

Evolution of FRP Products for Concrete Repair

by Mo Ehsani

Nearly four decades ago, I introduced the use of nonmetallic fiber-reinforced polymer (FRP) products for repair and strengthening of deteriorated beams.^{1,2} In that original concept, known as the wet layup technique, fabrics made with glass or carbon fibers are saturated with epoxy in the field and applied to the exterior surface of the concrete. By the next day, when the epoxy cures, the FRP reaches a tensile strength two to three times that of steel. That system has been used on thousands of projects worldwide and several countries have developed design guidelines for such repairs. In a typical design, the FRP is used to supplement the reduction in capacity of the structural element that occurs when the steel area is reduced by corrosion.

There are a few major shortcomings with the wet layup system though. The first limitation is that the fabric must be directly bonded to a concave surface. It means that a corroded steel H-pile, for example, could not benefit from repair with FRP; forcing the fabric to follow the sharp corners of the H-pile will damage the fibers in the fabric. The second limitation is that the surface must be smooth. When a concrete beam or slab is damaged by corrosion, for example, the damaged area must first be patched and flattened with concrete and allowed to dry before the FRP fabric can be applied. This adds cost and time to the project. The third shortcoming is that the fabrics cannot be easily applied underwater unless costly cofferdams are constructed.

To overcome the above shortcomings, I developed the second generation of FRP products denominated as SuperLaminates. This product class was introduced on the 20th anniversary of the publication of my first article in *Concrete International*.³ These laminates are made by saturating a roll of carbon or glass fabric with resin and subjecting it to heat and pressure using special equipment. The result is a thin laminate with a thickness of about 0.04 in. (1 mm). The main advantage of these laminates is that they eliminate the need for virtually all surface preparation, saving

significant time and money. They can also be applied underwater to repair submerged piles.

The steps for repair of a typical column are shown in Fig. 1. Note that the damaged surface in Fig. 1(a) does not have to be patched. Plastic spacers shown in Fig. 1(b) are passed through a zip tie and attached to the column. Longitudinal bars can snap into these spacers. The 4 ft (1.2 m) wide laminate is cut in a length equal to twice the perimeter of the shell being wrapped plus 8 in. (200 mm). The second half of this laminate is coated with an epoxy paste and wrapped around the column and spacers to create a 4 ft tall two-ply shell around the column (Fig. 1(c)). Additional 4 ft tall shells are similarly installed, overlapping the previous shell by 4 in. (100 mm) (Fig. 1(d)). The annular space between the shells and the host concrete is filled with concrete or grout (Fig. 1(e)). The finished repaired column is shown in Fig. 1(f).

The two-ply laminate shell provides significant confinement for the column, equivalent to No. 4 ties at a spacing of 2.8 in. (12 mm diameter bars at 70 mm). The elimination of steel ties makes the repair much easier because only longitudinal bars must be inserted into the spacers. Note that the impervious shell will prevent any moisture or oxygen ingress, drastically reducing the corrosion rate in the column for decades.

These laminates are also ideal for repair of submerged piles without the need for any cofferdam. The product has been tested extensively by the U.S. Army Corps of Engineers.⁴ Thousands of piles have been repaired with this system globally for various ports and other clients since its introduction in 2012.

The Third Generation of FRP

This article introduces the latest FRP product I have developed. It can replace three products commonly used on repair projects: formwork, reinforcing steel, and waterproofing. The patent-pending panels, named SPiRe[®]+,



Fig. 1: Repair of a deteriorated column with a fiber-reinforced polymer (FRP) laminate: (a) damaged surface; (b) installing the spacers and reinforcing bars; (c) wrapping the first laminate to create a shell; (d) wrapping additional laminates; (e) filling the annular space; and (f) completed repair



Fig. 2: T-panels: (a) 3 ft (910 mm) wide and 12 or 18 ft (3.7 to 5.5 m) long; (b) close view of grit coated surface and steel reinforcing bars that would provide equivalent tensile capacity

are 3 ft (910 mm) wide and can be cut to any length in the field (Fig. 2(a)). They are constructed with glass fabric using a pultrusion process. The exterior face of a panel is flat and smooth, and the interior face has protruding T-profiles. The interior face is also grit coated for improved bonding to concrete. Together, the flat panel and the T-profiles act as reinforcing elements for strengthening beams, slabs, or walls (Fig. 2(b)). The panel wall thickness is 0.2 in. (5 mm).

For repair of walls or slabs, the edges of the panels are overlapped by 4 in. A sealant is applied on this overlapping region in the field to create an impervious watertight joint. In a typical repair project, the panels are secured to the corroded structure with anchor bolts to create the desired annular space

of 2 in. (50 mm) or larger. This annular space is subsequently filled with cementitious or epoxy grout to bond the panels to the host structure. A main advantage of the system is that it requires virtually no surface preparation. The rougher the surface of the host structure, the better the bond between the panels and newly placed grout and the host structure.

Flexural Test

The strength of the T-panels has been demonstrated using the test shown in Fig. 3. An 8 in. wide, 4 in. thick, and 9 ft (2.74 m) long beam was constructed using a Quikrete non-shrink precision grout cast on an 8 in. wide T-panel. Per the grout manufacturer's recommendation, 5-1/4 qt (5 L) of water



Fig. 3: Test specimen: (a) formwork; (b) mixing and placement of grout; and (c) flexural testing of the beam

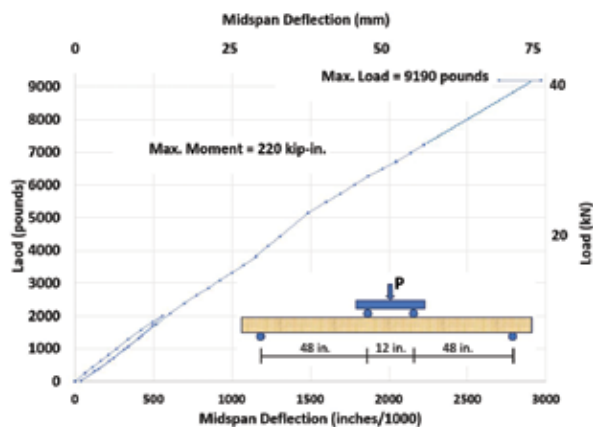


Fig. 4: Load versus midspan deflection of the beam constructed with a T-panel

was mixed with each 50 lb (22.6 kg) bag to produce a grout with a consistency between flowable and fluid (Fig. 3(b)). The beam was subjected to a four-point bending (Fig. 3(c)). The load versus midspan deflection results are shown in Fig. 4.

The only reinforcement in the beam specimen was provided by the two T-profiles and the flat plate of the T-panel (Fig. 3(c)). A large number of fine flexural cracks formed along the length of the beam, indicating a good bond between the T-panel and the concrete. The specimen failed at a load of 9190 lb (41 kN), which corresponds to a flexural moment of 220.5 kip-in. (24.9 kNm). In comparison, if this 4 in. thick beam had been constructed with steel reinforcement, it would have required No. 6 Grade 60 steel bars at a spacing of 3.5 in. (20 mm diameter, 500 MPa bars at 120 mm) to provide the same flexural capacity. Figure 2(b) shows this equivalent steel area, demonstrating that the strength provided by these panels exceeds the reinforcement required for most projects.

Repair of Seawalls

Early applications of this repair system have included seawall repair projects, where T-panels offer advantages by eliminating the need for cofferdams. A repair of severely corroded steel seawall in Weston, FL, USA, is shown in Fig. 5. The seawall borders pump stations where excess flood water is pumped from retention ponds into a canal. Repairs were needed because holes in the existing walls (some as large as 1 ft² [0.1 m²]) allowed significant loss of soil. For repair, these walls were sandwiched between two sets of T-panels, one on each side of the wall.

Repair of Beams and Slabs

Corrosion of reinforcing bars in slabs and girders in buildings, bridges, and ports results in loss of load-carrying



Fig. 5: Repair of corroded steel sheet piles in Weston, FL, USA, in June 2024



Fig. 6: Concrete beams and slabs can be repaired in a few hours with T-panels

capacity. As shown in Fig. 6, repairs can be executed using forms fabricated from T-panels cut to the appropriate dimensions and connected with pultruded angles fastened along the corners. If necessary, glass fiber-reinforced polymer (GFRP) bars can also be added to these panels using special spacers as shown in Fig. 6. These assemblies can be lifted in place and secured with bolts to the host structure before concrete is pumped into the form through ports. Such repairs can be completed in hours instead of weeks, saving time and cost for the project. The panels serve as formwork and reinforcement, and they also provide permanent protection for the host structure against moisture, salt spray, and corrosion. Note that as part of the design for such applications, a check must be made to ensure proper transfer of loads from the T-panels to the host structure through shear. While rough concrete surfaces do provide a large degree of shear transfer, anchor bolts can be designed to connect the panels to the host structure and provide additional shear transfer capacity if needed.

Construction of Retaining Walls

The panels can also be used for new construction. As shown in Fig. 7, for example, they can serve as formwork and reinforcement for retaining wall. In this example, a conventional footing can be constructed with reinforcing bars extending 2 ft (600 mm) above the top of footing. Two rows of T-panels connected by through-bolts can be placed on the footing, shored, and filled with concrete. The bars extending from the footing will transfer tension to the T-profiles, which are the primary reinforcing element in the wall, through a non-contact splice mechanism. Holes can be drilled in the panels for placement of drainage pipes.

Rising Sea Levels

Rising sea levels and subsidence have resulted in flooding in many coastal and riverfront communities, and some

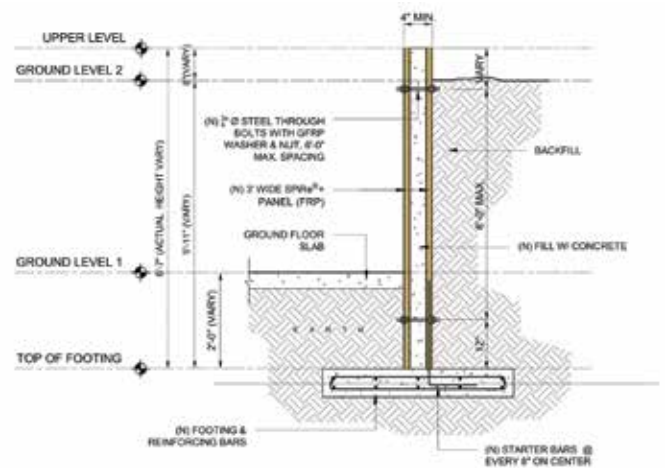


Fig. 7: Construction of retaining walls with T-panels

municipalities have passed regulations requiring that this issue be addressed. As a potential solution, T-panels can be securely connected to the top edge of an existing seawall cap (Fig. 8(a)), additional panels can be placed on the opposite side, and the two layers can be bolted together. By filling the space between these panels with concrete (Fig. 8(b)), a wall extension can be created—often without the need for additional reinforcing bars.

Summary

The evolution of fiber-reinforced polymer (FRP) products for concrete repair over the past four decades has led to the development of a new type of FRP panel. These panels have built-in grit-coated T-profiles that bond to concrete and serve as reinforcing elements for the concrete. In repair applications, the panels can be bolted to existing structures, and the space between the structure and the panels can be filled with

Tech Spotlight



Fig. 8: Seawalls can be extended to limit flooding caused by rising sea levels: (a) SPIRe[®]+ panels can be attached to each other and at both faces of the seawall at its edge; and (b) the resulting space can be filled with concrete

concrete. As such, the panels serve three functions: formwork, corrosion-resistant reinforcement, and waterproofing. The wide range of applications presented herein attest to the unique features of this product.

For more information, visit <https://pilemedic.com/spire-plus/>.

References

1. Saadatmanesh, H., and Ehsani, M.R., "Strengthening of Concrete Girders with Epoxy Bonded Fiber Composite Overlays," Bridge Research in Progress Proceedings of a Symposium Funded by the National Science Foundation and Sponsored by the Iowa State University, Des Moines, IA, Sept. 26-27, 1988, pp. 117-120.
2. Saadatmanesh, H., and Ehsani, M.R., "Fiber Composite Plates Can Strengthen Concrete Beams," *Concrete International*, V. 12, No. 3, Mar. 1990, pp. 65-71.
3. Ehsani, M., "FRP Super Laminates," *Concrete International*, V. 32, No. 3, Mar. 2010, pp. 49-53.

4. Hammons, M.I.; Strickler, J.S.; Murphy, J.W.; Rabalais, C.P.; Crane, C.K.; and Barela, C., "Pile Wrapping for Expedient Port Repair – PIER Spiral 1," Draft report, Engineer Research and Development Center, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, Aug. 2018, 117 pp., <https://pilemedic.com/wp-content/uploads/2023/02/Pile-Wrapping-for-Expedient-Port-Repair-PIER-Spiral-1.pdf>.

The products described in this article are protected by the following current and pending patents:

- Ehsani, M.R., "Repair and Strengthening of Piles and Pipes with FRP Laminates," US Patent No. 9,376,782 B1, United States Patent and Trademark Office, Alexandria, VA, June 28, 2016, 11 pp.
- Ehsani, M.R., "Structure Reinforcement Partial Shell," US Patent No. 10,968,631 B2, United States Patent and Trademark Office, Alexandria, VA, Apr. 6, 2021, 7 pp.

Selected for reader interest by the editors.

Advertise in Ci

For more information, contact

Dan Kaste, Account Executive

Email: dan.kaste@wearemci.com

MCI USA +1.410.584.8355





Mo Ehsani, FACI, is Centennial Emeritus Professor of Civil Engineering at the University of Arizona Tucson, AZ, USA. An innovator in the field of repair and retrofit of structures with fiber-reinforced polymer (FRP) products, he holds over 20 patents in this field. Ehsani is a licensed professional engineer in 19 states and a licensed engineering contractor in Arizona and California.

Evolución de productos FRP para la reparación de concretos

Por Mo Ehsani

Hace casi cuatro décadas, introduje el uso de productos de polímero reforzado con fibra (FRP) no metálicos para la reparación y el refuerzo de vigas deterioradas^{1,2}. En ese concepto original -conocido como la técnica de colocación en húmedo- se saturan en obra telas fabricadas con fibras de vidrio o carbono con resina epóxica, para aplicarlas a la superficie exterior del concreto. Al día siguiente, cuando el epóxico se cura, el FRP alcanza una resistencia a la tracción dos o tres veces mayor que la del acero. Este sistema se ha empleado en miles de proyectos a nivel mundial, y varios países han desarrollado directrices de diseño para este tipo de reparación. En un diseño típico, el FRP se utiliza para compensar la reducción de capacidad del elemento estructural que ocurre cuando se disminuye el área del acero debido a la corrosión.

No obstante, el sistema de colocación en húmedo presenta algunas limitaciones importantes. La primera es que la tela debe adherirse directamente a una superficie cóncava; por ejemplo, un pilote en forma de H, de acero corroído, no podría beneficiarse de una reparación con FRP, ya que forzar a la tela a seguir las esquinas agudas dañaría sus fibras. La segunda limitación es que la superficie debe ser lisa; cuando una viga o losa de concreto se daña por corrosión, el área deteriorada debe ser previamente reparada y nivelada con concreto, dejándose secar antes de aplicar la tela FRP, lo que incrementa el costo y el tiempo del proyecto. La tercera limitación es que las telas no se pueden aplicar fácilmente bajo el agua, a menos que se construyan costosos diques de contención.

Para superar estas limitaciones, desarrollé la segunda generación de productos FRP, denominados SuperLaminates. Esta clase de producto se presentó en el 20º aniversario de la publicación de mi primer artículo en Concrete International³.

Estos laminados se fabrican saturando un rollo de tela de carbono o vidrio con resina y sometiendo a calor y presión mediante equipos especiales. El



Fig. 1: Reparación de una columna deteriorada con un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP): (a) superficie dañada; (b) instalación de los espaciadores y las barras de refuerzo; (c) envolver el primer laminado para formar un cascarón; (d) envoltura de laminados adicionales; (e) rellenar el espacio anular; y (f) reparación terminada.

resultado es un laminado delgado, con un grosor de aproximadamente 1 mm (0.04 in.). La principal ventaja de estos laminados es que eliminan prácticamente toda la preparación de la superficie, lo que supone un ahorro significativo de tiempo y dinero; además, pueden aplicarse bajo el agua para reparar pilotes sumergidos.

Los pasos para la reparación de una columna típica se ilustran en la Fig. 1. Es importante destacar que la superficie dañada en la Fig. 1(a) no requiere parche previo. Se colocan espaciadores plásticos Fig. 1(b) que se fijan a la columna mediante una cinta de amarre. A estos espaciadores se le encajan las barras longitudinales. El laminado -de 1.2 m (4 ft) de ancho- se corta a una longitud igual al doble del perímetro del cascarón de la columna más 200 mm (8 in.). La segunda mitad de este laminado se recubre con una pasta epóxica y se envuelve alrededor de la columna y los espaciadores para formar una envoltura de dos capas de 1.2 m (4 ft) de alto (Fig. 1(c)). Se instalan cascarones adicionales de 1.2 m (4

ft) de alto, traslapando a la anterior por 100 mm (4 in.) (Fig. 1(d)). El espacio anular entre el cascarón y el concreto base se rellena con concreto o lechada (Fig. 1(e)), dando como resultado la columna reparada que se muestra en la Fig. 1(f).

El cascarón laminado de dos capas proporciona un confinamiento significativo para la columna, equivalente a estribos No. 4 (barras de 12 mm de diámetro a 70 mm de espaciamiento). La eliminación de estribos de acero facilita notablemente la reparación, ya que solo es necesario insertar barras longitudinales en los espaciadores. Además, el cascarón impermeable impide la entrada de humedad y oxígeno, lo que reduce drásticamente la tasa de corrosión de la columna durante décadas.

Estos laminados son también ideales para la reparación de pilotes sumergidos sin necesidad de diques de contención. El producto ha sido sometido a rigurosas pruebas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU⁴. Desde su introducción en 2012, miles de pilotes han sido reparados globalmente con este sistema en diversos puertos y para otros clientes.

La Tercera Generación de FRP

Este artículo presenta el último producto FRP que he desarrollado, el cual puede sustituir tres elementos comúnmente utilizados en proyectos de reparación: encofrado, acero de refuerzo e impermeabilización. Los paneles patentados, denominados SPiRe[®]+, tienen 910 mm (3 ft) de ancho y pueden cortarse a cualquier longitud en obra (Fig. 2(a)). Se fabrican con tela de vidrio mediante un proceso de pultrusión. La cara exterior del panel es plana y lisa, mientras que la interior presenta perfiles en T que sobresalen, y está recubierta con arena (grit coated) para mejorar la adherencia al concreto. Juntos, el panel plano y los perfiles en T actúan como elementos de refuerzo para vigas, losas o muros (Fig. 2(b)). El espesor de la pared del panel es de 5 mm (0.2 in.).

Para la reparación de muros o losas, los bordes de los paneles se traslapan por 10 cm (4 in.). Se aplica en obra un sellador sobre la zona de superposición para crear una junta impermeable. En un proyecto típico, los paneles se fijan a la estructura corroída mediante pernos de anclaje, creando un espacio anular deseado de 50 mm (2 in.) o mayor; este espacio se rellena posteriormente con lechada para unir los paneles a la estructura base. Una ventaja principal del sistema es que prácticamente no requiere preparación previa de la superficie; a mayor rugosidad del sustrato, mejor es la adherencia entre los paneles y la lechada recién colocada.



Prueba de Flexión

La resistencia de los paneles T se ha demostrado mediante la prueba ilustrada en la Fig. 3. Se construyó una viga de 8 in. de ancho, 4 in. de espesor y 9 ft (2.74 m) de largo, utilizando una lechada de precisión sin contracción (Quikrete) vertida sobre un panel T de 8 in. de ancho. Según la recomendación del fabricante de la lechada, se mezclaron 5-1/4 qt (5 L) de agua con cada bolsa de 50 lb (22.6 kg) para obtener una consistencia intermedia entre fluida y vertible (Fig. 3(b)). La viga se sometió a una prueba de flexión en cuatro puntos (Fig. 3(c)), y en la Fig. 4 se presentan los resultados de la relación carga versus deflexión en la zona media. El único refuerzo en el espécimen de la viga fue proporcionado por los dos perfiles en T y la placa plana del panel T (Fig. 3(c)). Se formaron

numerosas grietas finas por flexión a lo largo de la viga, lo que indica una excelente adherencia entre el panel y el concreto. El espécimen falló con una carga de 9190 lb (41 kN), lo que equivale a un momento de flexión de 220.5 kip-in. (24.9 kNm). En comparación, si esta viga de 4 in. de espesor se hubiese construido con refuerzo de acero, se habrían requerido barras No. 6 Grade 60 a un espaciamiento de 3.5 in. (barras de 20 mm de diámetro, 500 MPa, a 120 mm) para lograr la misma capacidad de flexión. La Fig. 2(b) ilustra el área de acero equivalente, demostrando que la resistencia proporcionada por estos paneles excede la requerida para la mayoría de los proyectos.

Reparación de Muros de Contención Marinos

Entre las primeras aplicaciones de este sistema se encuentra la reparación de muros de contención en ambientes marinos, donde los paneles T ofrecen la ventaja de eliminar la necesidad de diques de contención. La Fig. 5 muestra la reparación de pilotes de chapa de acero severamente corroídos en Weston, FL, EE. UU., en junio de 2024. Dichos muros se ubican junto a estaciones de bombeo, de donde se extrae el exceso de agua de inundación de estanques de retención hacia un canal. Las reparaciones fueron necesarias porque los orificios existentes en los muros (algunos de hasta 1 ft² [0.1 m²]) permitían una pérdida considerable del suelo. Para la reparación, estos muros se “sanduchearon” entre dos conjuntos de paneles T, uno en cada cara del muro.



Fig. 5: Reparación de tablestacas de acero corroídas en Weston, FL, EE. UU., en junio de 2024.

Reparación de Vigas y Losas

La corrosión de las barras de refuerzo en losas y vigas—en edificios, puentes y puertos—resulta en una pérdida de capacidad portante. Como se muestra en la Fig. 6, las reparaciones pueden ejecutarse utilizando encofrados fabricados con paneles T cortados a las dimensiones requeridas y conectados con ángulos pultruidos. Si es necesario, se pueden añadir barras de FRP de vidrio (GFRP) a estos paneles mediante el uso de espaciadores especiales (véase Fig. 6). Estos ensamblajes se pueden elevar en su lugar y asegurar con pernos a la estructura base antes de bombear el concreto en el encofrado a través de aberturas. Dichas reparaciones se completan en horas en lugar de semanas, lo que supone un ahorro significativo en tiempo y costo. Los paneles actúan simultáneamente como encofrado, refuerzo resistente a la corrosión e impermeabilización; además, proporcionan protección permanente a la estructura contra la humedad, el ataque de sales y la corrosión. Es importante verificar, como parte del diseño de estas aplicaciones, la correcta transferencia de cargas desde los paneles T a la estructura base mediante esfuerzos cortantes. Aunque las superficies rugosas del concreto facilitan esta transferencia, se pueden diseñar pernos de anclaje para conectar los paneles y aportar capacidad adicional de transferencia de cortante si fuera necesario.

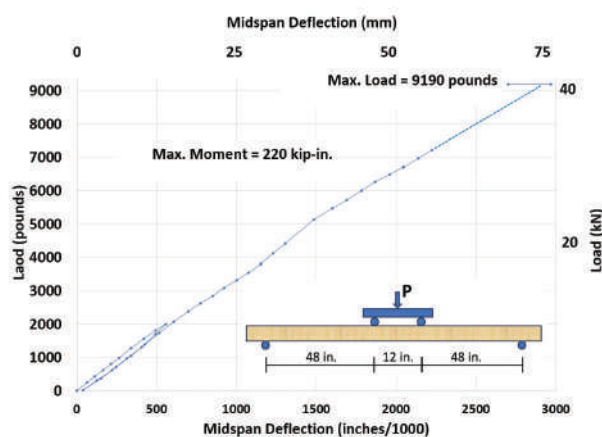


Fig. 4: Carga frente a deflexión en la mitad del claro de la viga construida con un panel T. Carga máx. = 9190 lb. Momento máx. = 220 kip-in. En el diagrama se muestra la deflexión en la mitad del claro en pulgadas/1000.

Construcción de Muros de Contención

Los paneles también pueden emplearse en construcciones nuevas. Como se muestra en la Fig. 7, pueden funcionar como encofrado y refuerzo para muros de contención. En este ejemplo, se puede construir una cimentación convencional (zapatas) con barras de refuerzo que se extiendan 2 ft (600 mm) por encima de su parte superior. Se disponen dos hileras de paneles en T, conectados mediante

pernos pasantes, sobre la zapata, se apuntalan y se rellenan con concreto. Las barras que sobresalen de la zapata transfieren la tensión a los perfiles en T—que actúan como el principal elemento de refuerzo del muro—a través de un mecanismo de empalme sin contacto. Además, se pueden perforar agujeros en los paneles para la instalación de tuberías de drenaje.



Fig. 6: Las vigas de concreto y las losas pueden ser reparadas en unas horas con paneles T.

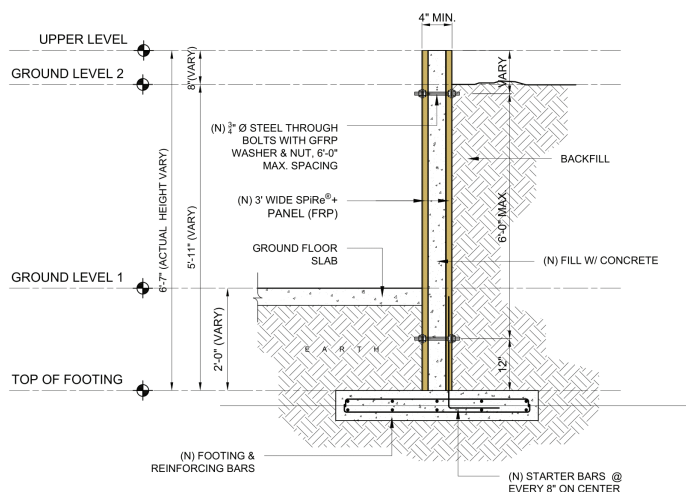


Fig. 7: Construcción de muros de retención con paneles T.

Aumento del Nivel del Mar

El incremento del nivel del mar y la subsidencia han provocado inundaciones en muchas comunidades costeras y ribereñas, lo que ha llevado a algunos municipios a aprobar normativas para abordar esta situación. Como solución potencial, los paneles T pueden fijarse de forma segura al borde superior

de la tapa de un muro de contención existente (Fig. 8(a)); posteriormente, se pueden colocar paneles adicionales en el lado opuesto y unir ambas capas mediante pernos. Al rellenar el espacio entre estos paneles con concreto, se crea una extensión del muro—frecuentemente sin necesidad de barras de refuerzo adicionales (Fig. 8(b)).

Resumen

La evolución de los productos de polímero reforzado con fibra (FRP) para la reparación de concreto en las últimas cuatro décadas ha conducido al desarrollo de un nuevo tipo de panel FRP. Estos paneles incorporan perfiles en T, recubiertos con arena para mejorar la adherencia, que se unen al concreto y actúan como elementos de refuerzo. En aplicaciones de reparación, los paneles se fijan a la estructura existente y el espacio intermedio se rellena con concreto o lechada, de modo que los paneles cumplen tres funciones: encofrado, refuerzo resistente a la corrosión e impermeabilización. La amplia gama de aplicaciones descritas atestigua las características únicas de este producto.

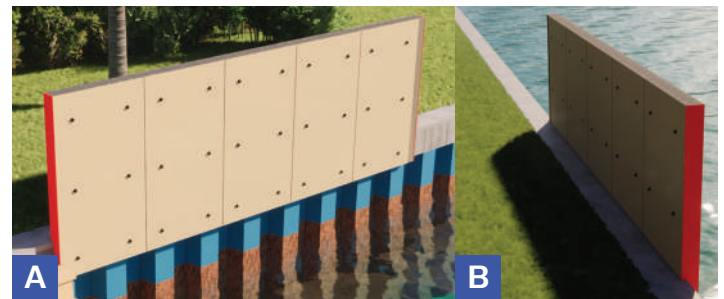


Fig. 8: Los rompeolas se pueden extender para mitigar inundaciones causadas por el aumento del nivel del mar: (a) Se pueden juntar paneles SPiRe®+ a cada uno y a cada cara del rompeolas en su contorno; y (b) el espacio sobrante se puede rellenar de concreto.

Referencias

1. Saadatmanesh, H., y Ehsani, M.R., "Fortalecimiento de vigas de concreto con recubrimientos compuestos de fibra adheridos con epóxico", Bridge Research in Progress Proceedings of a Symposium Funded by the National Science Foundation and Sponsored by the Iowa State University, Des Moines, IA, 26-27 de septiembre de 1988, pp. 117-120.
2. Saadatmanesh, H., y Ehsani, M.R., "Las placas compuestas de fibra pueden fortalecer vigas de concreto", Concrete International, V. 12, No. 3, marzo de 1990, pp. 65-71.
3. Ehsani, M., "FRP Super Laminates", Concrete International, V. 32, No. 3, marzo de 2010, pp. 49-53.
4. Hammons, M.I.; Strickler, J.S.; Murphy, J.W.; Rabalais, C.P.; Crane, C.K.; y Barela, C., "Envoltura de pilotes para reparación expedita en puertos – PIER Spiral 1", informe preliminar, Engineer Research and Development Center, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU., Vicksburg, MS, agosto de 2018, 117 pp., <https://pilemedic.com/wp-content/uploads/2023/02/Pile-Wrapping-for-Expedient-Port-Repair-PIER-Spiral-1.pdf>.

Mo Ehsani, FACI, es Profesor Emérito Centenario de Ingeniería Civil en la Universidad de Arizona, Tucson, AZ, EE. UU. Innovador en el campo de la reparación y modernización de estructuras con productos de polímero reforzado con fibra (FRP), posee más de 20 patentes en este ámbito. Ehsani es ingeniero profesional licenciado en 19 estados y contratista de ingeniería licenciado en Arizona y California.



Título original en inglés:
**Evolution of FRP Products
for Concrete Repair**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
México Noroeste**



Traductor:
**Emiliano Martínez
Villalobos**
*Estudiante Ing. Civil
Universidad de Sonora*



Revisor Técnico:
**Ing. Oscar Ramírez
Arvizu**