un pigmento a partir de una cepa nativa bacteriana, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía, Medellín, 57.

González, A., Méndez, A., Rodríguez, R., y Aguilar, C.N. (2009). Pigmentos microbianos: ¿aditivos o nutracéu¬ticos?. Cienciacierta 5 (19).

Grolamys, C., Georgina M., Clara, N., Grisel, O., Daniel, B., Mercedes, G., Silvia, A., Ricardo, R., Deborah, C., and Gretel, M. (2010). Caracterización cromatográfica y espectroscópica de un pigmento rojo obtenido a partir de Bothryodiplodia theobromae. Revista: ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 2010, 44 (3).

Méndez, A., Hernández, J.S., Pérez, C., Rodríguez, R.,, Contreras, J.C y Aguilar, C.N. (2005).Cinética de producción y recuperación de pigmentos de Penicillum purpurogenum GH2. XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.

Méndez, A., Contreras, J. C., Lara, F., Rodríguez, R., y Aguilar, C.N. (2007). Producción fúngica de un pigmento rojo empleando la cepa xerofilica Penicillium purpurogenum GH-2. Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 6, No. 3, 267-273.

Velmurugana, P., Kamala, S., Balachandarb, V.,Lakshmanaperumalsamyc, P., Chan, J., Taek Oh, B. (2010). Natural pigment extraction from five filamentous fungi for industrial applications and dyeing of leather. Carbohydrate Polymers 79 , 262–268.

Villanueva, R., Aguilar, C.A, Gómez, Y., Valencia, G., Piña, A.B., & Bautista, S. (2013). Control de bacterias patógenas y hongos de postcosecha con extractos del pigmento de Gibberella zeae (Fusarium graminearum). Agrociencia, 47(7), 691-705.

Wani, K. S., Naphade, B. S., Chaudhari, B. L. y Chincholkar, S. B.(2004). Pigment Production, in Concise Encyclopedia of Bioresource Technology. Ashok Pandey, PhD. The Haworth Refence Press, Inc. 645-652.

ABLATOR NANOCOMPUESTO DE RESINAS POLIMÉRICAS TERMOFIJAS REFORZADO CON MICRO Y NANOESTRUCTURAS EN APLICACIONES DE PROTECCIÓN TÉRMICA AERONÁUTICA E INDUSTRIAL.

Augusto César Barrios Tamayo[1]

Keisha Milena Brand Bravo, Valeria Cuéllar Monsalve, Alejandra García Isaza, Sebastián Molina Patiño[2]

1. Facilitador, nanotecnología. Tecnoacademia, Medellín, SENA-CDHC, Regional Antioquia.

2. Once, nanotecnología. Colegio Loyola Para La Ciencia Y La Innovación.

RESUMEN

Un material ablativo es un material diseñado para proteger y resistir al daño térmico [1]. En ésta investigación se decidió diseñar un grupo de ablatores poliméricos, por su buena relación peso- resistencia en aeronáutica y automotriz. Cuando un ablator polimérico termofijo se expone a la llama o gases de combustión, es decir, a altas temperaturas, se carboniza creando una capa cerámica porosa que servirá de protección térmica asociada a su índice de aislamiento. Hay diversos tipos de materiales ablativos; ablatores de sublimación, ablatores de fusión y de degradación [2]. El tipo de ablator que se

desarrolló es uno de degradación o carbonización, este se hace a partir de resinas termofijas como las resinas epóxicas y poliéster [3], por esta razón, se decidió desarrollar una serie de experimentaciones con estas dos resinas combinando cargas cerámicas, fibras y nanotubos de carbono funcionalizados, con el fin de observar, en los ensayos termomecánicos por llama, su efecto en la forma, mecanismos y velocidad de degradación térmica así como su nivel de protección medido en términos de un gradiente térmico lineal.

Palabras claves: Ablator, Material Compuesto, Nanotubos de Carbono Protección Térmica.

1. INTRODUCCIÓN

El calentamiento aerodinámico es un proceso térmico por el cual un cuerpo sólido aumenta de temperatura al estar sometido a un fluido con alta temperatura [1]. Cualquier vehículo espacial que ingrese a la atmósfera terrestre requiere un sistema de protección térmica (TPS) para ser protegido ante el calentamiento aerodinámico; el proceso fisicoquímico en el cual un material de protección se degrada bajo estas condiciones, se denomina ablación [2]. El aumento de temperatura se debe a la fricción entre el fluido a altas temperaturas y la superficie del ablator por altas velocidades, lo que genera sobrecalentamiento en los escudos térmicos, por lo que se requiere diseñar nuevos sistemas de materiales compuestos para protección térmica (TPS) que resistan la degradación térmica con un buen índice de aislamiento durante el proceso de ese calentamiento aerodinámico [2].
Los sistemas de protección térmica deben tener la capacidad de reflejar, aislar y absorber controladamente el calor entrante de tal forma que pueda disiparlo con una rápida eliminación desde la superficie sin que penetre. Los materiales ablativos o ablatores, tienen suma importancia, debido a que pueden evitar que el interior de los vehículos aeronáuticos o terrestres sufra daños durante procesos de altas cargas térmicas [3].

Algunos materiales ablativos son mezclas con base en resinas sintéticas, epóxicos, silicona, o nylon, reforzadas con una armadura de fibras o polvos refractarios (silicio, carbono, alúmina, mullita etc). Los materiales compuestos reforzados con nanotubos de carbono han suscitado un gran interés en diferentes campos, en especial en electrónica, debido a sus excelentes propiedades, pero sin lugar a dudas, su característica más importante en el momento de ser usado como material ablativo, es la alta conductividad eléctrica que presenta, siendo desde semiconductor hasta superconductor, teniendo en cuenta, por supuesto, su diámetro, torsión y el número de capas de su composición [4]. Sin embargo, el reto que presenta el uso de dichos nanotubos de carbono, radica en que para que sus propiedades se eleven al máximo, es importante realizar una excelente dispersión, para que, de esta manera, los nanotubos ejerzan su función alrededor de todo el material nano compuesto de forma isotrópica [5].

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de los micro y nanocompuestos, se diseñaron y construyeron diferentes configuraciones con distintas resinas y reforzantes, seleccionando los materiales aislantes más idóneos para el nano compuesto polimérico. Al incluir los nanotubos de carbono multicapa (MWCNT) en dicho nano compuesto, fue necesario implementar un proceso denominado mezclado en solución, el cual consiste en dispersar los MWCNT en un solvente en el cual se encuentra solubilizado un polímero a través de las ondas de ultrasonido, para posteriormente depositar la solución obtenida

sobre un substrato mediante el proceso de Spin e de impregnación de todos los materiales, tanto de matriz, cargas y otros reforzantes en el sistema de impregnación al vacío, en el que se busca eliminar burbujas y poros así como incrementar la adherencia entre los reforzantes y la resina.

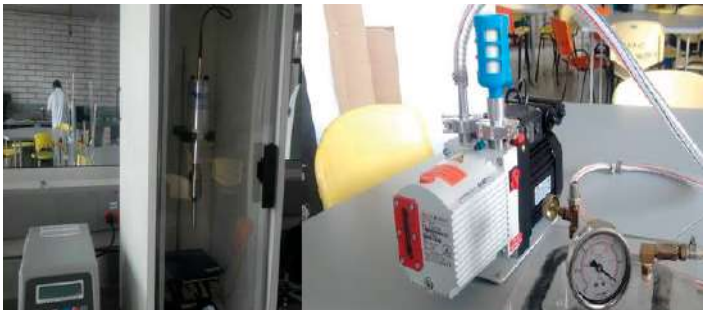


Foto 1: *Ultrasonido (izquierda); Sistema de impregnación al vacío (derecha).*

3. RESULTADOS

Se fabricaron diferentes muestras de ablatores poliméricos combinando cargas cerámicas en polvo, fibras y nanotubos de carbono, con el fin de observar su efecto en la forma, mecanismos y velocidad de degradación térmica, así como su nivel de protección térmica medidas en términos de gradiente térmico lineal. Se fabricaron 25 probetas, y se probaron 15 de éstas tomando como base la norma ASTM E 285 – 80, tanto en lo que comprende el montaje del ensayo y la ejecución del ensayo, además de la valoración de los datos obtenidos del mismo, tales como, el diferencial de temperatura, la tasa de erosión y la pérdida de masa.

Los ensayos térmicos fueron realizados en las instalaciones de Tecnoacademía- SENA de Medellín, y el diseño del montaje de prueba consistió en, un quemador de marca Bernzomatic cuya llama puede oscilar hasta alcanzar expulsar una combustión de 1200°C, un soporte universal en el que se suspende una muestra de ablación, un pirómetro de luz infrarroja cuyo límite de detección temperatura oscila entre los 1200°C y los 1500°C empleado para registrar datos respecto a la temperatura superficial de la muestra, y un termopar tipo K contactado a la muestra de ablación, con capacidad de tomar datos entre los 1200°C y los 1500°C empleado para registrar los datos respecto a la temperatura posterior de la muestra durante el ensayo térmico. Tanto los datos de temperatura superficial y posterior, eran tomados al simultáneo con intervalos de cada 5 segundos entre dato y dato.

Foto 2: *Montaje y distribución del sistema de pruebas termomecánicas para ablatores en Tecnoacademia, SENA.*

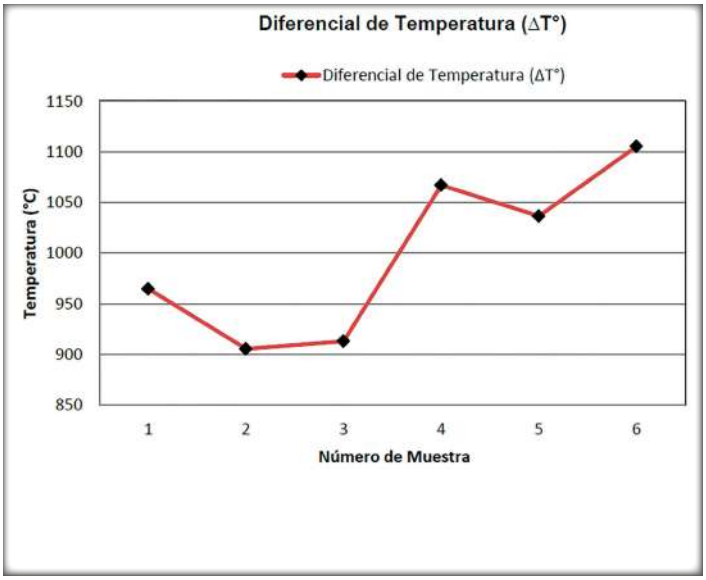
De los ensayos térmicos y valoraciones aplicados, tomando como datos de mayor relevancia los coeficientes de diferencial de temperatura y de pérdida de masa, se determinaron las mejores configuraciones de micro compuestos y micro nano compuestos poliméricos en aplicaciones de protección térmica. Los mejores ablatores seleccionados de las 25 muestras se renombraron del número 1 al 6 y se muestran a continuación:

Ablatores de degradación		
# de muestra	**Capas y reforzantes**	**Matriz**
Número 1	$CaCO^3$ + SiO^2. Fibra de carbono	Resina epoxi.
Número 2	Fibra de carbono. $CaCO^3$+SiO^2. Fibra de carbono	Resina epoxi.
Número 3	Fibra de carbono. $CaCO^3$+SiO^2	Resina poléster.
Número 4	Fibra de carbono. CaC +SiO Fibra de carbono	Resina epoxi.

Ablatores de degradación		
# de muestra	**Capas y reforzantes**	**Matriz**
Número 5	Fibra de carbono. CaCO +SiO Fibra de vidrio	Resina epoxi.
Número 6	TiO	Resina epoxi. con NTC dispersos

Tabla 1: *Materiales compuestos fabricados, y su respectiva configuración.*

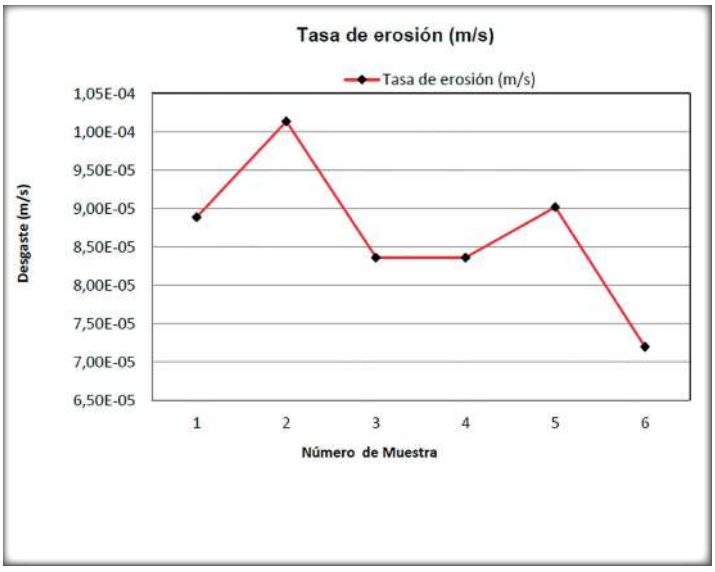
Para las configuraciones planteadas en la tabla 1 se presentan sus respectivos diferenciales de temperatura entre las dos superficies: la expuesta a la llama y la cara posterior, figura 1. En esta gráfica se logra observar que la muestra 4 y la muestra 6 tienen un mejor diferencial térmico, lo que les permite tener buena capacidad de protección térmica, los nanotubos de carbono logran disipar el calor lateralmente. Sin embargo, la muestra 4 tiene mayor durabilidad estructural debido a las fibra de vidrio y carbono, mientras la muestra 6 se degrada a mayor profundidad.

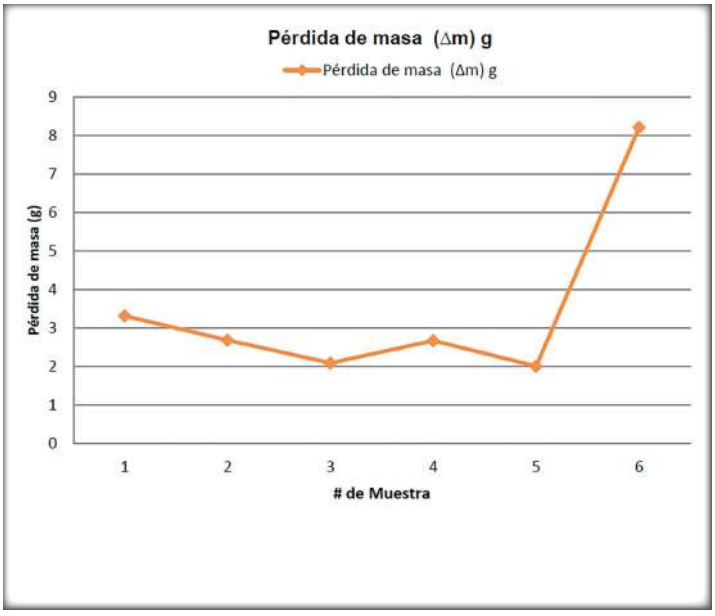


El diferencial de temperatura de la figura 1 corresponde a la diferencia de la temperatura superficial en su máximo valor de temperatura durante el ensayo y la temperatura posterior de la muestra tomada en este mismo momento. Lo esperado de estos coeficientes es que superen los 900°C, ya que este comportamiento evidencia la disipación del calor desde la superficie del material hasta la parte posterior. Entre más alto sea el valor del diferencial de temperatura, el ablator se considera mejor aislante. En la gráfica se evidencia, que la muestra 4, constituida por Fibra de carbono, carbonato de calcio y dióxido de silicio, y una última capa de fibra de carbono en una matriz epóxica, es el mejor micro compuesto fabricado para aíslamiento térmico.

La muestra 6, fabricada a partir de Dióxido de Titanio en una matriz epóxica con nanotubos de carbono dispersos, es el mejor micro-nanocompuesto para bloquear la transferencia térmica.

La tasa de erosión, se calculó con base en la norma ASTM E 285 – 80, en un cálculo que involucra el cociente obtenido del espesor inicial de la muestra y el tiempo de exposición a la llama o gases de combustión en el ensayo termo mecánico, indica el desgaste de la superficie del material, y a coeficientes más bajos, mejor tasa de erosión, ya que se espera que a altas temperaturas, el material presente un desgaste mínimo a través de su espesor. De acuerdo a la figura 2, las muestras 3 y 4 presentan menor tasa de erosión, ya que las fibras tanto de carbono como de vidrio presentan menos daño y forman un escudo a altas temperaturas, y estas constituían la primera capa frente a la llama de los materiales 3 y 4. Para la muestra 6, un micro-nanocompuesto, su aíslamiento térmico es el mejor mientras que su resistencia estructural está limitada por falta de escudos térmicos en la primera superficie.





4. CONCLUSIONES

Los materiales ablatores poliméricos fibrorreforzados en la primera capa, y precedidos por cargas cerámicas, son las más óptimas para la fabricación de materiales para protección térmica, ya que la fibra de carbono, en matrices epóxicas principalmente, ofrecen buena adherencia y buena resistencia térmica que se ve reflejada en el poco calor que se conduce por la muestra, debido a que el calor se concentra en el tejido y el que a la segunda pasa es disipado por las cargas altamente emisivas.

También, los fribrorreforzados presentan menor pérdida de masa y de longitud de la muestra, al tiempo que la tasa de erosión presenta coeficientes más bajos y el diferencial de gradientes térmicos presenta coeficientes más elevados, comportamientos termo mecánicos esperados de los ablatores.

La fibra de carbono y vidrio como primera capa, y el dióxido de titanio incorporados a matrices epóxicas con nanotubos de carbono multicapa dispersos podrán ser la mejor configuración para la fabricación de un ablator micro nano compuesto para aplicaciones de protección térmica aeronáutica e industrial, ya que térmicamente presentan mejores propiedades. Son las configuraciones más prometedoras que se desarrollarán en trabajos futuros.

5. REFERENCIAS

[1] K. Othmer, “Ablative Materials,” Encycl. Chem. Technol., pp. 1–13, 2006.

[2] J. & sons I. Wiley, “Ablative Materials,” Van Nostrand’s Scientific Encyclopedia. 2002.

[3] L. McKague, “Thermoplastic Resins.” p. 9, 2012.

[4] L. Jiménez and M. Hernandez, “La última frontera de los nanocompuestos poliméricos: el grafeno,” Rev. plásticos Mod., vol. 105 (676), no. May, pp. 28–33, 2013.

[5] G. Atxaga and B. C. Garmendia, “Volver del espacio: El desarrollo de materiales para la reentrada en la atmósfera,” Col. Of. Físicos, pp. 44–47, 2003.