

RESISTENCIA REAL, ÚLTIMA GARANTIZADA Y RESISTENCIA DE DISEÑO DEL POLIMERO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)

REAL STRENGTH, LAST GUARANTEED AND DESIGN RESISTANCE OF FIBERGLASS REINFORCED POLYMER (GRP)

Sánchez Hernández Juan Alberto¹

RESUMEN

Las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) son un material que está siendo adoptado a nivel mundial como una opción al acero, especialmente en las zonas altamente expuestas a agentes que facultan la corrosión del acero ya que las pruebas parecen garantizar nula corrosión o poca degradación del PRFV con el paso del tiempo (Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio, 2015).

El presente trabajo analiza las condiciones del estado del arte en cuanto a las características de los material fabricados en la actualidad y los compara con el código de diseño ACI 440 1R (2015) y el reciente estándar ASTM D7957/D7957M-17 (2017) para generar conciencia de la importancia de las especificaciones en los planos del material específico para el que se diseña.

Palabras clave: Compuestos poliméricos, polímero reforzado, fibra de vidrio, corrosión, concreto reforzado.

ABSTRACT

Fiberglass Reinforced Polymer (GRP) bars are a material that is being adopted worldwide as an option to steel, especially in areas highly exposed to agents that em-

power corrosion of steel as tests seem to guarantee zero corrosion or little degradation of GRP over time (Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio, 2015).

This work analyzes the conditions of the state of the art in terms of the characteristics of the materials currently manufactured and compares them with the design code ACI 440 1R (2015) and the recent standard ASTM D7957/D7957M-17 (2017) to raise awareness of the importance of specifications in the plans of the specific material for which it is designed.

Keywords: Polymeric composites, reinforced polymer, fiberglass, corrosion, reinforced concrete.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los compuestos poliméricos es relativamente reciente y es a partir del año dos mil que el ACI creó el comité 440 recolectando toda información sobre el estado del arte y la técnica disponible a la fecha y dando lugar a investigaciones y códigos de diseño cuya actualización se ha dado gradualmente con los avances tecnológicos (Wainshtok Rivas, Hernández Caneiro, & Díaz Pérez, 2015). Los primeros compuestos poliméricos tomados principalmente de la carrera espacial estaban basados en fibras de carbono (CFRP), la cual resulta muy costosa para el uso masivo en el reforzamiento estructural interno del concreto, otro compuesto basado en fibras de aramida (AFRP) se dio en la búsqueda de mejor comportamiento y costo pero el uso de estos excelentes materiales se ha quedado en el reforzamiento de estructuras dañadas y deterioradas cuyos costos de demolición justifican el elevado valor de estos materiales.

El polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP o PRFV en español) cuyos primeros usos fueron para cubiertas de embarcaciones y vehículos resultó un material que podía garantizar durabilidad y resis-

¹ Integrante de la Comisión de Estructuras del Colegio de Ingenieros Civiles de Chiapas A.C. (CICCH). Email: proyest.ingenieria@gmail.com

tencia a costos aceptables. Aun así, la calidad de la fibra de vidrio y las distintas matrices poliméricas confieren propiedades muy variadas a las diferentes marcas de barras de refuerzo basadas en PRFV que actualmente existen en el mercado (Nanni, Luca, & Jawahery, 2014). Es hasta el 2017 que la *American Society for Testing and Materials* publica su norma (ASTM D7957/D7957M-17, 2017) referente a la especificación estándar para barras redondas de polímero reforzadas con fibra de vidrio para refuerzo de concreto que se tiene un referente para regular las capacidades últimas garantizadas, así como la estandarización de diámetros y nomenclatura que a la fecha aún existen en razones milimétricas y de octavos de pulgada.

La aplicación de la norma ASTM no es aun del todo obligatoria, pero es natural que ningún proveedor que quiera mantenerse en el mercado se quedará fuera de su implementación en un lapso no mayor a cinco años.

CAPACIDAD REAL Y CAPACIDAD ÚLTIMA GARANTIZADA

Como ya se mencionó, las diferentes marcas y formulaciones de fabricación de las barras de compuestos poliméricos, han dado lugar a la necesidad de que cada proveedor establezca de manera consistente las capacidades garantizadas de sus productos ya que estos no solo dependerán de sus insumos, si no del grado de industrialización y garantía del control de calidad que posean.

Las barras de compuestos poliméricos como es el caso del PRFV, son anisótropas, es decir poseen capacidades muy distintas a la tensión, corte y compresión. Por lo que cada propiedad debe obtenerse del fabricante de la barra. El cual evaluará sus materiales a partir de 25 muestras de acuerdo a una distribución normal (gaussiana), de tal forma la capacidad (C^*u) corresponda al promedio de las muestras menos tres desviaciones estándar ($C^*u = C_u = C_{prom} - 3\sigma$). Lo que garantizará que el 99.87% de los valores reales se encuentren por encima de dicha especificación (ACI 440 1R, 2015).

En esta investigación se contó con reportes del control de calidad de barras de PRFV de diferentes diámetros milimétricos, que no se detallaron y que fueron proporcionados por tres diferentes laborato-

rios, por lo que si bien no pueden referirse a un solo proveedor si nos permite tener una idea comparativa con el estándar (ASTM D7957/D7957M-17, 2017) y otras referencias.

El promedio del muestreo, su desviación estándar y el coeficiente de variación se valorizó de acuerdo con las siguientes expresiones estadísticas:

$$\bar{x} = \frac{(\sum_i^n x_i)}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n - 1}}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}(100)$$

Donde: \bar{x} = Promedio de la muestra,
 σ = Desviación estándar de la muestra,
 CV = Coeficiente de variación de la muestra (expresada en por ciento),
 n = número de datos de la muestra,
 x = i-ésimo valor de la propiedad evaluada.



Figura 1. Prueba de tensión de barra de PRFV

Con referencia a la capacidad a tensión, se contó con 8 (ocho) reportes que acusaron lo indicado en la Tabla 1:

Tabla 1. Resultados a la falla de Pruebas a tensión en MPa

#	ff*u
1	1,180
2	1,170
3	1,060
4	1,000
5	1,370
6	1,230
7	850
8	1,140

Aplicando las expresiones estadísticas pudimos determinar la capacidad última a tensión especificable (ff*u):

$$ffu = 1,125 \text{ MPa (máxima de ruptura)}$$

$$\sigma = 157 \text{ MPa}$$

Por lo que de acuerdo con el ACI 440 1R (2015), la capacidad última especificable sería:

$$ff*u = ffu - 3 \sigma$$

$$ff*u = 655 \text{ MPa}$$

No obstante, de acuerdo con las NTC M (2017), podríamos evaluar dicha capacidad en función del coeficiente de variación de las muestras, tal como se considera para determinar la capacidad de los elementos mamposteables, de la siguiente forma:

$$ff*u = \frac{ff}{1+2.5 CV} = 834 \text{ MPa, con } Cv = 14\%$$

Y en las que un CV mayor a 10%, podría indicar una producción menos tecnificada y si el CV excede al 30% se podría llegar a considerar de manufactura artesanal.

Ahora bien, de acuerdo con la norma ASTM D7957/D7957M-17 (2017) el valor mínimo promedio para el ff*u especificable a los diámetros entre 4 mm y 12 mm, debe ser de 829 MPa, que no parece garantizarse en esta muestra variada y lo cual resulta lógico considerando que aun cuando ninguno valor

está por debajo de lo indicado por la ASTM, la variación de resultados entre proveedores es evidente que generen una elevada desviación estándar. Ganga-Rao, Taly y Vijay (2007) refiere capacidades de 786 MPa a compuestos de Fibra de Vidrio/Epoxi, Nanni, Luca, & Jawahery (2014) establece variaciones entre 480 MPa y 1585 MPa y el ACI 440 1R (2015) entre 483 MPa y 690 MPa para estos compuestos, previos a la aparición de la norma ASTM en el 2017 y aún vigentes en Europa.

De similar forma se obtuvieron los estadísticos de la prueba al corte transversal con los siguientes resultados:

$$fv = 232 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 42 \text{ MPa}$$

$$Cv = 18\%$$

$$fv*u = 105 \text{ MPa (ACI 440 1R, 2015)}$$

$$fv*u = 159 \text{ MPa (NTC M, 2017)}$$

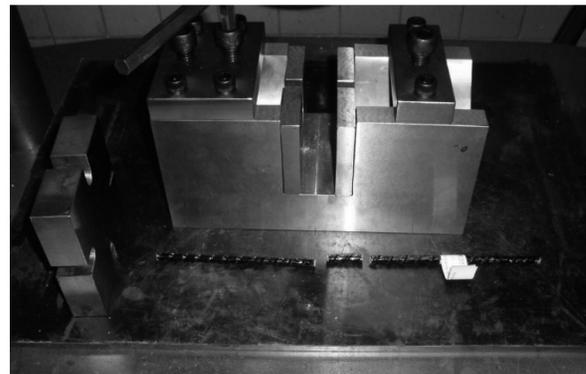


Figura 2. Prueba de corte en barra de PRFV

Siendo que las normas ASTM establecen un mínimo de $fv*u = 131 \text{ MPa}$, los valores aquí determinados parecen no cumplir con esta condición debido a la falta de uniformidad de la calidad de los materiales utilizados, derivado de las diversas fuentes.

Otro valor de interés es sin duda el módulo elástico, que sabemos de acuerdo con Nanni, Luca y Jawahery (2014) y el ACI 440 1R (2015) que dicho valor oscila entre diferentes proveedores en 35 GPa y 51 GPa. En tanto que los valores obtenidos nos reflejaron un promedio de: $E_f = 66 \text{ GPa}$, con un valor mínimo de 52 GPa, en la muestra. En tanto que la norma ASTM establece un mínimo de: $E_f = 44.8 \text{ GPa}$.

Como podemos observar la capacidad real de

este material, es variable por lo que es la capacidad garantizada por el proveedor es la que interesa en el análisis y diseño estructural, siendo importante consultar con el proveedor sobre estas garantías en tanto que la norma ASTM llegue a ser estandarizada a nivel mundial y pueda ser usada como referente único.

RESISTENCIA DE DISEÑO

Como menciona Sánchez Hernández (2019) el mayor problema que afecta al PRFV no es ni el ácido ni la radiación solar, sino la alcalinidad y precisamente debido a esta condición se han realizado diversas investigaciones encaminadas a constituir diseños seguros ante la pérdida de capacidad que puede representar el hecho de que la barra se encuentre

sumergida en concreto, ya que exposiciones directas en soluciones alcalinas $\text{PH} > 12$ y temperaturas superiores a los 50° , parecen degradar la matriz y la fibra. Hasta el momento el uso del coeficiente ambiental (CE) que representa la prueba ASTM D7705/D7705M-19 (2019) para evaluar la resistencia a los álcalis de las barras compuestas de matriz de polímero reforzado con fibra (FRP) utilizadas en la construcción de concreto parece funcionar muy bien para estimar la pérdida de resistencia de las barras dentro de la vida útil de la estructura y en condiciones de exposición típicas, $7 < \text{PH} < 12$. Dicha prueba (ASTM D7705/D7705M-19, 2019) consiste en someter a las barras a una sustancia alcalina a una temperatura elevada (60°C) para simular los efectos del tiempo.

Existen 3 formas de llevar la prueba, el proce-

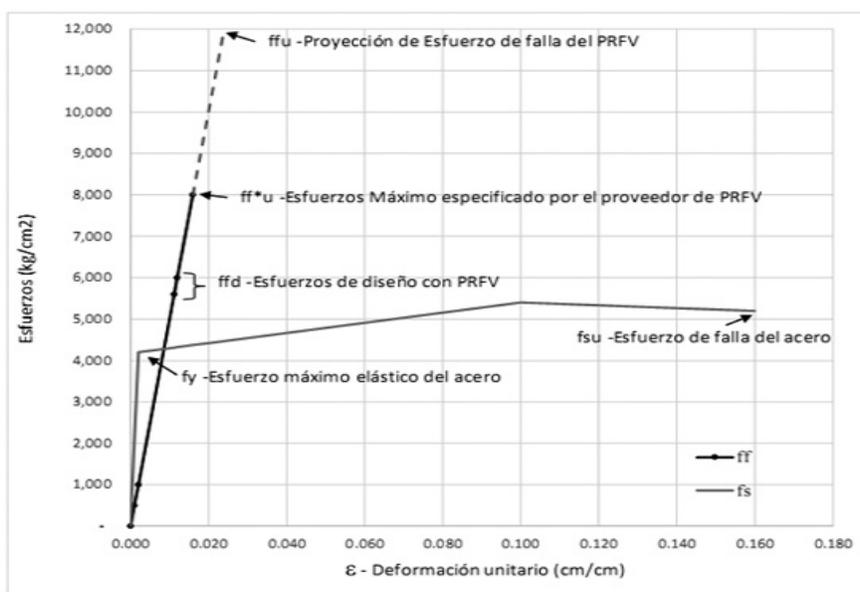


Figura 3. Límites últimos y de diseño de PRFV y Acero.

dimiento A, que es apropiado para la detección rápida de barras FRP para resistencia a los álcalis; el procedimiento B para caracterizar la resistencia a los álcalis de las barras de FRP bajo carga mecánica sostenida en un entorno alcalino acuoso estándar destinado a representar el agua de poro del concreto y el procedimiento C adecuado para caracterizar la resistencia a los álcalis de las barras de FRP bajo carga mecánica sostenida en concreto de cemento Portland. Siendo el procedimiento A, el exigido por

la ASTM D795705/D7957M-17 (2017) consistente en la inmersión durante 90 días a 60°C de las probetas que serán comparadas con el testigo, debiendo conservar el 80% de su resistencia original.

Las muestras conseguidas reportaron los siguientes valores estadísticos:

$$CE_{\text{promedio}} = 81.6\%$$

$$\sigma = 1.1\%$$

$$CE = 78.4\%$$

El ACI 440 1R (2015) sugiere los siguientes valores que deben considerarse en el diseño:

Concreto no expuesto al terreno y humedad $CE=0.80$
 Concreto expuesto a terreno y humedad $CE=0.70$

De lo anterior el esfuerzo resistente a la tensión garantizado por el proveedor, el cual siempre será inferior al caracterizado en los materiales de obra deberá afectarse por el factor CE, para obtener el esfuerzo resistente de diseño, con la intención de asegurar su correcto funcionamiento y larga vida.

$$f_{fd} = CE (f_{fu})$$

CONCLUSIÓN

Hemos podido constatar de acuerdo con el ACI 440 1R (2015) y a la bibliografía citada en esta investigación documental y las referencias en ellas expuesta, que los compuestos poliméricos y particularmente el polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) no cumplen totalmente en la actualidad con el estándar de las normas ASTM D7957/D7957M-17 (2017) en cuanto a las características de los materiales, por lo que habrá que dar por aceptables las características de los materiales que los proveedores certifiquen como base y que garanticen que sus valores fueron estimados con patrones estadísticos válidos.

De la misma manera es necesario la aplicación del coeficiente de reducción ambiental (Coefficient Enviromental) de acuerdo con el ACI 440 1R (2015) a fin de tener diseños seguros de acuerdo a la normativa, aun cuando investigaciones como las de Gooranorimi, Gremel, Myers, & Antonio (2015) y R., Cousin, & Benmokrane (2009) sugieren valores menos conservadores, hasta que nuevas investigaciones o estadísticos más amplios respaldados por el proveedor permitan considerar valores distintos a los indicados.

REFERENCIAS

- ACI 440 1R. (2015). American Concrete Institute, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. Michigan: ACI.
- ASTM D7705/D7705M-19. (2019). Standard Test Method for Alkali Resistance of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Matrix Composite Bars used in Concrete Construction. Pennsylvania, U.S.: ASTM.
- ASTM D7957/D7957M-17. (2017). Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement. Pennsylvania U.S.: ASTM D30.10.
- GangaRao, H. V., Taly, N., & Vijay, P. V. (2007). Reinforced Concrete Design with FRP Composites. M. Florida, U.S.: CRC Press.
- Gooranorimi, O., Gremel, D., Myers, J. J., & Antonio, N. (2015). Durabilidad a largo plazo del refuerzo interno de GFRP (PRFV) en estructuras de concreto. ACI Journal.
- Nanni, A., Luca, A. d., & Jawahery, H. (2014). Reinforced Concrete with FRP Bars, Mechanics and Design. New York: CRC Press.
- NTC M. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Mampostería 2017. Gaceta Oficial de Cd., de México. México.
- R., M., Cousin, P., & Benmokrane, B. (2009). Durability of GFRP Reinforcing Bars Embedded in Moist Concrete. Journal of Composites for Construction. doi:10.1061/ASCE1090-0268(2009)13:2(66)
- Sánchez Hernández, J. A. (2019). Estructuras de Concreto en Zonas Costera usando Barras de Polímero Reforzados con Fibra de Vidrio. Revista PAKBAL(45), 26-32.
- Wainshtok Rivas, H., Hernández Caneiro, J. A., & Díaz Pérez, I. d. (2015). Empleo de Barras y Telas de Mallas de PRF como refuerzo del hormigón y el ferrocemento. (978-84-17098-39-1, Ed.) Habana, Cuba: Edita.me.