

# CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TELA UNIDIRECCIONAL DE FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO

<sup>1</sup>Fiorelli, J. / <sup>2</sup>Dias, A. A.

<sup>1</sup> Alumno de post-graduación. Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo - fiorelli@sc.usp.br

<sup>2</sup> Prof. Dr de la Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo - dias@sc.usp.br

## MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE UNIDIRECTIONAL WIRE OF CARBON FIBER AND GLASS FIBER

ABSTRACT

The industry of the civil construction is constantly facing aging and degradation problems of the structural elements. Alternative techniques and materials are used to solve these problems, for example the fibers reinforced with polymers (FRP). Between these, unidirectional matte of carbon and glass fiber, presenting low density and good penetrability to diverse resins. This work aims to determining the mechanical properties of resistance and rigidity of unidirectional wire, laminated with resin epoxy, following the ASTM D 3039 Standard (Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials). The results obtained for a wire of carbon and glass fiber are presented. These are important to justify the application of these materials in the recovery of structures.

KEY WORDS: carbon fiber, glass fiber, structural recovery

RESUMEN

La industria de la construcción civil se encuentra constantemente con problemas de envejecimiento y degradación de los elementos estructurales. Técnicas y materiales alternativos están surgiendo para solucionar estos problemas; por ejemplo, las fibras reforzadas con polímeros (FRP). Entre estas se pueden destacar las telas unidireccionales de fibras de carbono y de vidrio que presentan baja densidad y buena penetrabilidad a diversas resinas. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar las propiedades mecánicas de resistencia y rigidez de telas unidireccionales laminadas con resina epoxy, siguiendo la norma ASTM "D 3039 – Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials". Se presentan los resultados obtenidos para telas de fibra de carbono y de fibra de vidrio; son importantes para fundamentar la aplicación de estos materiales en la recuperación de estructuras.

PALABRAS CLAVES: fibra de carbono, fibra de vidrio, recuperación estructural.

## INTRODUCCIÓN

En algunas situaciones resulta más viable, en términos económicos y ambientales, promover la recuperación y reforzamiento de estructuras y edificaciones mediante soluciones económicamente viables y seguras.

El refuerzo y la recuperación de estructuras son necesarios para resolver problemas de envejecimiento de las obras. Muchas de estas son parte del patrimonio histórico o arquitectónico, y la demolición no es una opción viable. La recuperación estructural también abarca edificaciones afectadas por siniestros de cualquier naturaleza, o por fallas en el planeamiento, proyecto, ejecución, o por utilización de materiales y componentes de baja calidad. La discusión respecto al mantenimiento y durabilidad de las estructuras es un asunto de gran importancia.

El objetivo principal de la recuperación no es solo reparar, es también prevenir y reducir la probabilidad de aparición de futuros problemas.

Existen situaciones en que las estructuras de madera, concreto y acero precisan ser reparadas, volviéndolas nuevamente aptas para el uso, y otros casos en que se necesita hacer refuerzos para obtener un aumento en la capacidad carga del elemento estructural.

Recientemente, materiales alternativos están siendo estudiados para recuperar estructuras. Una gran atención se está dando al uso de fibras reforzadas con polímeros (FRP). La determinación de las propiedades mecánicas de estas fibras permite fundamentar la aplicación de ellas en el refuerzo de estructuras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método de ensayo aplicado para la caracterización de las fibras siguió la norma ASTM "D3039-95 – Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", de la American Society for Testing and Materials - ASTM, 1997 [1], que especifica los procedimientos para la determinación de la resis-

tencia a tracción y el módulo de elasticidad de materiales compuestos, reforzados con matriz polimérica.

Para asegurar que cada probeta ensayada presente un número suficiente de fibras en la sección transversal que represente las propiedades del material, deben ser establecidas dimensiones mínimas para las mismas.

Las dimensiones mínimas a reunir por las probetas para su ensayo a tracción están representadas en la Tabla 1, que ejemplifica algunas dimensiones en función de la dirección de las fibras.

La velocidad de ensayo debe ser de 2mm/min.

Los materiales utilizados para elaborar las probetas fueron telas unidireccionales de fibra de carbono (VGW 095) y de fibra de vidrio (VEW 130). Las Figuras 1 y 2 muestran estos dos tipos de materiales, respectivamente.

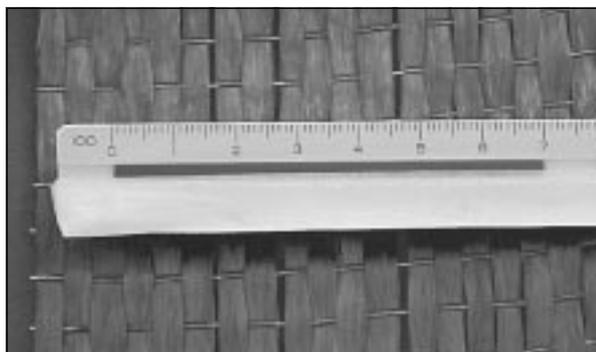


FIGURA 1: Tela de fibra de carbono

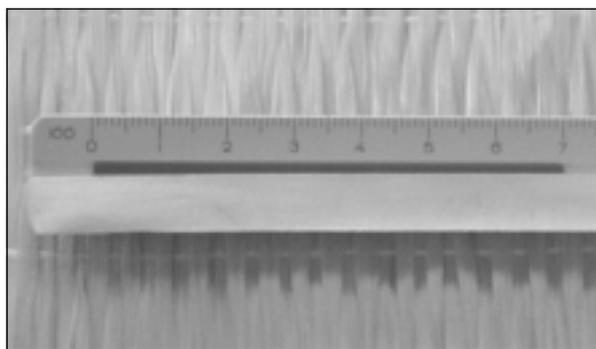


FIGURA 2: Tela de fibra de vidrio

Tabla 1: Geometría de las probetas

Geometría recomendada para el ensayo de tracción en fibras						
Orientación de las fibras	Ancho (mm)	Longitud. (mm)	Esp. (mm)	Long. fijación (mm)	Esp. fijación (mm)	Ángulo fijación (°)
0° Unidireccional	15	250	1,0	56	1.5	7 ó 90
90° Unidireccional	25	175	2,0	25	1.5	90
Fibras Discontinuas	25	250	2,5	-	-	-

Fuente: ASTM D3039 (1997)

Las probetas fueron hechas con las dimensiones indicadas en la Tabla 1 para orientación unidireccional de las fibras. Las fibras fueron cortadas en dirección paralela, obteniéndose tiras de 15 mm de ancho y 250 mm de longitud. Fueron colocadas sobre una superficie impermeable, aplicándose sobre estas, mediante pincel, el adhesivo epoxi. Con un rodillo se eliminó el aire encerrado en el interior. El mismo procedimiento fue repetido para la aplicación de una segunda capa de tela, obteniéndose un compuesto de fibras reforzadas con polímero. La cantidad de adhesivo utilizada fue de 3,2 g por probeta. La Figura 3 ilustra el procedimiento descrito.



FIGURA 3: Laminación de las probetas de fibra de vidrio con resina epoxi

Las dimensiones de ancho y espesor de cada probeta ensayada fueron determinadas mediante calibre digital de resolución 0,01 mm.

La resistencia de las fibras fue calculada según la ecuación (1)

$$f_{tu} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A}$$

donde:

$f_{tu}$  – Resistencia a tracción paralela a las fibras

$F_{m\acute{a}x}$  – Fuerza máxima aplicada (N)

A - Área de la probeta (mm<sup>2</sup>)

El módulo de elasticidad fue calculado como el coeficiente angular de la ecuación de regresión de la relación tensión-deformación.

En la determinación de las tensiones actuantes fueron utilizados dos criterios de cálculo del área de la sección transversal de las probetas: el primero considera el espesor final de cada probeta (método A); el segundo considera el espesor de las fibras utilizadas (método B), sien-

do: e = 0,20 mm (fibra de vidrio), e = 0,25 mm (fibra de carbono).

Un segundo ensayo de tracción realizado con tela unidireccional de fibra de vidrio sin adhesivo epoxi permitió caracterizar este material en cuanto a su resistencia y rigidez, determinando las propiedades de las fibras. Para evitar que las fallas durante el ensayo se produjeran en las zonas de fijación de las probetas, estas zonas fueron laminadas con resina epoxi. La Figura 4 ilustra las probetas con fijaciones laminadas.



FIGURA 4: Probetas de fibra de vidrio sin resina

La Tabla 2 detalla la disposición y tipo de materiales empleados y el número de probetas por tratamiento.

Tabla 2: Informaciones referentes a las probetas ensayadas

Materiales utilizados	Número de láminas de fibras	Cantidad de probetas
Fibra de vidrio - epoxi	2	12
Fibra de vidrio sin adhesivo	1	12
Fibra de carbono - epoxi	2	12

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 3, 4 y 5 presentan resultados de resistencia a tracción y módulo de elasticidad de las fibras de vidrio y de carbono, laminadas con adhesivo epoxi, y de fibras de vidrio sin adhesivo.

Analizando las Tablas 3, 4 y 5, es posible decir que los valores medios de resistencia a tracción y el módulo de elasticidad (método B) de las telas de fibras de carbono estudiados, son aproximadamente un 50% mayores que los de fibra de vidrio.

Se observa también una mayor uniformidad en los valores calculados en el método B. Se advirtieron gran-

**Tabla 3:** Valores de resistencia y módulo de elasticidad de fibra de vidrio laminada

Resistencia (MPa)		Módulo de elasticidad (MPa)		
Método A	Método B	Método A	Método B	
341	1017	29658	72505	
434	1205	27771	68643	
373	1147	32065	75349	
392	1148	31536	79959	
478	1195	30256	74516	
405	1224	30248	72645	
422	1045	27366	66371	
465	1228	29985	73925	
417	1170	27955	69887	
372	1162	27436	68589	
417	1126	27840	69599	
405	1164	28127	70317	
<b>Media y CV</b>	<b>410 (9,02%)</b>	<b>1153 (5,40%)</b>	<b>29187 (5,45%)</b>	<b>71676 (4,47%)</b>

**Tabla 5:** Valores de resistencia y módulo de elasticidad de fibra de vidrio sin adhesivo

Resistencia (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	
526	69277	
639	64945	
478	75531	
541	61385	
578	77553	
625	70412	
665	67973	
349	61804	
577	75071	
580	73913	
526	68720	
558	68215	
<b>Media y CV</b>	<b>553 (14,38%)</b>	<b>69566 (7,23%)</b>

**Tabla 4:** Valores de resistencia y módulo de elasticidad de fibra de carbono laminada

Resistencia (MPa)		Módulo de elasticidad (MPa)		
Método A	Método B	Método A	Método B	
939	2498	61084	166895	
798	2488	48826	151540	
647	2097	50805	166869	
680	2286	45043	151320	
743	2332	49625	155537	
727	2398	45830	147486	
943	2585	57118	157017	
874	2272	61191	157674	
946	2656	60603	180775	
961	2556	57453	152941	
977	2503	62761	160761	
951	2510	58910	157931	
<b>Media y CV</b>	<b>849 (13,78%)</b>	<b>2432 (5,32%)</b>	<b>54937 (11,27%)</b>	<b>158569 (3,61%)</b>

des variaciones en el espesor de las probetas laminadas de fibras de vidrio y de fibras de carbono. Así, parece más provechoso obtener los resultados en función del espesor de las fibras (sin adhesivo).

El Gráfico de la Figura 5, que muestra la fuerza aplicada en relación al desplazamiento del cabezal de la máquina de ensayos, permite comparar las fuerzas máximas resistidas por ambos materiales, laminados con resina epoxi.

Las Figuras 6 y 7 presentan gráficos ilustrativos de tensión-deformación para cada una de las fibras. En el cálculo de la tensión fue considerado el espesor de la fibra.

Los valores de resistencia a tracción de probetas que no fueron laminadas con resina epoxi fueron aproximadamente la mitad de los presentados por las probetas laminadas. Se observó que el adhesivo origina un aumento en la resistencia del material, principalmente en la fase de rotura, por proporcionar una actuación más uniforme de las fibras. En relación al módulo de elasticidad de las fibras de vidrio, laminadas y sin laminar, se observa que no hay una gran diferencia entre ellos. Sin embargo, el coeficiente de variación de los resultados obtenidos de las probetas con adhesivo es inferior al de las probetas sin adhesivo. Probablemente esto se debe a la acción del adhesivo que transfiere en forma más uniforme los esfuerzos aplicados al material.

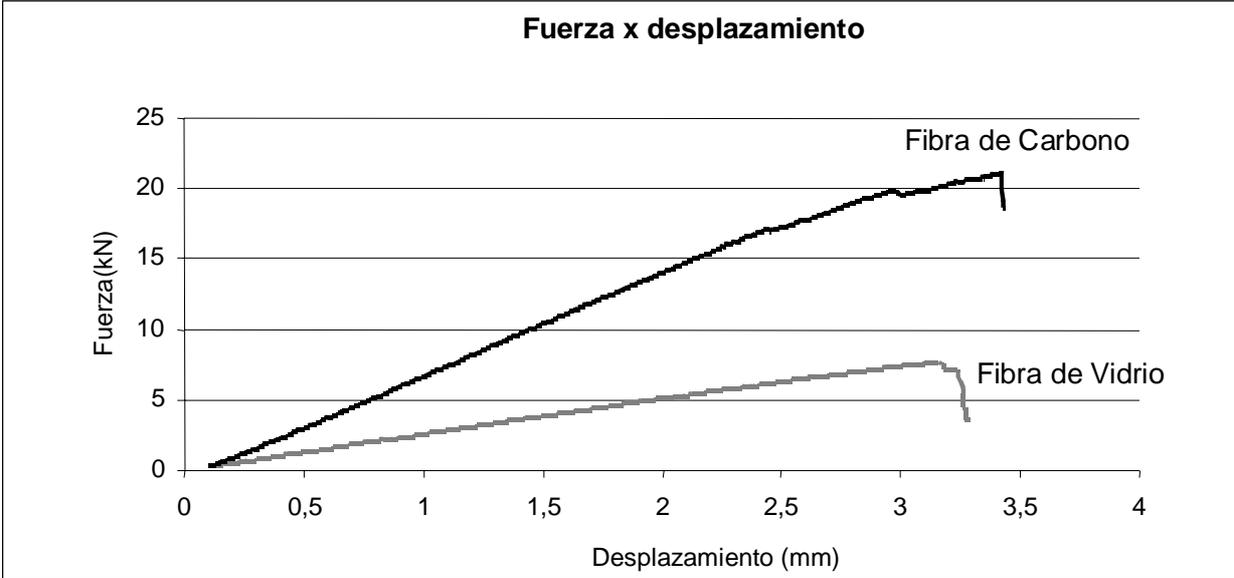


FIGURA 5: Gráfico comparativo entre fuerzas máximas resistidas por probetas de fibra de carbono y de fibra de vidrio

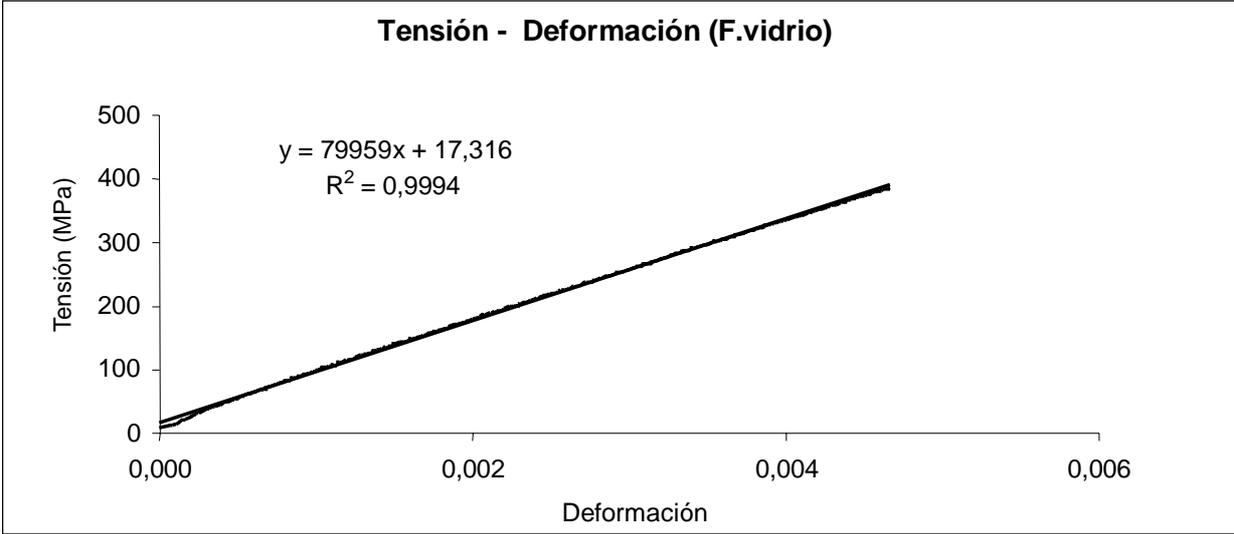


FIGURA 6: Curva tensión-deformación de fibra de vidrio laminada

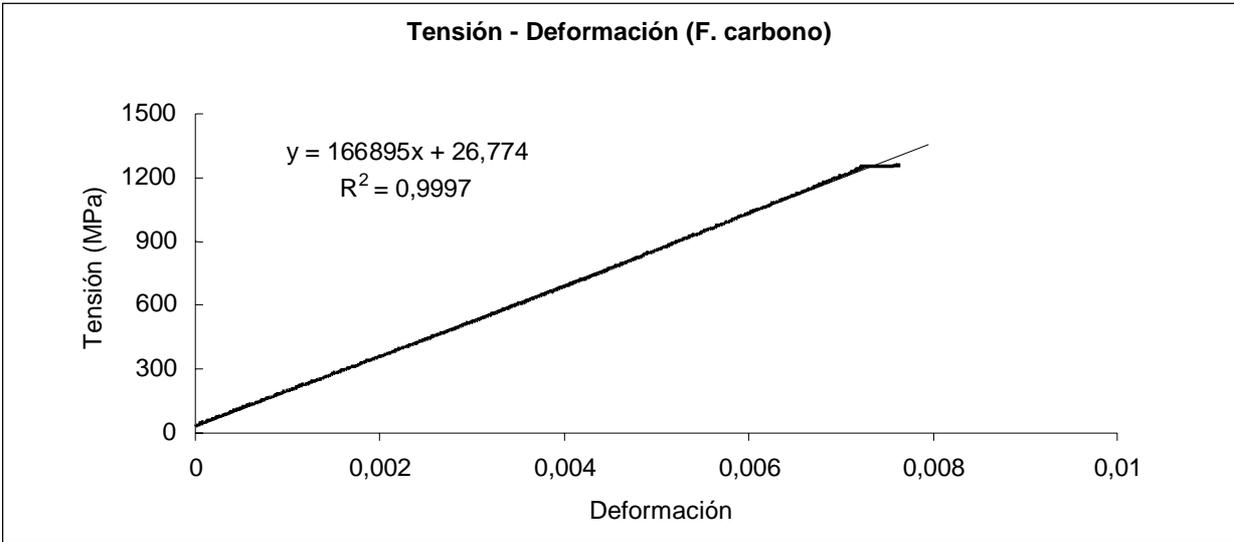


FIGURA 7: Curva tensión-deformación de fibra de carbono laminada

## CONCLUSIONES

Estudios ya realizados indican que la utilización de FRP para el refuerzo de elementos estructurales de madera se presenta como una alternativa promisoría para la construcción civil.

Entre estas, las que vienen presentando mejores resultados son las fibras de vidrio y de carbono. Si bien la resistencia a tracción y módulo de elasticidad de las fibras de carbono son mayores a las de vidrio, su costo sin laminación, por metro cuadrado, es aproximadamente veinte veces mayor al costo de las fibras de vidrio. Sobre la base de los resultados presentados en este trabajo la fibra de vidrio se presenta como material más ventajoso en la relación costo beneficio.

La determinación de las propiedades mecánicas de las respectivas fibras permite su utilización en el cálculo de refuerzo de piezas estructurales de madera.

Se recomienda considerar la resistencia a tracción y módulo de elasticidad utilizando el valor calculado por el

método B (sin adhesivo), por conducir a resultados con menores variaciones. Obviamente el cálculo de los refuerzos debe ser referido al número de capas necesarias para laminar. ●

## AGRADECIMIENTOS

A FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **American Society for Testing and Materials.** (1997). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.* ASTM D3039-95.