

POLÍMEROS FIBROREFORZADOS

Una alternativa sustentable frente al ataque de la corrosión en el concreto armado

M. Noricumbo

Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es: ingrid@fco.uo.edu.cu

Se define el fenómeno de la corrosión como la "reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medioambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades". La capa de óxido que se forma en el acero de refuerzo trae consigo un aumento de volumen en la barra, de 2 a 4 veces mayor que el volumen del acero original. Este óxido provoca la pérdida de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto, llegando a provocar el estallamiento del recubrimiento; con la correspondiente pérdida de las propiedades mecánicas, reduciendo la capacidad de resistencia del acero y consecuentemente la del elemento de concreto reforzado (**Foto 1 y 2**).

Los costos por acciones correctoras o de detención de estas patologías generadas por la corrosión del acero en estructuras de concreto reforzado, suelen ser en la actualidad considerablemente significativos. En Norteamérica, por ejemplo, los costos de reparación se estiman muy cercanos a los 300 mil millones de dólares anuales; mientras que en México, pueden superarse los 10,000 millones de dólares al año. Son cifras que lejos de manifestar tendencia a la estabilidad o a la disminución, tienden a crecer cada día; motivado por factores distintos y complejos, muchas veces relacionados entre sí.

Este hecho coloca a la comunidad profesional y científica ante un reto mundial; que motiva el abrir nuevas brechas del conocimiento científico en la tecnología del concreto reforzado. Conocer el fenómeno de la corrosión de las barras de acero de refuerzo embebidas en el concreto, e investigar y buscar alternativas para reducir los



Foto 1

Foto 2



32

Efectos de la corrosión de las barras de acero de refuerzo en el lecho inferior de una losa de concreto armado.



Fuente: ATE IMCYC.

Efectos de la corrosión de las barras de acero de refuerzo en columna de concreto armado para apoyo de equipo industrial.



Fuente: ATE IMCYC.

efectos negativos de este fenómeno, es una de las brechas que puede culminar con éxito en la disminución de las pérdidas cuantiosas que provoca.

En este ámbito, se abren paso las varillas de refuerzo compuesto, y en ello los denominados Polímeros Reforzados con Fibra (FRP por sus siglas en inglés); los que si bien han sido estudiados a partir de las últimas décadas, aún no se han utilizado a gran escala en aplicaciones de construcción. Parece ser que las varillas de refuerzo fabricadas con FRP pueden constituirse en una atractiva posibilidad; pues resultan en productos con muy diversas y significativas ventajas, mucho más si son comparados con las barras de acero de refuerzo tradicional.

Los FRP son productos para el refuerzo del concreto con una alta relación resistencia/peso; puede compararse en 50 veces más que la del concreto, y 20 veces más que la del acero. Suelen ser menos susceptibles a la degradación medioambiental que provoca la exposición a ácidos alcalinos, ambientes marinos, u otros; resultando ser muy ligeros (aproximadamente la cuarta parte del peso de una varilla de acero de tamaño equivalente), excelentes aislantes térmicos y con suficiente neutralidad electromagnética.

Las varillas de refuerzo de FRP contribuyen entonces a elevar en niveles significativos la durabilidad de las estructuras propensas al fenómeno de la corrosión. Son recomendadas para estructuras de concreto reforzado expuestas a las sales producto del deshielo, con necesidad de neutralidad eléctrica o magnética, cercanas al mar o marinas, o sometidas a ambientes agresivos en general.

Los materiales compuestos de fibra de vidrio o carbono se han utilizado desde 1940 en aplicaciones militares, aeroespaciales y navales. Utilizados por vez primera en la década de 1950; no es hasta 1986 que se emplearon para reforzar un puente de concreto en Alemania. Asimismo se utilizaron en los Estados Unidos en 1996 para el reforzamiento de un puente de concreto en MC Kinneyville WV, en Virginia Occidental y en 1999 para losas pretensadas también de un puente en Lawrence Tech en Southfield, Michigan.

En sentido general, estos compuestos han sido utilizados igualmente con éxito en el medio marino, automovilístico, y de recreación. Otras aplicaciones también han tenido lugar en el sector constructivo; cabe destacar su empleo en la construcción de tuberías, tanques de almacenamiento, fachadas de edificios y elementos arquitectónicos.

Es en estas mismas circunstancias que se presenta como novedoso el empleo de los FRP para la fabricación de varillas de refuerzo en sustitución del acero convencional para estructuras de concreto reforzado; principal propósito de este escrito (**Foto 3**).



Foto 3

Varilla de fibra de vidrio; en la fotografía se aprecia la ligereza del proceso de habilitado.



Fuente: Cortesía de Ing. M. Noricumbo de GGM: Soluciones en FRP.

Foto 4



Poste de electricidad construido en México con varilla de fibra de vidrio.



Fuente: Cortesía de Ing. M. Noricumbo de GGM: Soluciones en FRP.

⁽¹⁾ Proceso productivo de conformado de materiales plásticos termo- rígidos para obtener perfiles de plástico reforzado, de forma continua, sometiendo a las materias primas a un arrastre y parado por operaciones de impregnado, conformado, curado y corte. Se caracteriza por un buen acabado superficial.

Fuente: <http://es.wikipedia>

REFERENCIAS:

- **ACI Committee 440, "ACI.1R-08: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars".**
- **CYTED, "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado", 1997.**
- **CANCSA S806-12 "CSA STANDARDS: Design and Construction of building structures with fibre-reinforced polymers".**
- **GRUPO GAIREC, "V-ROD Varillas de refuerzo compuesto para estructuras de concreto hidráulico", México, 2009.**

Son productos que cada día demuestran ser la solución por varios aspectos, entre los que sobresalen: ligereza, resistencia a la corrosión, excelente resistencia a la tensión, y elevado desempeño mecánico; sin dejar a un lado las similares condiciones de instalación si se comparan con las varillas de acero, y las ventajas presentes en su manipulación y almacenamiento (**Foto 4**).

El proceso de fabricación de estos elementos es por medio de un proceso de pultrusión ⁽¹⁾, siguiendo la secuencia de subprocesos que puede constatar en la **Figura 1**. Las propiedades de estos compuestos son el resultado de una combinación de materiales en los elementos de FRP que incluye entonces: fibras (refuerzos), resinas (polímeros), rellenos, y aditivos.

El recubrimiento de estos elementos se realiza a base de arena sílica; lo que proporciona un incremento en la adherencia una vez ahogada la varilla en el concreto. La arena sílica, fijada por medio de un proceso de fusión, rodea en su totalidad a la superficie de la varilla, y al estar ahogada en el concreto se integra con el mismo; ofreciendo como resultado una extraordinaria adherencia.

En el caso de las fibras de vidrio de alta resistencia, suele utilizarse una resina vinilester (resina con buenas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico, muy resistente a la corrosión, que soporta altas temperaturas y con buen desempeño ante la fatiga); las fibras de vidrio ofrecen resistencia mecánica a la varilla, de la misma manera en que la resina concede una elevada resistencia a la corrosión en ambientes agresivos (resistencia química). Las varillas reforzadas con fibra de carbono, por su parte, se recomiendan para empleos más ambiciosos; el producto reforzado con fibra de carbono y resina vinilester se utiliza para reforzar estructuras dañadas.

La resina, independientemente de la resistencia química, tiene otras funciones en estos compuestos como pueden citarse: transferir los esfuerzos entre las fibras, proporcionar soporte lateral contra el pandeo, y proteger las fibras de daños mecánicos y ambientales; en cambio, las fibras son las encargadas de soportar las cargas, y al mismo tiempo proporcionar resistencia y rigidez al producto.

Algunas características distinguen a los refuerzos de FRP en comparación con otros materiales. Estas varillas no se oxidan, incluso en ambientes agresivos; tampoco reaccionan con las sales u otras sustancias presentes en el concreto. Si estos refuerzos resultan entonces resistentes al fenómeno de la corrosión, puede deducirse de esta ventaja que se reducen considerablemente con su empleo, los costos de mantenimiento

Figura 1



- (1) Materia Prima para el reforzamiento (fibra de vidrio dispersa).
- (2) Placa guía.
- (3) Saturación de resina.
- (4) Recubrimiento superficial.
- (5) Moldeado y curado.
- (6) Sistema de tensado.
- (7) Sierra de corte.
- (8) Estante con esteras.
- (9) Alimentador de resina.
- (10) Sistema de conformación.
- (11) Sistema de Control Automático.

Fuente: Adaptado de www.unicomposite.com/pultrusion_process.htm

y reparación. Igualmente puede afirmarse que con estos se mejora la vida útil de las estructuras, y contribuyen a obtener mejores costos en los ciclos de vida.

En otro orden, estas varillas son productos que aseguran con su empleo suficiente neutralidad electromagnética; pues no contienen ningún metal y no provocan interferencia en contacto con campos magnéticos, o al operar instrumentos electrónicos sensibles. En general las estructuras intervenidas con las fibras de vidrio o carbono, no bloquean las ondas de radio, tampoco interfieren con las ondas de radar; más bien facilitan las comunicaciones a través de las propias estructuras.

Por lo general, los productos elaborados según el proceso de pultrusión suelen tener una resistencia a la tensión muy elevada; de hecho las varillas de FRP llegan a tener niveles de resistencia a la tensión mucho mayores que la del acero convencional (**Fig. 2**). Asimismo, al tener muy baja densidad se garantizan ahorros en costos por concepto de transporte y en el propio proceso de construcción. No debe olvidarse la sencillez y rapidez en la aplicación, así como al menor requerimiento de fuerza de trabajo y de equipos.

Las excelentes propiedades de aislamiento eléctrico de las varillas de refuerzo de FRP se fundamentan por su parte, en que son resistentes a la corrosión electroquímica; así como también en que no hay pérdida de corriente a través de la estructura de refuerzo. En otro orden, cabe destacar la versatilidad de fabricación con FRP; que permite que las características geométricas, de resistencia, de rigidez y durabilidad de los miembros se adapten a cada aplicación particular.

En la actualidad se ha establecido con pruebas documentadas, que la varilla de refuerzo a base de FRP representa una solución ventajosa para una amplia gama de aplicaciones, de ahí que el producto y sus aplicaciones se han estandarizado, permitiéndose así la validación de su calidad y de sus propiedades.

Varios son los países que han utilizado de manera importante este material; países como Canadá, Estados Unidos, Alemania, Emiratos Árabes, Japón y Australia han dado cuenta de que estas varillas de refuerzo responden a la necesidad de una solución sustentable a largo plazo frente a la corrosión. Asimismo diversos códigos y guías de diseño norman su empleo a nivel internacional, algunos de estos se muestran en la **Tabla 1**.

El uso de varillas de refuerzo de fibra de vidrio o carbono, según estudios realizados en Canadá han tenido como resultado, ahorros en costos totales de intervención (mantenimiento e incluso demoliciones) de entre 45 y 60%; asimismo, en lo que respecta al ciclo de vida de la estructura, es posible obtener ahorros de entre el 15 y el 25%. Con respecto a los ahorros que se obtienen en el proceso de construcción, es común que varíe entre 15 y 30%, dependiendo de la protección contra la corrosión que se pretenda aplicar.

El empleo de varillas fabricadas a base de polímeros reforzados con fibras de carbono o de vidrio, puede considerarse una solución para combatir los problemas de corrosión en las estructuras de concreto armado, lo que hoy crea muchas expectativas en la mejora de la vida útil de las estructuras. Su empleo en México promete alentadores resultados, con lo que se prevén no solo considerables ahorros en mantenimientos preventivos y correctivos, sino también ofreciendo la necesaria seguridad a los usuarios finales. **C**

Gráfica que correlaciona los esfuerzos a la tensión con las deformaciones unitarias correspondientes, y en donde es posible comparar el desempeño a tensión del concreto, el acero de refuerzo convencional, y el polímero reforzado con fibra de vidrio y carbón, respectivamente.

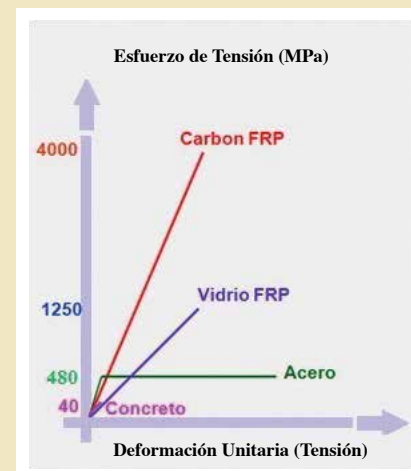


Tabla 1

Códigos y guías de diseño que norman el empleo de FRP.

CODIGOS Y GUIAS DE DISEÑO	
ACI	Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures - ACI 440R-07, September, 2007
	Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforce
	Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars - ACI 440.5-08, June, 2008
AASHTO	Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement - ACI 440.6-08, June, 2008
	LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings - November, 2009
	CAN / CSA-S6-06 Canadian Highway Bridge Design Code - Section 16 - 2006
ASTM	D7205-06 - Cross Section, Tensile
	D7337 -07 - Creep Rupture
	D7522-09 - Laminate Direct Pull Off
	D7565-09 - Laminate Tension / Calcs