

## EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ALGUNOS REFUERZOS DE FIBRAS PARA MATRICES CERÁMICAS O POLIMÉRICAS

MARYORY ASTRID GÓMEZ<sup>1</sup>  
CLAUDIA CECILIA ALZATE<sup>2</sup>  
ALEXÁNDER MÁRQUEZ<sup>3</sup>  
JOSÉ WILLIAM RESTREPO<sup>4</sup>  
FRANKLIN JARAMILLO<sup>5</sup>

### RESUMEN

Este artículo presenta un estudio de las propiedades termomecánicas de fibras de acero de bajo carbono, de acero inoxidable ASI-SAE 304, de aramida y de carbono. Además, se analizó el aspecto superficial de refuerzos de lana mineral de roca y lana de aluminosilicatos antes y después de someterlos a tratamientos térmicos a 1000 °C. La resistencia a la tracción de las fibras se evaluó antes y después de someterlas a tratamientos térmicos a temperaturas de 400, 600, 800 y 1000 °C dependiendo de la degradación que mostrarán. Además, se efectuó un análisis termogravimétrico a cada tipo de fibra para determinar los cambios de peso a diferentes temperaturas. Las fibras de acero inoxidable mostraron la mayor estabilidad termomecánica, mientras que las fibras de aramida con tratamientos a 400 °C mostraron propiedades mecánicas prácticamente nulas.

**PALABRAS CLAVE:** Fibras de acero; fibras cerámicas; refuerzos minerales; resistencia a la tracción; tratamiento térmico; estabilidad térmica.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Metalúrgica, Universidad de Antioquia; Doctora en Técnicas Instrumentales de la Física y la Ciencia de los Materiales, Universidad de Barcelona. Investigadora del Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. mgomez@udea.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniera de Materiales. Ingeniera Investigadora Asociada, Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. cecy.al@gmail.com

<sup>3</sup> Ingeniero de Materiales, Universidad de Antioquia. Ingeniero de Ladrillera San Cristóbal. Medellín, Colombia. darkalex1005@gmail.com

<sup>4</sup> Ingeniero Metalúrgico, Universidad de Antioquia; Doctor en Ciencia de Materiales, Universidad de Barcelona. Profesor Asociado, investigador Grupo Productividad hacia la Competitividad. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia. pfforest@eia.edu.co

<sup>5</sup> Ingeniero Químico. Ph.D. en Química. Docente tiempo completo e investigador del Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. franklinj@udea.edu.co

## EFFECT OF TEMPERATURE ON THE TENSILE STRENGTH OF SOME FIBER REINFORCEMENTS FOR CERAMIC OR POLYMER MATRICES

### ABSTRACT

This paper presents a study of the thermomechanical properties of low carbon steel, AISI-SAE 304 stainless steel, aramid and carbon fibers. Moreover, surface aspect of mineral rock wool of and aluminosilicate wool reinforcements was analyzed prior and after submitting to heat treatments at 1000 °C. The tensile resistance of the fibers was evaluated prior and after submitting to heat treatments at temperatures of 400, 600, 800 and 1000 °C depending on the degradation that they showed. Moreover, a thermogravimetric analysis was carried out on each kind of fiber to determine the changes in weight at different temperatures. The stainless steel fibers showed the highest mechanical stability, whereas the aramid fibers with treatments at 400 °C showed practically null mechanical properties.

**KEY WORDS:** Steel fibers; ceramic fibers; mineral reinforcements; tension strength; heating treatment; thermal stability.

## EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DE ALGUNS REFORZOS DE FIBRAS PARA MATRIZES CERÁMICAS OU POLIMÉRICAS

### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo das propriedades termomecânicas de fibras de aço baixo carbono, de aço inoxidável ASI-SAE 304, de aramida e de carbono. Além disso, se analisou o aspecto superficial de reforços de lã mineral de rocha e lã de aluminosilicatos antes e depois que submetê-las a tratamentos térmicos a 1000 °C. A resistência à tração das fibras se avaliou antes e depois de submetê-las a tratamentos térmicos a temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C dependendo da degradação que mostraram. Além disso, se efetuou uma análise termogravimétrica a cada tipo de fibra para determinar as mudanças de peso a diferentes temperaturas. As fibras de aço inoxidável mostraram a maior estabilidade termomecânica, enquanto as fibras de aramida com tratamentos a 400 °C mostraram propriedades mecânicas praticamente nulas.

**PALAVRAS-CÓDIGO:** fibras de aço; fibras cerâmicas; reforços minerais; resistência à tração; tratamento térmico; estabilidade térmica.

### 1. INTRODUCCIÓN

El uso de materiales en forma de fibras ha surgido como alternativa para mejorar propiedades de materiales homogéneos así como la resistencia a la tracción, a la flexión, la tenacidad, en muchos casos hay aumento en la relación resistencia/peso, mejora en las propiedades térmicas y eléctricas, se inhibe el crecimiento de grietas, ocurre disminución de contracción y expansión, mejorando además la

estabilidad dimensional del material final (Ghali *et al.*, 2009; Rezaei, Yunus e Ibrahim, 2009; Binici, Aksogan y Shah, 2005; Min-Kang y Soo-Jin, 2009; Bansal, 2005; Ozden y Taylan, 2009; Mallick, 1997). Debido al éxito que ha tenido el refuerzo de matrices de diferentes materiales con fibras metálicas, poliméricas y cerámicas, cada día se hacen más esfuerzos para aumentar los conocimientos y aplicaciones de estas fibras en la mejora de las prestaciones de los materiales para satisfacer las necesidades del hombre.



En estudios previos se ha reportado que utilizar fibras como refuerzos provee flexibilidad a las matrices cerámicas (Binici, Aksogan y Shah, 2005; Mukherjee y Rai, 2009; Binici *et al.*, 2009), ya que los refuerzos tienen como función soportar una fracción de la carga a la que es sometida la matriz. Consecuentemente, y considerando que la resistencia mecánica de un material es afectada por la porosidad y las fisuras que contenga (Mari, 2001), la efectividad del refuerzo se refleja en un aumento significativo de la resistencia al agrietamiento y fractura del material reforzado (Mallick, 1997).

Las fibras de kevlar se utilizan para reforzar compuestos, con uso creciente en aviones, en aplicaciones espaciales como válvulas y partes de motores. Los compuestos reforzados con kevlar también se usan con aluminio para obtener materiales híbridos que superan las propiedades de materiales constituidos por dos fases (Murkherjee *et al.*, 2006). Las fibras de carbono son ampliamente usadas para mejorar propiedades de compuestos de matriz polimérica, debido a sus buenas propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas; además de aplicaciones en la fabricación de implementos deportivos, autopartes y en aplicaciones espaciales (Rezaei, Yunus e Ibrahim, 2009). El mercado mundial de refuerzos de fibras de vidrios es superior al de todas las otras fibras de refuerzo combinadas. Nuevos mercados para compuestos reforzados con fibras de vidrio en aplicaciones en transporte e infraestructura prometen una demanda acelerada de fibras de vidrio en el siglo XXI (Kelly y Zweben, 2004).

Debido a que varios procesos de fabricación de materiales compuestos o las condiciones de funcionamiento de estos materiales se efectúan a elevadas temperaturas, es de gran importancia estudiar la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de diferentes tipos de refuerzos disponibles en el mercado para la elaboración de materiales compuestos. Este artículo presenta los resultados de una investigación sobre los cambios en aspecto superficial, resistencia a la tracción y masa en función de la temperatura de diferentes tipos de refuerzos sometidos a ciclos térmicos.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Refuerzos estudiados

En este estudio se caracterizaron refuerzos metálicos, cerámicos y poliméricos en forma de fibras discontinuas, además de lanas minerales de roca y de aluminosilicatos.

Las fibras metálicas fueron de acero de bajo carbono Dramix® y acero inoxidable AISI-SAE 304. Aquéllas, con un diámetro de 750  $\mu\text{m}$ , se producen a partir de varillas estiradas en frío y se emplean principalmente para reforzar concretos y morteros, mientras que las segundas, onduladas y con diámetro de 230  $\mu\text{m}$ , se obtienen a partir de mallas empleadas en la industria química y alimenticia. Para efectos del estudio ambos tipos de fibra se cortaron en longitudes de 60 mm.

La densidad de estos dos tipos de fibra no fue proporcionada por sus fabricantes, de modo que se procedió a calcularla a partir del volumen derivado de sus dimensiones (longitud y diámetro) y su masa obtenida en una balanza analítica marca Mettler Toledo modelo AB204. Este método se considera válido, ya que la variación encontrada en el diámetro de las fibras fue mínima. Los valores de densidad así calculados fueron 7,7  $\text{g/cm}^3$  para las fibras de acero de bajo carbono y 7,5  $\text{g/cm}^3$  para las fibras de acero inoxidable.

Las fibras cerámicas evaluadas fueron de carbono y vidrio. Las fibras de carbono Sigrafil C de baja densidad, alrededor de 1,76  $\text{g/cm}^3$ , son eléctricamente conductoras, según especificaciones del proveedor, en tanto que las fibras de vidrio tipo E fueron suministradas por la empresa Saint-Gobain Vidrios S. A. con una densidad promedio de 2,6  $\text{g/cm}^3$ .

Como fibras poliméricas se empleó Kevlar 129, constituido por 100 % de aramida con densidad promedio 1,44  $\text{g/cm}^3$ . A estas fibras se les seguirá llamando a lo largo del artículo aramida, que es el nombre técnico.

La lana mineral de roca es una masa suave de peso ligero y con mucho cuerpo formada por fibras largas entremezcladas unas con otras que se obtienen a partir de rocas en estado fundido. La lana de aluminosilicatos suministrada por la empresa Thermal Ceramics está constituida sobre todo por alúmina y sílice con algunas trazas de otros óxidos especialmente de circonio y titanio.

## 2.2 Caracterización de los refuerzos

Todos los materiales fueron analizados mediante microscopía óptica (Nikon Eclipse E200). Las fibras de acero de bajo carbono, acero inoxidable, carbono, aramida y vidrio fueron sometidas, antes y después de ser tratadas térmicamente, a ensayos de tracción en una máquina universal de ensayos Instron modelo 3366. En estas pruebas se usó una longitud calibrada (zona de ensayo) de 30 y 38 mm, tomando como referencia la línea media de desplazamiento de la máquina de ensayos. La velocidad de ensayo se ajustó para que la fractura ocurriera en 30 s aproximadamente, de acuerdo con las directrices de la norma ASTM C1557-03.

Cabe anotar que a las fibras de acero de bajo carbono se les recortaron las puntas para poder asegurarlas entre las mordazas de la máquina universal y que los refuerzos de lana mineral de roca y lana de aluminosilicatos no fueron sometidos a pruebas de tracción debido a que su disposición geométrica impedía sujetarlos entre las mordazas de la máquina universal.

Los diferentes refuerzos se sometieron a tratamientos térmicos con una tasa de calentamiento de 100 °C/h hasta llegar a la temperatura deseada (400, 600, 800 ó 1000 °C), la cual se sostuvo durante 3 horas, permitiendo el enfriamiento en el interior del horno.

A fin de encontrar las temperaturas de pérdida de masa por descomposición y las temperaturas de transición de fases, se efectuaron análisis termogra-

vimétricos TGA, en un equipo TGA Q500, a una tasa de calentamiento de 20 °C/min en atmósfera oxidante, y análisis de calorimetría modulada de barrido diferencial DSC en un equipo DSC Q200, a una tasa de calentamiento de 10 °C/min. El análisis DSC se realizó en cápsula hermética para evitar transiciones de evaporación.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Aspecto superficial de los refuerzos

Antes y después de realizar los tratamientos térmicos a 1000 °C, los diferentes refuerzos se inspeccionaron tanto a simple vista como por microscopía óptica. La figura 1 muestra el aspecto de los diferentes materiales tal como fueron suministrados por su respectivo proveedor.

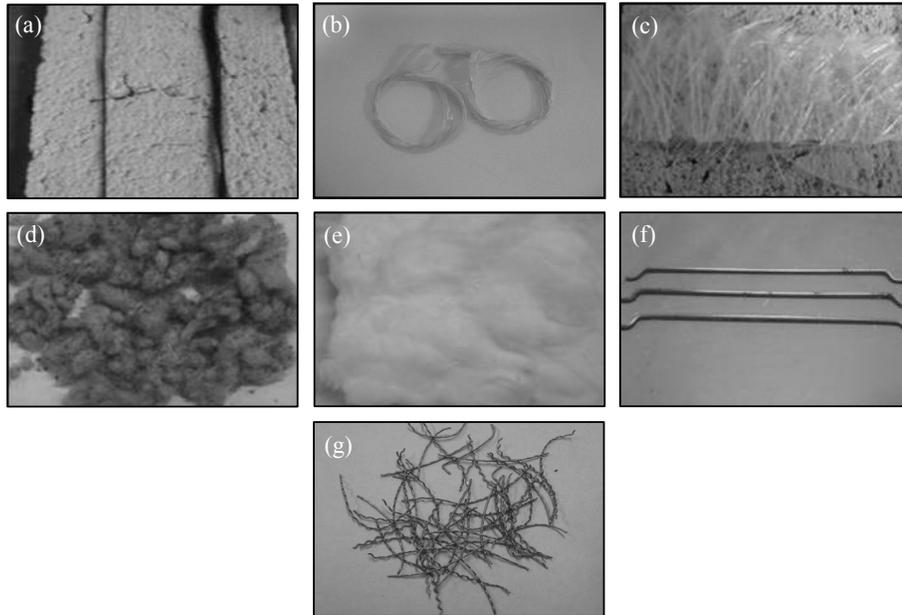
Se puede apreciar que las lanas de mineral de roca y de aluminosilicato (figuras 1d y 1e) exhiben geometrías bien diferenciadas respecto a las fibras, asimismo es posible verificar que los diámetros de ambos tipos de fibras de acero son mucho mayores que en las demás fibras.

La figura 2 muestra el aspecto de los diferentes tipos de refuerzo después de haber sido tratados térmicamente a 1000 °C. Se observó una calamina compuesta por productos de corrosión sobre la superficie de las fibras de acero, en mayor proporción sobre las de acero de bajo carbono que sobre las de acero inoxidable, como se puede apreciar en las figuras 2a y 2b. Las fibras de vidrio tratadas a 1000 °C se fundieron y quedaron convertidas en trozos amorfos y quebradizos, como se puede observar en la figura 2c, pero con el tratamiento térmico a 800 °C no mostraron cambio visual apreciable. La lana mineral de roca sufrió un cambio de color de verde oscuro a verde claro (figura 2d) cuando se trató a 1000 °C, en tanto que en la lana de aluminosilicatos tratada a esta misma temperatura no se presentó ningún cambio visual (figura 2e), ya que su carácter refractario le

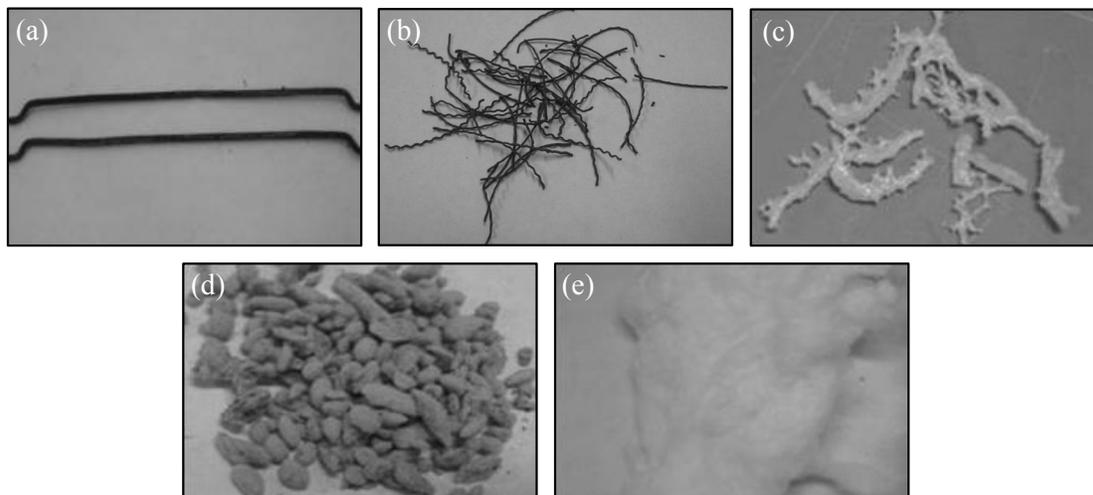


proporciona estabilidad térmica hasta 1500 °C. Las fibras de carbono tratadas a 600 y 400 °C no reflejaron cambios apreciables en su aspecto superficial, mientras que a 1000 °C ocurrió su combustión dentro del horno

dejando sólo una mancha café sobre el refractario. Las fibras de aramida con el tratamiento a 400 °C mostraron un cambio de color de amarillo a café y a 1000 °C, como se esperaba, se carbonizaron completamente.



**Figura 1.** Aspecto superficial de los refuerzos antes de someterlos a tratamientos térmicos: (a) fibras de carbono, (b) fibras de aramida, (c) fibras de vidrio, (d) lana mineral de roca, (e) lana de aluminosilicatos, (f) fibras de acero de bajo carbono y (g) fibras de acero inoxidable.



**Figura 2.** Aspecto superficial de los refuerzos después de someterlos a tratamiento térmico a 1000 °C: (a) Fibras de acero de bajo carbono, (b) Fibras de acero inoxidable, (c) Fibras de vidrio, (d) Lana mineral de roca, (e) Lana de aluminosilicatos

### 3.2 Resistencia a la tracción de las fibras

Las pruebas de tracción de las fibras flexibles como las de vidrio, carbono y aramida se realizaron soportadas en una plantilla de cartulina con las dimensiones recomendadas en la norma ASTM C1557-03 para permitir su agarre entre las mordazas de la máquina universal, sin que ocurra fractura prematura, tal como se aprecia en la figura 3. Las fibras de acero se sujetaron directamente a mordazas con dientes muy finos para evitar posibles deslizamientos o la falla en la zona de agarre. En todas las pruebas realizadas la fractura ocurrió a una distancia no inferior a un tercio de la longitud de prueba medida desde la zona de agarre.

La figura 4 presenta los resultados de resistencia a la tracción de las fibras de acero con tratamiento térmico y sin él. Se puede apreciar que la resistencia a la tracción de las fibras de acero inoxidable no es muy afectada por tratamientos térmicos inferiores a 800 °C (figura 4a), mientras que el tratamiento a 1000 °C sí causa una reducción de sus propiedades mecánicas. Las fibras de acero de bajo carbono sin tratamiento térmico (figura 4b) exhiben mayor resistencia a la tracción que las de acero inoxidable, pero

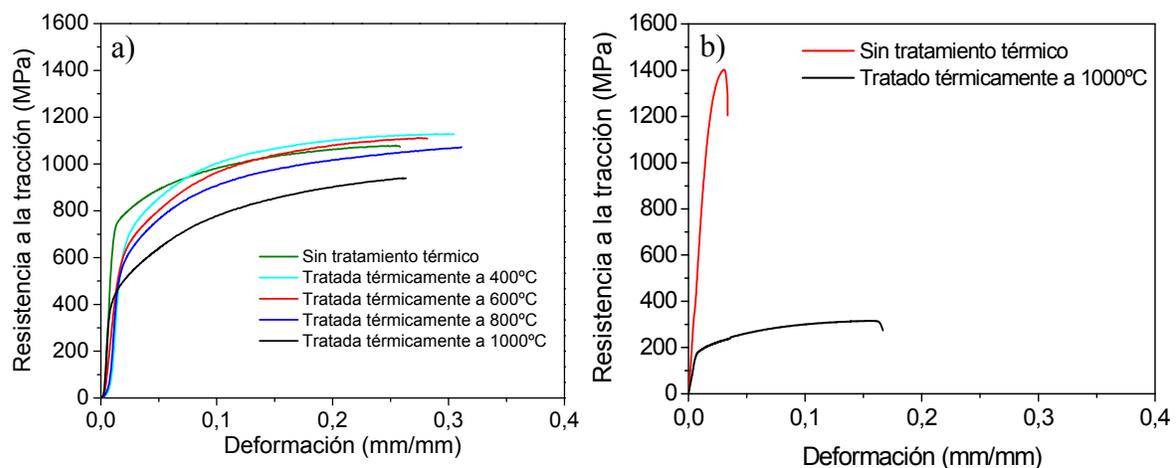


**Figura 3.** Sujeción de las fibras de carbono, aramida y de vidrio para las pruebas de resistencia a la tracción

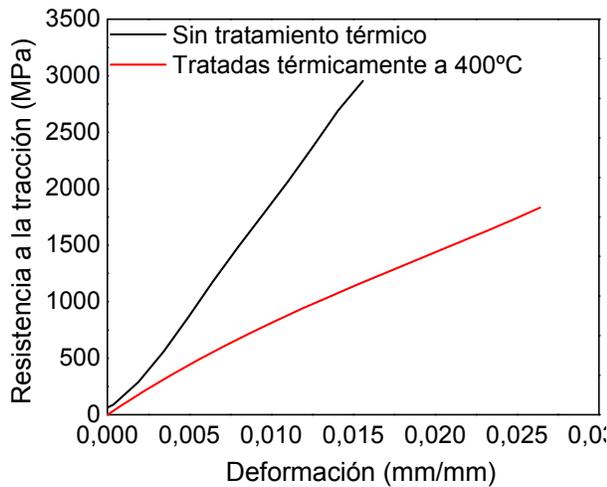
disminuye notablemente respecto a estas últimas al ser tratadas a 1000 °C.

La figura 5 presenta las gráficas de resistencia a la tracción de las fibras de carbono sin tratamiento térmico y después del tratamiento a 400 °C.

La gráfica de la figura 5 pone de manifiesto el comportamiento frágil de estas fibras, ya que por la naturaleza del material, una vez se supera la



**Figura 4.** Curvas de resistencia a la tracción de fibras de (a) acero inoxidable y (b) acero de bajo carbono con tratamiento térmico y sin él

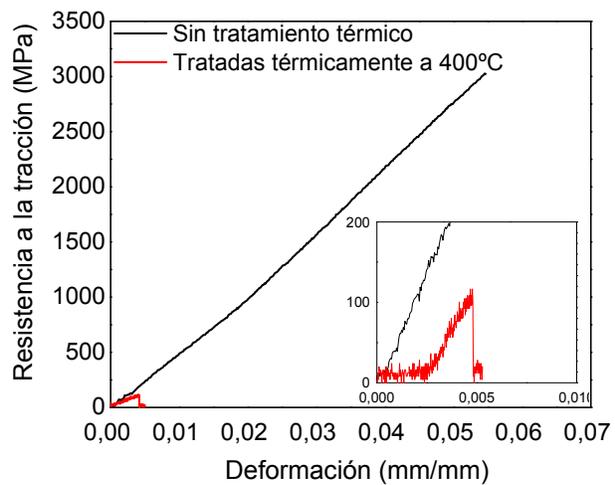


**Figura 5.** Resistencia a la tracción de fibras de carbono sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico a 400 °C

resistencia elástica de las fibras, ocurre su fractura sin alcanzar la deformación plástica. Se evidenció que con el tratamiento térmico a 400 °C, la resistencia a la tracción de las fibras disminuyó el 40 %.

La figura 6 muestra la resistencia a la tracción de las fibras de aramida sin tratamiento térmico y con tratamiento a 400 °C, en el recuadro se observa un aumento para observar mejor la gráfica de la fibra tratada térmicamente. Se observa que las fibras de aramida sin tratamiento térmico poseen una resistencia alrededor de los 3000 MPa, la cual disminuye abruptamente cuando son tratadas a 400 °C, hasta ser prácticamente nula debido a las transiciones de fase que sufren estas fibras de aramida a temperaturas inferiores a los 400 °C, como se explicará en la sección 3.3 (Kelly y Zweben, 2004).

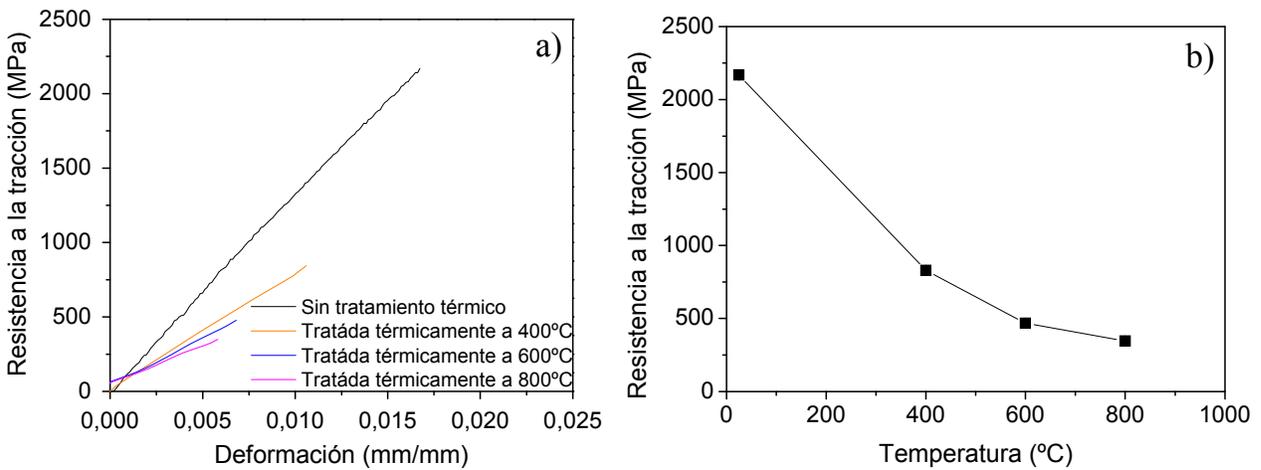
La figura 7 presenta el comportamiento a la tracción de las fibras de vidrio tipo E con la temperatura; la figura 7a muestra el comportamiento frágil característico de estas fibras, mientras que en la figura 7b se observa específicamente la evolución de las propiedades mecánicas de las fibras cuando han sido sometidas a los tratamientos térmicos a di-



**Figura 6.** Resistencia a la tracción de fibras de aramida sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico a 400 °C

ferentes temperaturas. Con el tratamiento térmico a 400 °C las fibras conservan el 38 % de su resistencia inicial; cuando se incrementa la temperatura del tratamiento a 600 °C las fibras retienen el 21 %, y cuando se eleva a 800 °C la temperatura del tratamiento la resistencia mecánica exhibida corresponde al 16 % de la resistencia que tenían las fibras antes de tratarlas térmicamente. El bajo valor de las propiedades mecánicas después del tratamiento a 800 °C se debe a que como este tipo de vidrio presenta una temperatura de reblandecimiento alrededor de esta temperatura (846 °C) quizá se formaron grietas en la solidificación, las cuales afectaron considerablemente la resistencia a la tracción de las fibras, mientras que a las otras temperaturas de tratamiento la pérdida en las propiedades mecánicas se puede asociar a fenómenos de desvitrificación.

En suma, las fibras de carbono exhibieron la mayor resistencia a la tracción sin ser tratadas térmicamente, seguidas de las fibras de aramida y vidrio. Los tratamientos térmicos afectaron en mayor proporción la resistencia mecánica de las fibras de aramida seguidas por las fibras de vidrio y de carbono.



**Figura 7.** Resistencia a la tracción de fibras de vidrio sin tratamiento térmico y con tratamientos a temperaturas de 400, 600 y 800 °C.

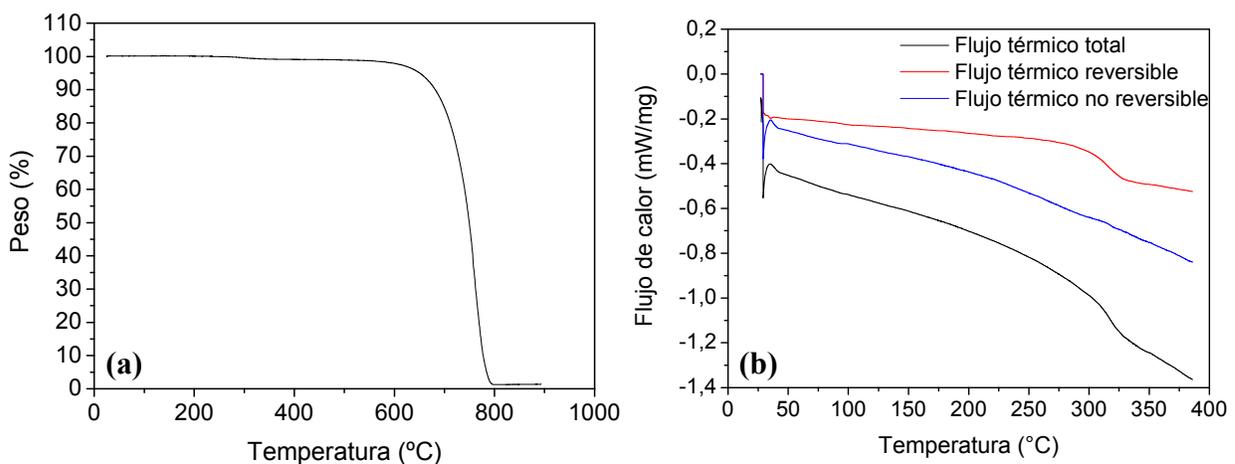
Las fibras de acero inoxidable son las que mejor conservan sus propiedades mecánicas al ser sometidas a tratamientos térmicos, a la vez que exhiben la alta ductilidad, propia de los metales.

### 3.3 Análisis térmico del comportamiento de las fibras

La caída de la resistencia a la tracción en todas las fibras evaluadas cuando fueron sometidas

a tratamientos térmicos puede estar relacionada con fenómenos de degradación térmica o con transformaciones de fase, para lo cual se hicieron necesarios los cambios de las fibras en función de la temperatura, mediante análisis termogravimétrico y calorimetría modulada de barrido diferencial.

La figura 8 muestra los resultados de los análisis TGA y DSC de la fibra de carbono. Mediante el análisis TGA, figura 8a, se encontró que las fibras de



**Figura 8.** Análisis térmico de las fibras de carbono: (a) curva TGA de fibras de carbono en atmósfera oxidante y (b) curva DSC de las fibras de carbono

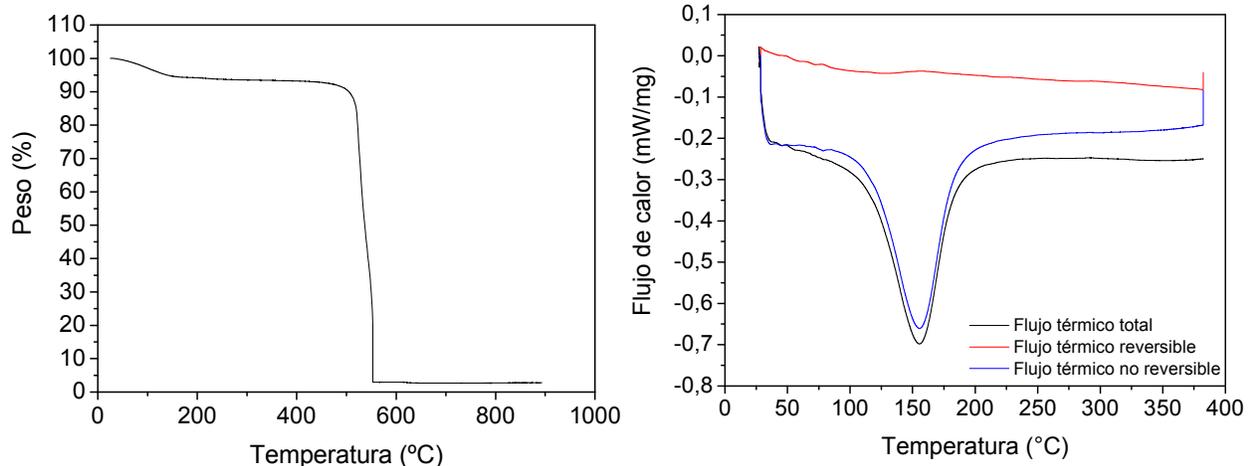


carbono sufren una leve pérdida de masa cercana al 1 % hasta alrededor de 630 °C, donde se inicia la degradación termo-oxidativa de las fibras hasta alcanzar su descomposición total a los 800 °C. En la figura 8b se observan los análisis por calorimetría de barrido diferencial modulada. El flujo térmico reversible, donde típicamente aparecen transiciones vítreas, la mayoría de fusiones y cambios en capacidad calorífica, muestra una leve depresión alrededor de 325 °C en la línea base, típica de una transición vítreas. La señal del flujo total es consistente con la señal reversible, mientras que el flujo no reversible no muestra cambios aparentes. Estos resultados permiten corroborar que para aplicaciones que involucren el uso de fibras de carbono a temperaturas de trabajo superiores a 400 °C no deben emplearse bajo atmósferas oxidantes (Buckley y Edie, 1993; Bansal, 2005).

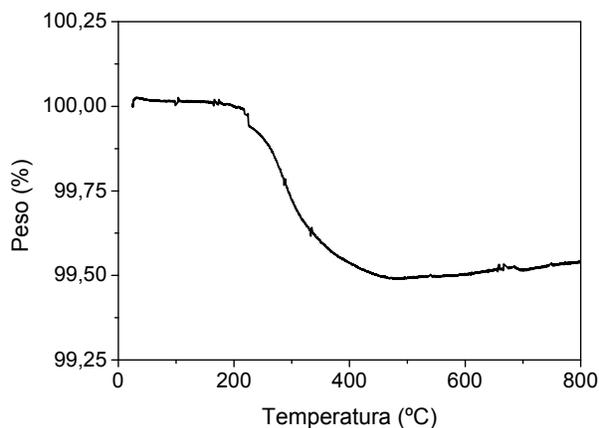
La figura 9 exhibe los resultados de los análisis térmicos de las fibras de aramida. El termograma mostrado en la figura 9a presenta una pérdida de masa del 6 % a una temperatura de 100 °C, correspondiente a la humedad contenida, mientras que a 500 °C ocurre la descomposición total de las fibras. En la literatura se encuentran reportadas temperaturas de transición vítreas para las fibras de aramida

mayor de 300 °C (Mukherjee *et al.*, 2006; Kelly y Zweben, 2004). En la figura 9b se observan los análisis por calorimetría modulada de barrido diferencial. El flujo térmico reversible muestra una leve recuperación entálpica alrededor de 125 °C; sin embargo, no presenta una transición vítreas aparente, tal vez debido a la alta cristalinidad de este tipo de fibras que es muy dependiente de su procesamiento. No obstante, en la señal de flujo de calor total y no reversible, se observa una transición endotérmica posiblemente asociada a la fusión de algún modificador superficial de la fibra o plastificante. La pérdida de la resistencia a la tracción de estas fibras que fueron tratadas térmicamente a 400 °C (figura 6) se puede atribuir a la relajación  $\beta$  y  $\alpha$  de este material que ocurren alrededor de los 200 °C y 350 °C, respectivamente. Estas transiciones han sido determinadas mediante análisis térmico dinámico-mecánico (dynamic mechanical thermal analysis, DMTA) por otros autores que también las han relacionado con la pérdida de propiedades mecánicas de las fibras (Rao, Waddon y Farris, 2001).

La figura 10 presenta la curva TGA de las fibras de vidrio en atmósfera oxidante. Las fibras de vidrio casi no experimentan pérdida de peso por descomposición, sólo pierden el 0,5 % de su peso entre



**Figura 9.** Análisis térmico de las fibras de aramida (a) Curva TGA en atmósfera oxidante y (b) DSC en nitrógeno (exotermia hacia arriba)



**Figura 10.** Curva TGA de fibras de vidrio en atmósfera oxidante

200 y 450 °C, lo cual puede asociarse a procesos de desgasificación. Esto demuestra la superioridad en comportamiento térmico que tiene este tipo de fibras respecto a las estudiadas en este trabajo.

#### 4. CONCLUSIONES

Entre las fibras de acero, carbono, aramida y vidrio evaluadas en el presente trabajo, las fibras de acero inoxidable ASI-SAE 304 mostraron poseer la mayor estabilidad en su resistencia a la tracción después de ser sometidas a ciclos de calentamiento hasta 1000 °C durante 3 horas.

La lana de aluminosilicatos es el único refuerzo que no presentó ningún cambio en su aspecto ni en su peso cuando fue sometida a tratamientos térmicos a 1000 °C, corroborando sus propiedades refractarias.

Las fibras de carbono disminuyeron su resistencia a la tracción en un 40 % cuando fueron sometidas a tratamientos térmicos a 400 °C, debido a la oxidación del material, mientras que las fibras de aramida mostraron una resistencia prácticamente nula después de efectuado este tratamiento térmico, a causa de la relajación  $\beta$  y  $\alpha$  de este material que ocurren alrededor de los 200 °C y 350 °C, respectivamente.

Las fibras de vidrio retuvieron la resistencia a la tracción en un 38 % cuando fueron sometidas a tratamientos térmicos a 400 °C. Con el tratamiento a 600 °C la resistencia a la tracción decreció hasta un 21 % y con el tratamiento a 800 °C disminuyó esta propiedad hasta el 16 %, quizá debido a la formación de grietas durante la solidificación después de haberse dado el reblandecimiento del material.

#### REFERENCIAS

- Bansal, Narottam P. *Handbook of ceramic composites*, Boston (USA): Kluwer Academic Publishers, 2005. pp. 1-5.
- Binici, Hanifi; Aksogan, Orhan; Bakbak, Derya; Kaplan, Hasan and Isik, Bilge (2009). "Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls". *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1035-1041.
- Binici, Hanifi; Aksogan Orhan and Shah, Tahir (2005). "Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material". *Construction and Building Materials*, vol. 19, pp. 313-318.
- Buckley, John D. and Edie, Dan D. *Carbon-carbon materials and composites*. New Jersey (USA): Noyes, 1993. pp. 20-30.
- Ghali, I.; Msahli, S; Zidi, M. and Sakli, F. (2009). "Effect of pre-treatment of Luffa fibres on the structural properties". *Materials Letters*, vol. 63, pp. 61-63.
- Kelly A. and Zweben C. (eds.). *Fiber reinforcements and general theory of composites*. Cambridge (Inglaterra): Elsevier, 2004. pp. 2-8, 201, 227.
- Mallick, P. K. *Composites Engineering Handbook*. New York: Marcel Dekker, 1997. 45 p.
- Mari, Eduardo. *Los materiales cerámicos. Aplicaciones estructurales, funcionales y artísticas*. Buenos Aires: Alsina, 2001. pp. 12-13.
- Min-Kang, Seo and Soo-Jin, Park (2009). "Thermomechanical properties of graphite nanofibers/poly(methyl methacrylate) composites". *Materials Science and Engineering A*, vol. 508, pp. 28-32.
- Mukherjee, Abhijit and Rai, Gopal L. (2009). "Performance of reinforced concrete beams externally prestressed with fiber composites". *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 822-828.
- Murkherjee, M.; Das C. K, Kharitonov, A. P.; Banik K., Mennig G. and Chung T. N. (2006). "Properties of



- 
- syndiotactic polystyrene composites with surface modified short kevlar fiber". *Materials Science Engineering A*, vol. 441, pp. 206-214.
- Ozden, Gurkan and Taylan Akdag, Cihan (2009). "Lateral load response of steel fiber reinforced concrete model piles in cohesionless soil". *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 785-794.
- Rao, Y.; Waddon, A. J. and Farris R. J. (2001). "The evolution of structure and properties in poly (p-phenylene terephthalamide) fibers". *Polymer*, vol. 42, pp. 5925-5935.
- Rezaei, F.; Yunus, R. and Ibrahim, N. A. (2009). "Effect of fiber length on thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites". *Materials and Design*, vol. 30, pp. 260-263.