

# Aplicación de Compuestos de Matriz Cerámica Reforzados con Residuos

**José Luis Soto Trinidad (Ph.D)**

Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Santo Domingo, República Dominicana,  
jose.soto@intec.edu.do                      sotot\_joseluis@yahoo.es

**José Miguel Pimentel Medina**

Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Santo Domingo, República Dominicana  
josepimentelm1@gmail.com

## ABSTRACT

Some products made from ceramic matrix composites are shown in this work. One such material composite is reinforced with solid waste of gold and silver, and the other is reinforced with volcanic ash. The matrixes of both compounds are of clay, feldspar and others chemicals that have the mission to link waste, give adhesion, mechanical resistance and consistency of materials. According to Engineering Materials, these composites were used in the coating of the piston engine model aircraft and the manufacture of refractory bricks. As a result, these materials have a value added in the industrial sector because the piston surface coating could improve the thermal efficiency of the engine and can also be used as refractory materials in components.

**Keywords:** Mining waste, refractory bricks, coated piston and Materials Engineering.

## RESUMEN

Este trabajo muestra algunos productos hechos de materiales compuestos de matriz cerámica. Uno de estos compuestos está reforzado con residuos sólidos de oro y plata, y el otro está reforzado con cenizas volcánicas. Las matrices de ambos compuestos son de arcilla, feldspatos entre otras sustancias químicas que tienen la misión de enlazar los residuos, darle adherencia, resistencias mecánicas y consistencia a los materiales. De acuerdo a Ingeniería de los Materiales, estos compuestos se emplearon en el recubrimiento del pistón de un motor de aeromodelismo y en la fabricación de ladrillos refractarios. Como consecuencia, estos materiales poseen un valor agregado en el sector industrial porque al recubrir la superficie del pistón se pudo mejorar el rendimiento térmico del motor y también se pueden utilizar como materiales refractarios en componentes.

**Palabras claves:** Residuos mineros, ladrillos refractarios, pistón recubierto, Ingeniería de materiales.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, se han utilizado materiales compuestos de matriz cerámica reforzados con residuos volcánicos y residuos procedentes de la extracción de los metales oro y plata (Vite, 2003) con el propósito de obtener materiales compuestos con buenas resistencias física y mecánica, que se puedan utilizar en la elaboración de piezas, componentes mecánicos, refractarios, entre otras aplicaciones que se les puedan dar de acuerdo a sus características.

Se seleccionaron estos materiales compuestos como materia prima, debido a que sus componentes de refuerzos poseen buenas resistencias físicas, tienen una composición formada por silicio, magnesio, aluminio, manganeso, oxígeno y carbono, y además no tienen ningún valor comercial (Soto, 2007). La incorporación del refuerzo no es trivial, ya que en la fabricación del material compuesto siempre hay que tener en cuenta las altas temperaturas

necesarias para la fase de sinterización de las cerámicas, que pueden llegar a degradarle (Smith, 2005). Otro problema a considerar es la unión matriz–refuerzo; el diferente coeficiente de dilatación lineal de matrices y refuerzos, así como los ciclos térmicos inherentes a la fabricación de las cerámicas, que pueden tener como consecuencia algunas deficiencias en la adhesión entre ambos componentes (Ferrer, 2005).

Las atractivas propiedades de las cerámicas, tales como resistencia a altas temperaturas, rigidez mecánica y buena estabilidad química, hacen que estos materiales sean muy apreciados en aplicaciones industriales con requerimientos extremos (Askeland, 2006). En este sentido, el papel de los residuos mineros y las cenizas es mejorar la tenacidad de la matriz, así como implementar su resistencia a altas temperaturas y a los choques térmicos (Vite, 1994). Por lo tanto, este estudio contempla una aplicación de la Ingeniería de Materiales, la cual se fundamenta en las relaciones propiedades-estructura y diseña o proyecta las estructuras de materiales para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades y a partir de estos, desarrollar productos que contribuyan a un bien económico. Esta ingeniería está muy relacionada con la mecánica y la fabricación (Askeland, 2006).

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La fabricación productos de materiales compuestos de matriz cerámica reforzada con residuos contempla el proceso de la molienda que permite obtener el tamaño deseado de los desechos mineros para que puedan ser trabajados. La molienda se realizó por vía seca, de tal manera que se fragmentó la arcilla a la vez que se mantenían los agregados y aglomerados de partículas (Ferrer, 2005). Después, se llevó a cabo el amasado mezclando íntimo con agua de las materias primas de la composición de la pasta obteniéndose una masa plástica moldeable por extrusión (Budinski, 1992). Posteriormente, se realizó el moldeo con máquinas galleteras, lo que permitió obtener productos cerámicos con calidad. Después de pasar por la galletera, los cerámicos se cortaron y apilaron, antes de entrarse en el horno de cocción (Soto 2007). Mediante la cocción, las piezas cerámicas se introdujeron en el horno logrando obtener los productos terminados, finalmente, se hizo el empaquetado y se ensayaron las probetas obtenidas (ASTM C674-88) (ASTM C 773 – 88).

## 3. RESULTADOS y DISCUSION

A partir del material compuesto de matriz cerámica reforzada con residuos de oro y plata se fabricaron dos productos refractarios; uno es un plástico refractario y el otro es un concreto refractario con características parecidas a un ladrillo refractario. Otro uso que se le dio a este material compuesto, es que mediante la técnica de abrasión láser se recubrió la parte superior de un pistón de un motor de aeromodelismo, los cuales se tratan a continuación.

### 3.1 Recubrimiento de la cabeza de un pistón

A fin de mejorar la eficiencia mecánica de una máquina térmica y darle una aplicación al compuesto de matriz cerámica a escala de laboratorio, la superficie superior de la cabeza del pistón que corresponde al motor GP – 15/9011, el cual se muestra en las figuras 1a y 1b, ya que, en general, fue uno de los materiales que presentó un buen comportamiento mecánico y térmico.



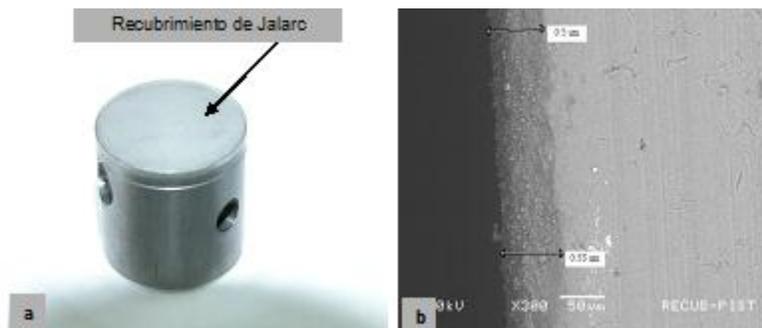
**Figura 1** Motor de dos tiempos GP-15/9011: (a) Motor ensamblado con su pistón sin recubrir, y (b) Desglose del motor.

Las características de la máquina térmica de ciclos GP – 15/9011 se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características del motor GP – 15/9011

Parámetros	Valor
Desplazamiento	2.49 cc
Diámetro del pistón	15.2 mm
Carrera	13.7 mm
Velocidad	2500 – 18000 rpm
Rendimiento	0.40 BHP/17000 rpm

La figura 2<sup>a</sup>, muestra la superficie recubierta del pistón, en la cual se incrementó la dureza de la misma en un 9.05 %. El cerámico se adhirió por medio de la técnica de abrasión láser (Alcoron, 1999), (Olea, 2003), dejando una capa cerámica en la cabeza del cilindro, que tiene un espesor promedio de 0.51  $\mu\text{m}$  (figura 2b). A la superficie se le hizo un análisis SEM, una microscopia de barrido electrónico con la cual se pudo apreciar el espesor de película (Soto, 2007).



**Figura 2** (a) Pistón del motor GP 15/9011 con capa de cerámico, (b) Zona de adherencia del compuesto y el aluminio.

En estudio térmico, se utilizaron termopares para tomar las temperaturas tanto encima de la cámara de combustión  $T_H$ , como la temperatura ambiente o del sumidero  $T_L$ , conectados a un computador, en cual se registraron los datos. Por consiguiente, la prueba que consistió en encender el motor y medir las temperaturas mientras estaba encendido. Los valores medidos antes y después de recubrir el pistón se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de temperaturas de operación y eficiencia térmica del motor GP – 15/9011.

Estado del pistón	Temperatura ambiente °C	Temperatura de la cámara °C	Eficiencia térmica teórica %
Pistón sin recubrir	20.742 ± 0.627	59.353 ± 2.966	0.646 ± 0.022
Pistón recubierto	22.276 ± 1.571	88.15 ± 1.208	0.746 ± 0.027
Incremento porcentual	-----	48.53 %	15.48 %

El cálculo de la eficiencia térmica del motor se realizó empleando la ecuación 1 (Soto, 2007).

$$\eta_T = \frac{\text{Salida..deseada}}{\text{Entrada..requerida}} \dots\dots\dots(1)$$

Es decir, para una máquina térmica la ecuación 1 (Álvarez y Callejón, 2005), toma la forma:

$$\eta_T = 1 - \frac{Wt_{neto,sal}}{Qt_{ent}} \dots\dots\dots(2)$$

Pero como:

$$Wt_{neto,sal} = Qt_{ent} - Qt_{sal} \dots\dots\dots(3)$$

En la ecuaciones 2 y 3; es la eficiencia térmica,  $Wt_{neto,sal}$  es el trabajo neto de salida,  $Qt_{ent}$  es el calor suministrado a la máquina térmica,  $Qt_{sal}$  es el calor de salida de la máquina térmica. Asimismo, la eficiencia térmica que se calculó es teórica, es decir, la eficiencia térmica de Carnot en la ecuación (4) (Gualtieri, 2005) y representa el máximo rendimiento que se puede alcanzar una máquina térmica que opera entre dos depósitos de energía a temperaturas  $T_L$  y  $T_H$  (tabla 2).

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H} \dots\dots\dots(4)$$

En la prueba, se utilizó la eficiencia térmica de Carnot ( $\eta_c$ ), (Álvarez y Callejón, 2005), debido a la dificultad de determinar los flujos de calor y por ende, la eficiencia térmica real del motor de dos tiempos. En esto, se puede decir que unos de los factores que causaron este inconveniente son las limitantes que impidieron la medición adecuada en el interior de la cámara de combustión (Soto, 2007). Sin embargo, se lograron obtener valores del rendimiento del motor en función de las temperaturas del medio ambiente y de la cámara de combustión. Como resultado, la eficiencia térmica se incrementó en 15.48 %, lo que indica el efecto del recubrimiento de material compuesto reforzado con residuos en la cabeza del pistón (Escuela Mexicana de Electricidad, 2000).

### 3.2 Fabricación de refractarios

Se obtuvieron dos productos refractarios a fines de emplear los compuestos de residuos granulares mineros y las cenizas volcánicas en el campo de la ingeniería térmica. Estos productos son: un plástico refractario (elaborado con residuos mineros, arcilla y bentonita) que puede ser empleado como recubrimiento en los generadores de vapor y hornos a fin de evitar la salida de los gases, y el otro producto es un concreto refractario (compuesto por ceniza volcánica, arcilla y bentonita) que se puede aprovechar como ladrillo refractario, debido a que estos materiales tienen buenas propiedades mecánicas y térmicas parecidas a las de los ladrillos refractarios comerciales (tabla. 3), estos productos se muestran en la figura 3.



**Tabla 3.** Materiales Compuestos refractarios: (a) Plástico refractario, y (b) Concreto refractario.

Las propiedades que se le determinaron a los materiales compuestos refractarios se presentan la tabla 3.

**Tabla 3.** Propiedades los compuestos refractarios de residuos mineros y cenizas

Propiedades	Compuestos refractarios	
	Plástico	Concreto
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.441	2.721
Porosidad %	18.581	17.982
Resistencia a la flexión (MPa)	2.942	14.339
Resistencia a la compresión (MPa)	16.289	38.283
Cambio lineal %	0.480	0.240
Conductividad térmica, 25-80 °C [J/(s*m*°C)]	1.401	1.101

En la tabla 3, se puede observar que ambos materiales compuestos tienen las propiedades físicas relativamente similares. Sin embargo, en cuanto a las resistencias mecánicas, el compuesto concreto posee mayor resistencia a la compresión y a la flexión que el compuesto plástico refractario.

## CONCLUSIONES

Se puede producir diferentes tipos de producto a partir de los materiales compuestos obtenidos de residuos granulares, los cuales pueden suplir la demanda de piezas y componentes que en la actualidad son muy costosos o que fallan constantemente, por el tipo de material que están contruidos. Como consecuencia, estas aplicaciones justifican la existencia de estos compuestos.

Por ende, las características microestructurales de las materias primas permitieron producir materiales compuestos de partículas con resistencias físicas y mecánicas, los cuales se usaron en la elaboración de ladrillos refractarios y como recubrimiento de piezas y componentes metálicos para mejorar la resistencia al desgaste y térmica de sus superficies. Por lo tanto, incursionado en la ingeniería de los materiales, al recubrir la superficie de la cabeza del motor de dos tiempos GP 15/9011 utilizando el compuesto reforzado con residuos de plata y oro, se incrementó su eficiencia en 15.48 %. Además, con la superficie recubierta se disminuyó la fuga de combustible a través de la cabeza metálica, lo cual es útil para impedir la salida de humo azul cuando el motor está en funcionamiento (Soto, 2007).

Finalmente, se pueden reciclar los desechos que se originan al final del proceso de extracción de los minerales preciosos, a fin de fabricar compuestos que se puedan emplear como valor agregado en el sector industrial. Igualmente, se pueden recopilar cenizas para evitar que sigan ocasionando enfermedades.

## REFERENCIAS

Alarcón, E; Villagrán, M; Haro, E; Alonso, J; Fernández, M; y Camps, E. (1999). 'Thin Film Deposition of Transparent Materials by Rear-Side Laser Ablation: A Novel Configuration.' *Applied Physics A – Materials Science & Processing*: A 69: S583-S586.

Álvarez Flórez, Jesús y Callejón Agramunt, Ismael (2005). *Máquinas Térmicas Motoras*. México, Alfaomega.

- Askeland, D. and Phulé, P. (2006) The Science and Engineering of the Materials. México, 5<sup>th</sup> ed., Tomson Brooks/Cole.
- ASTM C 773 – 88. Standard Test Method for Compressive Strength of Fired Whiteware Materials. Pp. 250-252.
- ASTM C674-88. Standard Test Method for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials. pp. 205-208.
- Budinski, K. (1992). Engineering Materials Properties and Selection. The United States of America, 5<sup>th</sup> ed., Prentice Hall.
- Escuela Mexicana de Electricidad (2000). 'Fallas en el Sistema Fuel Inyección'. DVD. [www.mecánica\\_facil.com](http://www.mecánica_facil.com)
- Ferrer Jiménez, Carlos y Amigo Borrás, Vicente (2005). Tecnología de Materiales. México, Alfaomega
- Gualtieri, Pablo (2005). Motores Diesel Nuevas Tecnologías. México, Hasa. [www.hasa.com.ar](http://www.hasa.com.ar)
- Mendenhall, William y Sincich, Terry (1997). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. México, 4<sup>ta</sup> ed., Prentice Hall.
- Olea, O; Camps, E. Alarcón, E; Muhl, S; Rodil, S; y Camacho, M. (2003). 'a-C Thin Deposition by Laser Ablation.' Thin Solid Films: 433: 27-33.
- Smith, William F. and Hashemi, Javad (2005). Fundamento de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. México, 4<sup>ta</sup> ed., McGraw - HILL.
- Soto Trinidad, José L., (Julio, 2007). Estudio Mecánico Probabilístico de Materiales Compuestos Obtenidos a Partir de Residuos Sólidos Mineros, Tesis de Doctorado, SEPI – ESIME – IPN.
- Vite J. (1994). 'Apparatus and Process for Extracting Metal Values from Foundry Sands' US Patent 5,356,601.
- Vite Torres, Jaime; Diaz Calva, A.; Vite Torres, Manuel and Carreño de Leon, C. (2003). 'Application of Coupled Thermostatted Columns in Civil Engineering and for Leaching Heavy Metals of Wastes from Foundry Sands and Mining Industry'. International Journal of Environment and Pollution. 19 (1) 46 – 65.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*