ashgabat are steep and ravine-scarred. From March to October, periodical convective precipitation events release a total of up to 400 mm (16 in.) of rainfall. After rare but sometimes heavy rains, massive mudflows sweep down the narrow ravines and over the submountain plains.

In 1991, the Turkmenistan government took significant steps toward revitalizing Ashgabat, turning it into a modern city with public buildings, monuments, and parks. The city is famous for its architecture: white marble-clad buildings, mosques with beautiful golden domes, and high monuments. To protect Ashgabat and its people against the risk of mudflows (Fig. 1), the decision was made to construct a complex of mudflow protection facilities. The construction started in March 2020 and was completed in September 2022. The complex of facilities is in the southern part of Ashgabat and receives water from the Kopet Dag (Fig. 2).

The project called for the construction of mudflow storage facilities (Fig. 3) in the streambeds of the main ravines as well as a system of diversion channels and pipelines carrying cleared water to the existing mudflow diversion channel (the so-called Ashgabat Channel).

The primary purpose of the facilities is to receive and intercept mudflow and stormwater from rains falling in the area. After the complete settlement of detrital deposits in the storage facilities, the discharge of the cleared water that was part of the mudflow starts with flood gates being opened and pump stations being activated.



Fig. 1: Streets of Ashgabat, Turkmenistan, after a mud stream inundation (photo credit: <https://centralasia.media/news:1448895/>)



Fig. 2: Location of the mudflow protection facilities

The water diversion facilities are made of reinforced concrete (RC) channels and pipelines that receive and divert the clarified water from the mudflow storage facilities. The water diversion channels receive torrents from the Kopet Dag along their length, thus reducing the amount of rainwater moving to Ashgabat. These massive construction projects included the following:

- Nine mudflow storage facilities;
- Five mudflow channels with a total length of 7 km (4.3 miles);
- Water diversion channels with a total length of 22 km (13.7 miles);



Image © 2023 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2023

Fig. 3: Mudflow storage facilities



Fig. 4: Sand-coated GFRP reinforcing bars used in the project

- Water diversion conduits with a total length of 9 km (5.6 miles);
- Restoration of an existing mudflow diversion channel with a total length of 19 km (11.8 miles);
- Seven pump stations;
- Two water outlet structures; and
- Restoration of three bridges.

The group of mudflow protection facilities is unique as it can receive mudflow and stormwater for a total volume of 12.4 million m³ (16.2 million yd³) at a time and withstand a magnitude 9.0 earthquake.

To help ensure the maintenance-free service life of the diversion channels for a total of 100 years, GFRP bars were chosen as reinforcement for the concrete in the project. The selected GFRP composite was in the form of sand-coated bars (straight or with bends) (Fig. 4) made of E-glass corrosion-resistant (E-CR) glass fibers embedded in epoxy resin. GFRP bars are currently becoming more popular because of their properties that allow the extension of service life and reduction of construction costs (Table 1). GFRP bars exhibit no corrosion, have high tensile strength and good fatigue strength, are lightweight, and exhibit electromagnetic transparency. While GFRP bars also have low elastic modulus and transverse shear strength, these properties are not significant factors in uniformly loaded slabs-on-ground. In addition, the low weight of GFRP bars minimizes transportation and placement costs.

Material Specifications and Design

The following regulations were used during development of the project for GFRP reinforcement for the channels:

- SP 295.1325800.2017, “Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bars. Design Rules”²²; and
- GOST 31938-2012, “Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications”²³ (Table 2). The main calculation criteria included:
 - Maximum allowable crack opening width of 0.7 mm (0.03 in.);
 - Distance between cracks from 0.5 to 1 m (1.6 to 3.9 ft);
 - Stress in bars under long-term load of not more than 330 MPa (47.8 ksi);

Table 1:

Physical and mechanical properties of GFRP and steel bars used in design

Property	GFRP	Steel bars A500 (GOST R 52544-2006 ¹)
Characteristic tensile resistance, MPa (ksi)	1100 (160)	500 (72.5)
Design tensile resistance, MPa (ksi)	641 (93)	435 (63)
Design resistance to tension under sustained and long-term load, MPa (ksi)	330 (47.9)	435 (63)
Tensile modulus, not less than, MPa (ksi)	50,000 (7250)	200,000 (29,000)
Elongation at failure, ε, %	2.2	14.0
Coefficient of linear thermal expansion, 1/°C	(6.0 to 10.0) × 10 ⁻⁶	(11.5 to 14.5) × 10 ⁻⁶
Conductivity	Nonconductive	Conductive
Magnetic properties	Nonmagnetic	Magnetic
Corrosive and chemical resistance	High	Low

Table 2:
GFRP material specifications

Property	GOST 31938-2012 ³	ASTM D7957/D7957M-17 ⁴
	GFRP/BFRP	GFRP
Fiber mass content, no less than, %	75	70
Nominal ultimate tensile strength, MPa (ksi)	800 (116)	533 to 843 (77.3 to 122.3), depending on bar diameter
Nominal mean tensile modulus of elasticity, no less than, MPa (ksi)	50,000 (7250)	44,800 (6500)
Guaranteed transverse shear strength, no less than, MPa (ksi)	150 (21.7)	131 (19)
Nominal ultimate compression strength, no less than, MPa (ksi)	300 (43.5)	—
Guaranteed bond strength, no less than, MPa (ksi)	12 (1.74)	7.6 (1.1)
Loss in tensile strength after exposure to alkaline conditions, no more than, %	25 (30 days at 60°C [140°F])	20 (90 days at 60°C [140°F])
Guaranteed bond strength after aging in an alkaline environment, no less than, MPa (ksi)	10 (1.45)	—
Mean glass-transition temperature, no less than, °C (°F)	—	100 (212)
Mean degree of cure, %	—	95
Operating temperature limit, no more than, °C (°F)	60 (140)	—
Moisture absorption in 24 hours at 50°C (122°F), no more than, %	—	0.25
Mean moisture absorption to saturation, no more than, %	—	1 (to saturation at 50°C [122°F])

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 for more information.



American Concrete Institute
Always advancing

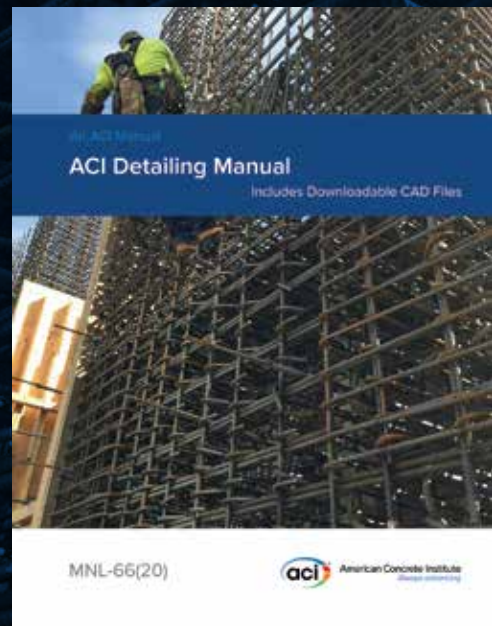




Fig. 5: GFRP reinforcement in channel slabs



Fig. 6: Channel slab after concrete casting

- Stress in bars under short-term load of not more than 641 MPa (93 ksi); and
- Concrete B25 with compressive strength of 14.5 MPa (2100 psi).

The design strength of the GFRP bars was calculated with consideration of a material resistance factor of 1.2 and an operation factor of 0.7 (structures operated outdoors or on ground).

The following parameters were chosen for the channels (Fig. 5):

- Slab thickness of 400 mm;
- Bar diameter of 12 mm (0.47 in.);
- Spacing of bars in the slab top mat of 250/250 mm (10/10 in.);
- Spacing of bars in the slab bottom mat of 250/250 mm; and
- Bar lap splice length of 600 mm (24 in.).

Based on the calculations for temperature exposure, the dimensions of channel panels were determined as 30 x 30 m (98.4 x 98.4 ft) (Fig. 6).

GFRP bars with diameters of 10, 12, and 16 mm were used in the project; additionally, 12 mm diameter L-shaped bent bars were employed for splicing. Straight bars were supplied in bundles of a maximum length of 13 m (42.6 ft). The total quantities are given in Table 3.

Table 3:
Total number and weight of GFRP bars used in the project

Name	Length, m (ft)	Weight, tonne (ton)
Straight bars		
GFRP 10	151,026 (495,492)	25.97 (28.73)
GFRP 12	7,834,137 (25,702,549)	1997 (2201)
GFRP 16	6955 (22,818)	3.23 (3.56)
Bent bars		
GFRP 12	32,690 (107,250)	8.92 (9.83)
Total	8,024,808 (26,328,111)	2035 (2243)

Economy of GFRP Bar Application

The initial project design called for 12 mm diameter A500 steel bars installed at 250/250 mm in the top and bottom mats of a slab. The total required length of bars was estimated at 7.9 km (4.8 miles), including additions for lap splices. At the time of the construction, the cost for 12 mm diameter steel bars was 0.27 USD/ft, while corresponding GFRP bars cost 0.23 USD/ft.

The project calculations showed that steel bars could be replaced by GFRP bars without changing bar diameter and spacing, leading to a material cost savings of 16% (refer to Table 4).

Costs for the delivery of bars to the construction site

Table 4:
Direct comparison of material costs for steel and GFRP bars

Material	Bar diameter, mm						Total cost, USD	
	10		12		16		A500	GFRP
	A500	GFRP	A500	GFRP	A500	GFRP		
Length, ft	495,492	495,492	25,809,801	25,809,801	22,818	22,818	—	—
Weight per length, lb/ft	0.415	0.116	0.597	0.171	0.812	0.312		
Total weight, lb	205,431	57,269	15,400,708	4,422,767	18,524	7119		
Cost per length, USD/ft	0.19	0.15	0.27	0.23	0.37	0.36		
Cost, USD	95,134	72,837	7,089,694	5,936,254	8522	8215	7,193,350	6,017,306
Difference, USD							1,176,044	
Savings, %							16	

Note: 1 mm = 0.04 in.; 1 ft = 0.3 m; 1 lb/ft = 1.5 kg/m; 1 lb = 0.45 kg

Table 5:
Comparison of total costs for the project

Reinforcement type	A500	GFRP
Cost for bars, USD	7,193,350	6,017,306
Number of Euro trailers	—	101
Number of railroad cars	110	—
Delivery cost per one Euro trailer, USD	—	4240
Delivery cost per one railroad car, USD	8140	—
Transportation cost, USD	895,400	428,240
Cost including delivery, USD	8,088,750	6,445,546
Difference, USD	1,643,205	
Savings, %	20	

accounted for a significant part of the project’s economy. The total weight of steel bars would have been about 7812 tons (7087 tonnes). In contrast, the total weight of the GFRP bars required for the project was about 2243 tons (2035 tonnes).

The total economic efficiency of replacing the steel bars with GFRP bars, including the delivery cost, was 20% (refer to Table 5). While an accurate assessment of costs for unloading, crane operations, and reinforcement cage installation for the project was not carried out, it was also noted that the use of GFRP bars improved construction time and reduced labor costs. The construction of the mudflow protection facilities has been successfully completed, and the owner has decided to apply GFRP bars in new projects.

References

1. GOST R 52544-2006, “Weldable Deformed Reinforcing Rolled Products of A500C and B500C Classes for Reinforcement of Concrete Constructions. Specifications,” Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2006, 23 pp.

2. SP 295.1325800.2017, “Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bars. Design Rules,” Ministry of Construction, Housing and Utilities, Moscow, Russia, 2017, 55 pp.

3. GOST 31938-2012, “Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications,” Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2012, 40 pp.

4. ASTM D7957/D7957M-17, “Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Valery Hurynovich has over 9 years of experience in the composites industry. He serves as the Chief Operating Officer of Galen Panamerica LLC, a U.S.-based company that provides solutions of composite reinforcement for industrial and civil construction. He received his Executive MBA from TRIUM Global Executive MBA, a partnership of New York University (NYU) Stern School of Business, New York, NY, USA; HEC Paris School of Management, Paris, France; and The London School of Economics and Political Science (LSE) Department of Management, London, UK.



Antonio Nanni, FACI, is a Professor and Chair of the Department of Civil and Architectural Engineering at the University of Miami, Coral Gables, FL, USA, and ACI President for 2023-2024. He is a member of numerous ACI committees, including ACI Committee 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. He has received several awards, including the 2014 IIFC Medal from the International Institute for FRP in Construction and the 2012 ASCE Henry L. Michel Award for Industry Advancement of Research.

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

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



Search your Events Calendar by...

- Certifications and Training
- Seminars and Webinars
- Events

Search, Click, Connect!
Visit the Events Calendar Page at www.concrete.org/calendar

Refuerzo de GFRP para instalaciones de protección contra flujo de lodo

por Valery Hurynovich y Antonio Nanni



Fig. 1: Calles de Asjabad, Turkmenistán, después de una inundación de lodo (foto tomada de: <https://centralasia.media/news:1448895/>)



Fig. 2: Ubicación de las instalaciones de protección contra flujo de lodo.



Fig. 3: Instalaciones de almacenamiento de flujo de lodo.

Un complejo único de instalaciones de protección contra el flujo de lodo se construyó recientemente para proteger la ciudad de Asjabad, Turkmenistán, usando concreto con refuerzo de polímero de fibra de vidrio (GFRP). Las especificaciones del proyecto y disposiciones de diseño se basaron en los actuales estándares rusos para el refuerzo con polímero de fibra de vidrio, y el proyecto fue realizado en tiempo y apegado al presupuesto.

Asjabad es la capital y ciudad más grande de Turkmenistán. La ciudad está situada al pie de la cordillera de Kopet Dag, en Asia Central, con el punto más alto ubicado a una altura de 2,940 m (9,646 ft) sobre el nivel del mar. Las laderas de la cordillera frente a Asjabad son empinadas y están marcadas por barrancos. De marzo a octubre, eventos periódicos de precipitación convectiva registraron un total de más de 400 mm (16 in.) de precipitación. Grandes precipitaciones ocurren con una frecuencia muy baja, pero en casos donde la precipitación es muy grande, masivos cuerpos de lodo fluyen por las laderas y las llanuras.

En 1991, el gobierno de Turkmenistán tomó medidas significativas para revitalizar Asjabad, convirtiéndose en una ciudad moderna con edificios públicos, monumentos y parques. La ciudad es famosa por su arquitectura: construcciones recubiertas de mármol blanco, mezquitas con hermosas cúpulas doradas y grandes monumentos. Para proteger Asjabad y su gente del riesgo de corrientes de flujo de lodo (Figura 1), se tomó la decisión de construir un complejo de instalaciones de protección contra corrientes de lodo. La construcción inició en marzo de 2020 y fue terminada en septiembre del 2022. El complejo de estructuras se localiza en la parte sur de Asjabad, y recibe agua de la cordillera Kopet Dag. (Fig. 2).

El proyecto contemplaba la construcción de estructuras de almacenamiento de lodo (Fig. 3) en los cauces de los principales barrancos, así como un sistema de canales y tuberías que conducen el agua depurada al canal de desvío de corrientes de flujo de lodo existente (llamado Canal de Asjabad).

El objetivo principal de las estructuras es recibir e interceptar el escurrimiento de lodo y el agua de lluvia de las lluvias que caen en la zona. Después de la sedimentación completa de

los depósitos detríticos en las estructuras de almacenamiento, la descarga del agua limpia, que formaba parte del flujo de lodo, comienza cuando las compuertas son abiertas y las estaciones de bombeo son activadas.

Las estructuras de desvío de agua están construidas con concreto reforzado (RC) canales y tuberías que reciben y desvían el agua clarificada de las estructuras de almacenamiento de lodo. Los canales de desviación de agua reciben torrentes de la cordillera Kopet Dag a lo largo de su longitud, reduciendo así la cantidad de agua de lluvia que llega a Asjabad. Estos proyectos masivos de construcción incluyen lo siguiente:

- Nueve estructuras de almacenamiento de lodo;
- Cinco canales de flujo de lodo con una longitud total de 7 km (4.3 millas);
- Canales de desvío de agua con una longitud total de 22 km (13.7 millas);
- Conductos de desvío de agua con una longitud total de 9 km (5.6 millas);
- Restauración de canales de desvío de lodo existentes con una longitud total de 19 km (11.8 millas);
- Siete estaciones de bombeo;
- Dos estructuras de salida de agua; y
- Restauración de tres puentes.

El grupo de estructuras de protección contra flujo de lodo es único, ya que puede recibir flujo de lodo y aguas pluviales con un volumen total de 12.4 millones de metros cúbicos (16.2 millones de yardas cúbicas), al mismo tiempo que puede soportar un terremoto con magnitud de 9.0.



Fig. 4: Barras de refuerzo de fibra de vidrio recubiertas de arena utilizadas en el proyecto.

Para ayudar a garantizar la vida útil sin mantenimiento de los canales de desvío por un total de 100 años, se eligieron barras de refuerzo de fibra de vidrio (GFRP) como refuerzo para el concreto en este proyecto. El compuesto de GFRP seleccionado estaba en forma de barras recubiertas de arena (rectas o curvadas) (Fig. 4), hechas con fibra de vidrio resistente a la corrosión (E-CR), embebidas en resina epóxica. Las barras de refuerzo de fibra de vidrio se están volviendo más populares debido a sus propiedades, que permiten alargar la vida útil de servicio y reducir los costos de construcción (Tabla 1). Las barras de refuerzo de fibra de vidrio no presentan corrosión, tienen alta resistencia a la tracción, y buena resistencia a la fatiga, son livianas, y presentan transparencia electromagnética. Aún y que las barras de refuerzo de fibra de vidrio presentan un módulo elástico bajo y una baja resistencia al corte transversal, estas propiedades no representan factores significativos en losas uniformemente cargadas construidas sobre el terreno. En adición a esto, el bajo peso de las barras de refuerzo de fibra de vidrio minimiza costos de transporte y colocación.

Tabla 1:

Propiedades físicas y mecánicas de las barras de fibra de vidrio y barras de acero usadas en el diseño

Propiedad	GFRP	Barras de Acero A500 (GOST R 52544-2006')
Resistencia característica a la tensión, MPa (ksi)	1100 (160)	500 (72.5)
Resistencia de diseño a la tensión, MPa (ksi)	641 (93)	435 (63)
Resistencia de diseño a la tensión bajo cargas sostenidas y a largo plazo, MPa (ksi)	330 (47.9)	435 (63)
Módulo de tensión, no menor que, MPa (ksi)	50,000 (7250)	200,000 (29,000)
Elongación de falla, ϵ , %	2.2	14.0
Coefficiente de expansión térmica, $1/^\circ\text{C}$	$(6.0 \text{ to } 10.0) \times 10^{-6}$	$(11.5 \text{ to } 14.5) \times 10^{-6}$
Conductividad	No conductivo	Conductivo
Propiedades magnéticas	No magnético	Magnético
Resistencia corrosiva y química	Alta	Baja

Tabla 2:
Especificaciones del material (GFRP)

Propiedad	GOST 31938-2012 ³	ASTM D7957/D7957M-17 ⁴
	GFRP/BFRP	GFRP
Contenido de fibra en masa, no menor que, %	75	70
Resistencia nominal última a la tracción, MPa (ksi)	800 (116)	533 a 843 (77.3 a 122.3) dependiendo del diámetro de la barra
Módulo de elasticidad nominal, no menor que, MPa (ksi)	50,000 (7250)	44,800 (6500)
Resistencia al corte transversal garantizada, no menor que, MPa (ksi)	150 (21.7)	131 (19)
Resistencia nominal última a compresión, no menor que, MPa (ksi)	300 (43.5)	—
Resistencia de unión garantizada, no menor que, MPa (ksi)	12 (1.74)	7.6 (1.1)
Pérdida de resistencia a la tracción después de la exposición a condiciones alcalinas, no mayor que, %	25 (30 días a 60°C [140°F])	20 (90 días a 60°C [140°F])
Resistencia de unión garantizada después de la exposición a condiciones alcalinas, no menor que, MPa (ksi)	10 (1.45)	—
Temperatura media de transición, no menor que, °C (°F)	—	100 (212)
Grado medio de curación, %	—	95
Límite de temperatura de operación, no mayor que, °C (°F)	60 (140)	—
Absorción de humedad en 24 horas a 50°C (122 °F), no mayor que, %	—	0.25
Absorción media de la humedad hasta la saturación, no mayor que, %	—	1 (para saturación a 50°C [122°F])

Especificaciones de materiales y diseño

La normativa utilizada para el refuerzo de canales con barras de fibra de vidrio en el desarrollo del proyecto fue la siguiente:

- SP 295.1325800.2017, “Concrete Structures Reinforced with Fibre – Reinforced Polymer Bars. Design Rules”²; y
- GOST 31938-2012, “Fibre Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications”³ (Tabla 2).

Los principales criterios de cálculo incluyeron:

- Ancho máximo permitido de grietas de 0.7 mm (0.03 pulg.);
- Distancia entre grietas de 0.5 a 1 m (1.6 a 3.9 pies);
- El esfuerzo en barras sometidas a cargas a largo plazo no puede ser mayor a 330 MPa (47.8 ksi);
- El esfuerzo en barras sometidas a cargas a corto plazo no puede exceder 641 MPa (93 ksi); y
- Concreto (B25) con resistencia a la compresión de 14.5 MPa (2100 psi).



Fig. 5: Refuerzo de GFRP en losas de canal.



Fig. 6: Losas de canal después de la colocación del concreto.

Tabla 3:
Número total y peso de barras de fibra de vidrio usadas en el proyecto

Nombre	Longitud, m (ft)	Peso, tonne (ton)
Barras rectas		
GFRP 10	151,026 (495,492)	25.97 (28.73)
GFRP 12	7,834,137 (25,702,549)	1997 (2201)
GFRP 16	6955 (22,818)	3.23 (3.56)
Barras curvas		
GFRP 12	32,690 (107,250)	8.92 (9.83)
Total	8,024,808 (26,328,111)	2035 (2243)

La resistencia de diseño de las barras de fibra de vidrio fue calculada considerando un factor de resistencia del material de 1.2 y un factor de operación de 0.7 (estructuras operadas a la intemperie y en contacto con el suelo).

- Los parámetros determinados para los canales fueron los siguientes (Fig. 5):
- Espesor de losa de 400 mm;
- Diámetro de barras de 12 milímetros (0.47 pulg.);
- Espaciamiento entre barras en lecho superior de 250/250 mm (10/10 pulg.);
- Espaciamiento entre barras en lecho inferior de 250/250 mm; y
- Longitud de traslape de barras de 600 mm (24 pulg.).

Con base en los cálculos para la exposición a la temperatura, las dimensiones para los paneles de canal se definieron en 30 x 30 m (98.4 x 98.4 pies) (Fig. 6).

Fueron usadas en el proyecto las barras de refuerzo de fibra de vidrio con diámetros de 10, 12 y 16 mm; adicionalmente, barras de 12 mm dobladas en forma de “L” fueron empleadas para empalmar.

Las barras rectas se suministraron en longitudes máximas de 13 metros (42.6 pies). Las cantidades totales se muestran en la Tabla 3.

Economía de la aplicación de refuerzo con barras de fibra de vidrio

El diseño inicial del proyecto requería barras de acero A500 de 12 milímetros de diámetro instaladas con un espaciamiento de 250/250 mm en el lecho superior y en el lecho inferior de las losas. La longitud requerida de las barras se estimó en 7.9 km (4.8 millas), incluyendo las longitudes de empalme por traslape. Cuando se construyó esta obra, el costo de las barras de acero de 12 mm de diámetro era de 0.27 USD/pie, mientras que el costo de las barras de fibra de vidrio de 12 mm de diámetro era de 0.23 USD/pie.

Los cálculos de proyecto mostraron que las barras de acero podían ser reemplazadas por barras de fibra de vidrio sin necesidad de cambiar el diámetro y espaciamiento entre barras, generando un ahorro en costos del 16% (Tabla 4).

El costo de entrega de las barras de fibra de vidrio al sitio de la obra representó una parte significativa del costo del proyecto. El peso total de las barras de acero habría sido de 7,812 toneladas (7,087 tonnes). En contraste, el peso total de las barras de fibra de vidrio requeridas para el proyecto fue de 2,243 toneladas (2,035 tonnes).

Tabla 4:
Comparación directa de los costos del material para barras de acero y barras de fibra de vidrio

Material	Diámetro de barra, mm						Costo total, USD	
	10		12		16		A500	GFRP
	A500	GFRP	A500	GFRP	A500	GFRP		
Longitud, pies	495,492	495,492	25,809,801	25,809,801	22,818	22,818		
Peso por unidad de longitud, lb/pies	0.415	0.116	0.597	0.171	0.812	0.312		
Peso total, lb	205,431	57,269	15,400,708	4,422,767	18,524	7119		
Costo por unidad de longitud, USD/pie	0.19	0.15	0.27	0.23	0.37	0.36		
Costo, USD	95,134	72,837	7,089,694	5,936,254	8522	8215	7,193,350	6,017,306
Diferencia, USD							1,176,044	
Ahorro, %							16	

Nota: 1 mm = 0.04 pulg.; 1 pie = 0.3 m; 1 lb/pie = 1.5 kg/m; 1 lb = 0.45 kg

Tabla 5:**Comparación de los costos totales del Proyecto**

Tipo de refuerzo	A500	GFRP
Costo de las barras, USD	7,193,350	6,017,306
Número de remolques	—	101
Número de vagones de ferrocarril	110	—
Costo de envío por remolque, USD	—	4240
Costo de envío por vagón de ferrocarril, USD	8140	—
Costos de transporte, USD	895,400	428,240
Costos incluyendo transporte, USD	8,088,750	6,445,546
Diferencia, USD	1,643,205	
Ahorro, %	20	

La eficiencia económica total por reemplazar las barras de acero por barras de fibra de vidrio, incluyendo el costo de envío, fue de 20% (Tabla 5.)

Si bien no se llevó a cabo una evaluación precisa de los costos de descarga, operación de grúa, y habilitado del refuerzo, se observó que el uso de barras de fibra de vidrio mejoró los tiempos de ejecución y redujo los costos laborales. La construcción de instalaciones de protección contra flujos de lodo ha sido completada satisfactoriamente, y el dueño ha decidido aplicar el refuerzo con barras de fibra de vidrio en futuros proyectos.

Referencias

1. GOST R 52144-2006, "Weldable Deformed Reinforcing Rolled Products of A500C and B500C Classes for Reinforcement of Concrete Constructions. Specifications" Agencia Federal de Regulación Técnica y Metrología, Moscú, Rusia, 2006, 23 págs.
2. SP 295.1325800.2017, "Concrete Structures Reinforced with Fibre - Reinforced Polymer Bars. Design Rules," Ministerio de construcción, Vivienda y Servicios Públicos, Moscú, Rusia, 2017, 55 págs.
3. GOST 31938-2012, "Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications," Agencia Federal de Regulación Técnica y Metrología, Moscú, Rusia, 2012, 40 págs.
4. ASTM D7957/D7957M-17, "Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 págs.



Valery Hurynovich tiene más de 9 años de experiencia en la industria de elementos compuestos. Se desempeña como director de operaciones de Galen Panamerica LLC, con sede en Estados Unidos, empresa dedicada a ofrecer soluciones de refuerzo compuesto para construcciones industriales y civiles. Recibió su maestría ejecutiva MBA de la TRIUM Global Executive MBA, una alianza entre la Escuela de Negocios Stern de la Universidad de Nueva York, la Escuela de Administración HEC Paris y la Escuela de Economía y Ciencias Políticas de Londres.



Antonio Nanni, FCI, es profesor y director del Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad de Miami, Coral Gables, FL, USA, y presidente del ACI en el período 2023-2024. Es miembro de numerosos comités ACI, incluyendo el comité ACI 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. Ha recibido varios premios, incluyendo la medalla IIFC del Instituto Internacional del FRP en Construcción, y el premio Henry L. Michel en 2012 para el avance de la industria de la investigación.

Título original en inglés: GFRP Reinforcement for Concrete Facilities to Protect Against Mudflow

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste



Traductor:
Jesús Omar Montaña Montaña



Revisor Técnico:
Ing. Oscar Ramírez Arvizu