

Influencia de las fibras de carbono y fibras de vidrio en materiales compuestos como modelo en la implementación de pisos industriales.

Willian Aperador¹ | Arnoldo Delgado¹ | Jorge Hernando Bautista- Ruiz²

Recibido:
Enero 1 de 2010

Aceptado:
Diciembre 1 de 2010

Resumen

Se diseñaron y construyeron baldosas de material compuesto por fibra de vidrio y fibra de carbono como agentes reforzantes en una resina de poliéster como matriz. En este trabajo se evaluó el efecto que proporciona cada uno de los agentes, anteriormente mencionados, dentro de la matriz en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material fibro- reforzado. La caracterización mecánica se realizó mediante ensayos de flexión. Para ello se aumentó gradualmente la carga sobre la baldosa a ensayar hasta lograr la ruptura, dando como resultado un índice de esfuerzo mayor en la baldosa que ha sido reforzada con las fibras. Del estudio se concluye que el agente reforzante (fibra de vidrio y fibra de carbono) dentro de la baldosa, tiene efectos significativos en la matriz del material compuesto, porque estas baldosas soportan mayores esfuerzos inducidos.

Palabras clave: fibra de vidrio, fibra de carbono, flexión, compuesto de matriz polimérica.

Abstract

Designed and manufactured material composed of fiberglass and carbon fiber as a reinforcing agent in a polyester resin as matrix. In this study we evaluated the effect provided by each of the agents mentioned above, within the matrix in improving the mechanical properties of fiber-reinforced material. The mechanical characterization was performed by bending tests. To this was gradually increased the load on the tile to be tested until rupture, resulting in a rate greater effort on the tile that has been reinforced with fibers. The study concludes that the reinforcing agent (fiberglass and carbon fiber) within the tile, has significant effects on the matrix of the composite, because these tiles support higher stresses induced.

Keywords: fiberglass, carbon fiber, bending, polymer matrix composite.

¹Ingeniería Mecatrónica,
Universidad Militar Nueva
Granada, , Carrera 11 No. 101-80,
Fax: +57 (1) 6343200, Bogotá,
Colombia.

²Grupo de Investigación
en Tecnología Cerámica.
Departamento de Física.
Universidad Francisco de Paula
Santander. San José de Cúcuta.

1. Introducción

En la fabricación de productos industriales es muy importante tener en cuenta el conocimiento que proporciona la ciencia de los materiales, pues finalmente esta provee las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de los mismos, y por consiguiente; determinar los diseños y procesamientos más confiables y económicos dentro de la industria.

La construcción de pisos industriales involucra la utilización de una gran variedad de productos que complementan al concreto mismo, con el fin de facilitar su construcción o incluso de mejorar su desempeño ante la exposición de distintos factores, tales como: Resistencia a la flexión, abrasión, impacto, cargas concentradas, choque térmico y ataque químico. Los productos fabricados de materiales compuestos traen numerosas ventajas para diversas aplicaciones, incluyendo alta durabilidad, peso reducido, resistencia a la corrosión, bajo costo de manutención y de instalación y estabilidad dimensional [1-5].

Comparado con otros sectores productivos, en el sector de la construcción la expansión de los materiales compuestos no ha sido tan generalizada ni tan rápida como se podía esperar. Se trata de un sector cuyo status histórico se ha visto reflejado numerosas veces cuando se han tratado de introducir importantes cambios. De todos modos, con el tiempo los materiales compuestos están siendo introducidos, y actualmente son considerados como un tipo de material a tener en cuenta en un futuro muy cercano. De hecho la aparición de nuevas construcciones que han usado algún tipo de material compuesto, es siempre una señal de que la industria de estos materiales va siendo aceptada poco a poco por el sector de la construcción. Las aplicaciones de los materiales compuestos en el mercado de la construcción varían desde pisos, piezas para baños/bañeras y claraboyas, hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachadas (entre otros). Estos materiales son ideales para su uso en el

mercado de la construcción por la estabilidad dimensional, alta durabilidad, ligereza, resistencia al impacto y baja inflamabilidad que poseen. Además permiten, mediante una adecuada elección de resinas y aditivos, una alta flexibilidad en el diseño. [6-9]

Según lo expresado anteriormente, a la hora de escoger materiales que serán sometidos a ensayos de flexión, es importante considerar tanto las propiedades mecánicas que estos pueden llegar a poseer como el diseño bajo el cual se elaborarán con el fin de aprovechar al máximo dichas propiedades y por ende, soportar y distribuir adecuadamente las cargas a aplicar, para así garantizar una mayor durabilidad. [10]

El objetivo de este trabajo es analizar las propiedades estructurales y mecánicas que puede tener un material fibro-reforzado en una matriz de resina de poliéster; estudiando para ello el efecto que tiene la composición y concentración de cada uno de los compuestos dentro del material y por supuesto, el efecto que genera el agente reforzante (fibra de carbono y fibra de vidrio) a la hora de mejorar las propiedades de la matriz.

2. Desarrollo experimental

Como se habla de la aplicación a escala industrial, el criterio a tener en cuenta para el diseño y fabricación de las baldosas fue los costos de producción. Por tanto, se eligieron, como material de refuerzo las fibras de vidrio y las fibras de carbón para aplicarse a la matriz de resina poliéster. Se escogieron estos tipos de fibras ya que ofrecen ventajas como: poseer una baja densidad, buenas propiedades mecánicas, fácil manipulación y fácil adquisición en el comercio.

Las propiedades y el bajo precio de la materia prima, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales a la fibra de vidrio. El otro material de refuerzo utilizado en este estudio, fue la fibra de carbono. Se utilizó una fibra de tipo comercial de referencia

Influencia de las fibras de carbono y fibras de vidrio en materiales compuestos como modelo en la implementación de pisos industriales.

SikaWrap 300C ampliamente empleada como tejido de fibra de carbono para reforzamiento estructural.

Las propiedades de la fibra de vidrio y la fibra de carbono se registran en la tabla 1 [11].

Tabla 1. Datos técnicos de la fibra de carbono y fibra de vidrio.

Propiedades	Fibra de Carbono	Fibra de Vidrio
Resistencia a la tensión (N/mm ²)	3900	103
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	230000	12411
Elongación (%)	1,5	0,5
Dirección de la Fibra	90	90
Densidad de la fibra (g/cc)	1,8	2

Como materia prima para la preparación de las baldosas, se utilizó una resina de poliéster insaturada de referencia comercial 856, el catalizador utilizado fue un MEK – peróxido [11-12]. Para el refuerzo se utilizó fibra de vidrio tejida con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas, más específicamente la resistencia a la flexión. La tabla 2, registra las características y propiedades de la resina empleada en la construcción de las baldosas.

Tabla 2. Características y propiedades de la resina y el endurecedor utilizados para la elaboración de las probetas.

Características	Resina	Endurecedor
Peso específico a 25°C	1,12 g/cm ³	1,0
Viscosidad a 25°C a 5 rpm	14 dPa.s	5
Extracto seco	56,50%	-
Resistencia a la tracción	55 MPa	-
Resistencia a la flexión	100 MPa	-
Módulo de flexión	4000 MPa	-
Temperatura de deformación bajo carga	90 ° C	-
Proporciones partes en peso	100	16
Curado mínimo	24 horas a 25°C	
Tiempo de gelificado	50-60 minutos a 19°C, 20 g	
Postcurado	8 horas a 100°C	

Para la elaboración de la baldosa, se utilizó un molde de acero de dimensiones 22 cm*22 cm*1,5 cm en el cual se vertería posteriormente la resina de poliéster referencia: 856 y se

colocaría la fibra de vidrio. Inicialmente se preparó la resina de poliéster 856 adicionando en ella el agente catalizador, agente que aceleraría y genera la reacción entre los compuestos del material y garantizaría un secado rápido del mismo [13].

Una vez terminada la mezcla, entre la resina y el catalizador, se procedió a cortar las capas de fibra bajo las mismas dimensiones que el molde empleado para la fabricación de la baldosa. Luego se adicionó una capa de resina en el molde y se colocó la primera capa de fibra, la cual actuaría como refuerzo estructural para la baldosa. Sin embargo, la característica principal del refuerzo aplicado al material radica en la orientación de la fibra, pues esta no tuvo una orientación unidireccional, sino en malla orientación 90/90, con el fin de garantizar una distribución uniforme de las cargas que se le aplicarían al material y así lograr que la baldosa soporte mayores esfuerzos inducidos durante el ensayo. Posteriormente, se adicionaron cuatro capas de fibra con la orientación mencionada anteriormente, reforzando con dos capas de menor dimensión, el centro de la baldosa.

En el desarrollo del ensayo de flexión la baldosa se soportó en una base cuadrada hueca de 20 cm*20 cm de área de sección transversal, cuyos apoyos estuvieron a 20 cm, aplicándose en forma gradual la carga sobre el centro de la baldosa con el fin de provocar la flexión de la misma; produciéndose un esfuerzo de tensión en el material en el punto opuesto al punto de aplicación de la fuerza central, observándose finalmente la fractura de la matriz (figura 1).

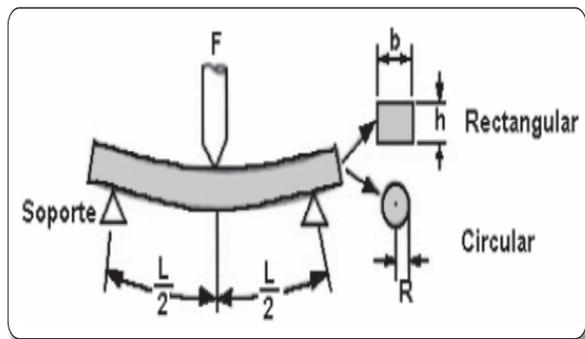
3. Resultados y analisis.

3.1 Resistencia a la flexión:

En la determinación del módulo de ruptura, es importante tener en cuenta que la baldosa bajo ensayo debe evitarse el fallo por corte o deflexión lateral antes de llegar a su última resistencia a la flexión. Para evaluar el grado

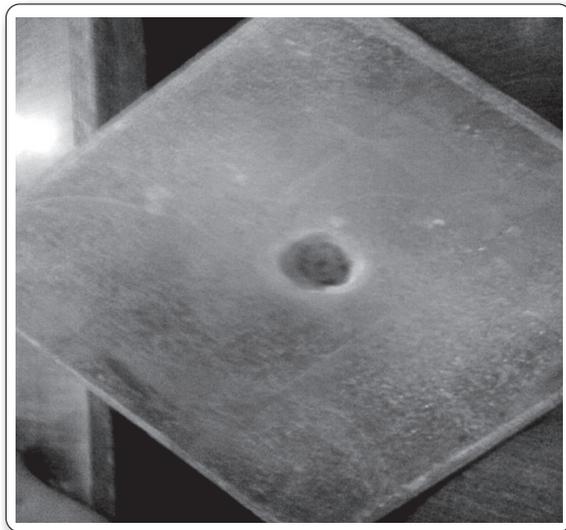
de resistencia, la probeta (baldosa) no debe ser demasiado corta con respecto al peralte de la viga $L \pm 3\text{cm}$ [14]. En la figura 1 se muestra esquemáticamente el procedimiento de ensayo para determinarla.

Figura 1. Esquema para el ensayo de resistencia a la flexión.



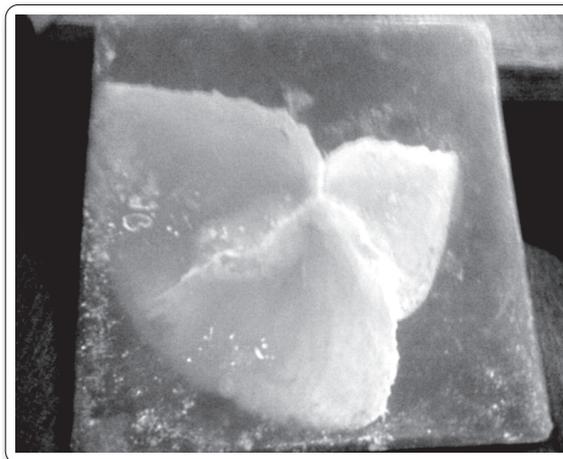
En este estudio se empleó un refuerzo tipo laminar isotrópico, el cual se consigue mediante la aplicación de varias capas de materiales compuestos altamente anisotrópicos que se unen entre sí mediante la resina de poliéster (figura 2).

Figura 2. Baldosa evaluada bajo ensayo de resistencia a la flexión.



En la figura 3 se observa la fractura dúctil debido a la resina de poliéster que generó una deformación elástica.

Figura 3. Fractura frágil del material compuesto (refuerzo con fibra de vidrio.)



La tabla 1 muestra las diferentes relaciones matemáticas empleadas en la determinación cuantitativa del momento de flexión, distancia del centroide, momento de inercia y el esfuerzo. Todo lo anterior para el caso de una baldosa cuadrada.

Tabla 1. Relaciones matemáticas utilizadas en los diferentes cálculos [9]

Probeta	Momento de flexión	Distancia del centroide	Momento de inercia	Esfuerzo
Rectangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{H}{2}$	$\frac{BH^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bh^2}$

F= la carga aplicada

C = distancia del centróide a la fibra a analizar

L= momento de inercia

b y h = altura y ancho de la baldosa

R = punto de intercesión de las diagonales

Aplicando las relaciones del tabla 1 se obtienen los siguientes valores:

Momento de inercia:

$$L = \frac{BH^3}{12} = \frac{(250\text{mm})(5\text{mm})^3}{12} = 2,60\text{mm}^4$$

Momento de flexión:

$$M = \frac{FL}{4} = \frac{(218\text{kg})(2,60\text{mm}^4)}{4} = 141,7\text{kgmm}^4$$

Influencia de las fibras de carbono y fibras de vidrio en materiales compuestos como modelo en la implementación de pisos industriales.

Esfuerzo:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} = \frac{3(218kg)(141,7mm^4)}{2(250mm)(5mm)^2}$$

$$\sigma = \frac{92671,8kgmm^4}{12500mm^3}$$

$$\sigma = 7,41kgmm$$

Relación:

$$Relacion = \frac{F}{m} = \frac{218kg}{0,3374kg} = 646,12$$

Para calcular la resistencia a la flexión de la baldosa se procede a calcular el esfuerzo inducido máximo a la flexión que esta puede soportar partiendo del concepto de Módulo de Ruptura:

$$\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Donde:

F: La carga de fractura o de ruptura

L: Distancia entre los dos puntos de apoyo

w: Ancho de la baldosa

h: Altura de la Baldosa

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta los siguientes datos se encuentra que el esfuerzo inducido máximo que puede soportar la baldosa reforzada con fibra de vidrio es de 4850.76 psi.

Datos:

$$F = 562 \text{ kgf} = 5509,8 \text{ N} = 1238,7 \text{ lb}$$

$$L = 20 \text{ cm} = 7,87 \text{ in}$$

$$w = 22 \text{ cm} = 8,66 \text{ in}$$

$$h = 1,5 \text{ cm} = 0,59 \text{ in}$$

$$\sigma = 4850,76 \text{ psi}$$

Durante el ensayo de flexión se encontró que el factor de relación entre la fuerza máxima aplicada al material antes de la ruptura y el peso de la baldosa fue de:

$$F = 562 \text{ kgf} = 5509,8 \text{ N} = 1238,7 \text{ lb}$$

$$\text{Peso} = 714 \text{ g} = 0,714 \text{ kg}$$

$$\frac{F}{\text{Peso}} = 787,11$$

Para la baldosa con fibra de carbono se obtiene:

Datos:

$$F = 201 \text{ kgf} = 1970 \text{ N} = 442 \text{ lb}$$

$$L = 20 \text{ cm} = 7,87 \text{ in}$$

$$w = 22 \text{ cm} = 8,66 \text{ in}$$

$$h = 1,5 \text{ cm} = 0,59 \text{ in}$$

$$\sigma = 1730,90 \text{ psi}$$

Durante el ensayo de flexión se encontró que el factor de relación entre la fuerza máxima aplicada al material antes de la ruptura y el peso de la baldosa fue de:

$$F = 201 \text{ kgf} = 1970 \text{ N} = 442 \text{ lb}$$

$$\text{Peso} = 394 \text{ g} = 0,394 \text{ kg}$$

$$\frac{F}{\text{Peso}} = 510,02$$

Comparando los resultados, del estudio se obtuvo que para la baldosa de fibra de vidrio soporta un esfuerzo inducido máximo de 4850,76 psi, mientras que para el refuerzo con fibra de carbono se obtiene 1730,90 psi, por lo tanto si se le aplicaba una fuerza mayor a 562kgf y 201 kgf, tanto para la fibra de vidrio como para la de carbono respectivamente, se presentaría la ruptura no solo de la matriz del material sino también de la fibra.

Al comparar el efecto de la fibra dentro de la matriz, se observa que la fibra de vidrio es la más apropiada para este uso debido a su buen desempeño y bajo costo en comparación con la fibra de carbono debido a que el esfuerzo inducido fue superior en 2 veces el valor hallado y esto se debe a la mejora en la adhesión de la fibra de vidrio en la matriz polimérica, para mejorar la adhesión de la fibra de carbono es necesario realizar una pre-impregnación de las fibras, para mejorar su adhesión en la matriz polimérica [15-16].

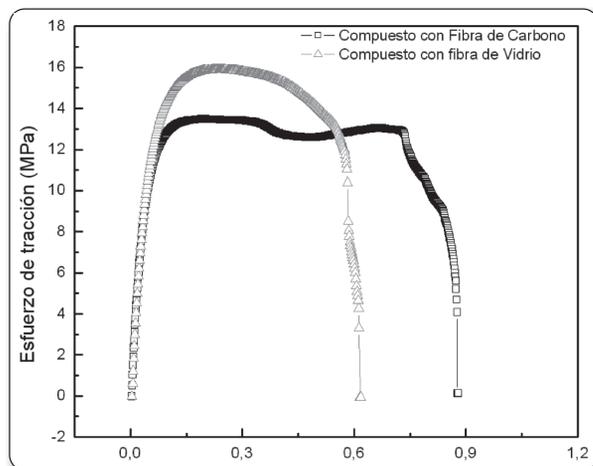
Es importante resaltar que la continuidad de las fibras aumenta la resistencia a la flexión del material, mejorando las propiedades mecánicas del mismo, debido a que la microestructura continúa del material representa ser un obstáculo para el desplazamiento de las dislocaciones en la baldosa y de las microfisuras, impidiendo que se fracture con una mayor rapidez.

Este mismo esfuerzo no podría soportarlo la baldosa si la fibra de vidrio fuera discontinua debido al deslizamiento de las dislocaciones del material podría escapar de las imperfecciones presentes en el mismo ocasionando deformaciones adicionales en el material y por lo tanto provocaría una ruptura más rápida de la baldosa.

3.2 Ensayos de tracción.

Las propiedades mecánicas se han analizado a partir de ensayos tracción, Al analizar el refuerzo utilizado (fibra de carbono y fibra de vidrio) la rigidez aumenta en el compuesto con fibra de vidrio ya que se obtiene un aumento progresivo del valor del módulo de Young. La presencia del refuerzo restringe la movilidad de las cadenas moleculares de la matriz polimérica, además de contribuir con su rigidez. El aumento de la rigidez de las fibras de vidrio se relaciona a la inversa con la

Figura 4. Curva esfuerzo deformación del material compuesto reforzado con fibra de vidrio y fibra de carbono.



capacidad de deformación del material, como se puede observar en la figura 4, ya que el alargamiento en el punto de rotura disminuye bruscamente al introducir el reforzamiento, este aumento considerable de resistencia a la tensión abre la posibilidad de utilizar este material en pisos industriales.

Conclusiones

Para la fabricación de materiales compuestos, una selección correcta de la matriz y del agente reforzante, permitirán no sólo mejorar las propiedades mecánicas de los materiales sino además garantizar la aplicabilidad del mismo, objeto para el cual ha sido diseñado y por supuesto fabricado. El agente reforzante, en este caso, las fibras de vidrio y de carbono, tiene una influencia significativa sobre la resistencia a la flexión del material, debido a que dependiendo de su orientación, la baldosa puede soportar mayores esfuerzos inducidos.

Siempre hay que tener conocimiento sobre la compatibilidad del material de refuerzo y la matriz; pues en ciertos casos la sinergia no es positiva sino que también puede ser destructiva o nula. En términos de esfuerzos las fibras son las encargadas de resistir las cargas aplicadas a la matriz y distribuirlas para evitar la fractura del material.

El refuerzo incorporado en este caso las fibras deben estar completa y firmemente compactas en la matriz para que dicho material compuesto sea uno solo y no hayan imperfecciones.

Se encontró que para la elaboración de materiales compuestos existen varias limitaciones como lo son las dificultades de fabricación, elevado coste debido al precio de la fibra de carbono, además de la incompatibilidad entre materiales matriz y el refuerzo.

Bibliografía

1. B.W. Rosen, Mechanics of composite

- strengthening, *Fibre composite materials*, American Society for Metals (1965) p. 37–75.
2. Y.L. Xu and K.L. Reifsinder, Micromechanical modelling of composite compressive strength, *J Compos Mater* 27 (1993) (6), pp. 572–588.
 3. Aref, A.J.; Alampalli, S. Vibration characteristics of a fiber-reinforced polymer bridge superstructure. *Composite Structures*, Vol. 52, Iss. 3-4, pp. 467-474, 2001.
 4. Kenny, J. *Joining Technologies for Polymeric Matrix Composites: Present and Future*. COMPOSIT workshop on “Joining Technologies for Composite Transportation Structures”, Orbassano, 2003.
 5. A.S. Argon, *Fracture of composites*, Treatise of material science and technology vol. 1, Academic Press, New York (1972).
 6. D.C. Lagoudas and A.M. Saleh, Compressive failure due to kinking of fibrous composites, *J Compos Mater* 27 (1993) (1), pp. 83–106.
 7. J. Lee and C. Soutis, Thickness effect on the compressive strength of T800/924C carbon fibre–epoxy laminates, *Compos Part A* 36 (2005) (2), pp. 213–227.
 8. P.Z. Bazant, J.H. Kim, I.M. Daniel, B.G. Emilie and G. Zi, Size effect on compression strength of fibre composites failing by kink band propagation, *Int J Fract* 95 (1999) (Special Issue), pp. 103–141.
 9. Recasens, J. *Nuevas Aplicaciones de los Materiales Compuestos en la Construcción*. 16^a Jornadas de Materiales Compuestos / Plásticos Reforzados, Barcelona, 2002.
 10. Renaud, C.M. Effect of Glass Fibers and Environmental on Long-Term Durability og GFRP Composites. 16^a Jornadas de Materiales Compuestos/Plásticos reforzados, Barcelona, 2002.
 11. Diseño y caracterización de un compuesto fibrorreforzado de matriz polimérica y fibra de carbono como modelo en la Implementación de cascos para ciclismo. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; S1 (3): 1127-1132
 12. C. Kim and S.R. White, The continuous curing process for thermoset polymer composites. Part 2: experimental results for a graphite/epoxy laminate, *J Compos Mater* 30 (1996) (5), pp. 627–647.
 13. Niklewicz J, Sims GD. Size effects in composite materials. Structural Integrity and Performance Project CPD1, National Physical Laboratory, NPL Report MATC (A) 74, January 2002.
 14. ASTM D638 - 10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials. 2010.
 15. Lackey, E.; Vaughan, J.G. Examination of fiber/resin interface adhesión for pultruded composites. Proceedings of the 43rd International SAMPE Symposium, v43 (2), p. 2158 – 2168, 1998.
 16. Lackey, E.; Vaughan, J.G. Examination of fiber/resign interface adhesion for comercial pultruded composites. 42rd Internacional SAMPE Symposium, Volume 42, pp 1392-1399, 1997.