



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Micrografías de materiales vitrocerámicos obtenidos a partir de escoria, ceniza volante y casco de vidrio con adición de grafeno

**Valentina Moreno Moreno, Diana M.
Ayala Valderrama**

**Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia**

Leonel Paredes Madrid

**Universidad Antonio Nariño
Tunja, Colombia**

Resumen

La presente investigación se enfoca en el análisis micro estructural de materiales vitrocerámicos obtenidos a partir de escoria, ceniza volante y casco de vidrio con adición de grafeno, es una investigación enfocada a contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente al usar residuos industriales en los procesos productivos como materia prima, aportando en parte a los avances en el campo de la ciencia de los materiales que están enfocados a proporcionar soluciones para el reciclaje de residuos industriales desarrollando nuevos materiales o mejorando los ya existentes, con ello, se proporcionan alternativas de disposición final de diferentes tipos de desechos industriales. Los residuos industriales de escoria de arco eléctrico, ceniza volante de carbón se obtuvieron de las industrias termoeléctricas, así como de la producción del acero del Departamento de Boyacá, en el caso particular del casco de vidrio se obtuvo del uso común doméstico (sodo-calcicos), y el grafeno se reutilizó de investigaciones previas buscando propiedades eléctricas en el material obtenido. El proceso productivo de muestras consistió en el procesado con mortero Ágata por 30 minutos de cada material hasta obtener tamaños de partículas adecuados (entre 75-150 μm) que permitiera la elaboración de cuatro (4) mezclas con diferentes porcentajes de adición de cada material, estas mezclas fueron homogeneizadas, prensadas y tratadas térmicamente a 1100°C/2 horas, las muestras obtenidas fueron analizadas por Microscopía electrónica de barrido (SEM-DSC) realizado en un equipo Q600 SDT V20.9 Build 20 con acercamientos de 10 y 20 μm para cada imagen, los materiales obtenidos demostraron diferentes micrografías asociadas con la variación de la composición de cada materia prima, no fue posible identificar la presencia del grafeno en el material obtenido, lo que nos llevó a concluir que el material no tiene conductividad eléctrica, sin embargo, este aspecto fue corroborado usando electrodos de cobre (lamina delgada) que se colocaron entre cada uno de los materiales obtenidos, se comprimieron y se midió resistencia usando

un multímetro sin obtener ningún resultado permitiéndonos concluir que los materiales tienen resistencia eléctrica superior a $10\text{ M}\Omega$ que es lo máximo que mide el multímetro, es necesario complementar con otras técnicas de caracterización para determinar específicamente los usos o aplicaciones del material obtenido, sin embargo, estos resultados se presenta como base de continuidad para la investigación, dando a conocer que el producto final obtenido puede ser usado según apariencia física y micro estructural como baldosa de tráfico liviano o separadores de jardines.

Palabras clave: vitrocerámicos; residuos industriales; escoria; ceniza; casco de vidrio; grafeno; SEM

Abstract

The present investigation focuses on the microstructural analysis of glass-ceramic materials obtained from slag, fly ash and glass hull with the addition of graphene, it is an investigation focused on contributing to the sustainability of the environment by using industrial waste. in production processes as raw material, contributing in part to advances in the field of materials science that are focused on providing solutions for the recycling of industrial waste by developing new materials or improving existing ones, thereby they provide final disposal alternatives for different types of industrial waste. The industrial residues of electric arc slag, coal fly ash were obtained from the thermoelectric industries, as well as from the steel production of the Department of Boyacá, in the particular case of the glass hull it was obtained from the use common domestic (sodo-calcic), and graphene was reused from previous research looking for electrical properties in the material obtained. The production process of samples consisted of processing each material with Agate mortar for 30 minutes until obtaining adequate particle sizes (between $75\text{-}150\text{ }\mu\text{m}$) that would allow the preparation of four (4) mixtures with different percentages of addition. of each material, these mixtures were homogenized, pressed and thermally treated at $1100^{\circ}\text{C}/2\text{ hours}$, the samples obtained were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM-DSC) performed on a Q600 SDT V20.9 Build 20 equipment with close-ups of $10\text{ and }20\text{ }\mu\text{m}$ for each image, the materials obtained showed different micrographs associated with the variation of the composition of each raw material, it was not possible to identify the presence of graphene in the material obtained, which led us to conclude that the material does not have electrical conductivity, however, this aspect was corroborated using copper electrodes (thin sheet) that were placed between each of the materials obtained, comp tested and resistance was measured using a multimeter without obtaining any results, allowing us to conclude that the materials have electrical resistance greater than $10\text{ M}\Omega$, which is the maximum that the multimeter measures, it is necessary to complement with other characterization techniques to determine specifically the uses or applications of the material obtained, however, these results are presented as a basis for continuity for the investigation, revealing that the final product obtained can be used according to physical and microstructural appearance as a light traffic tile or spacers. gardens.

Keywords: glass-ceramics; industrial waste; slag; ash; glass hull; graphene; SEM



1. Introducción

El diseño y elaboración de materiales a partir de residuos industriales con el uso porcentual de grafeno, es un trabajo científico que requiere de desarrollo experimental en laboratorio para su producción. Esta investigación contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente al usar residuos industriales en los procesos productivos como materia prima. Los avances científicos y tecnológicos encaminados a la ciencia de los materiales abren una gran brecha en el mundo de la investigación enfocados a la generación de ideas que permitan proporcionar soluciones para el reciclaje de residuos industriales y aprovecharlos para el desarrollo de nuevos materiales. Razón por la cual esta investigación se ha centrado en elaborar nuevos productos con la combinación de escoria, cenizas volantes de carbón, casco de vidrio grafeno de la región de Boyacá en Colombia, para producir nuevos materiales con el aspecto innovador del uso de estos residuos en la elaboración de nuevos productos.

La importancia de esta investigación radica en su aporte para la protección del medio ambiente, como por ejemplo la generación de nuevas alternativas industriales con la fabricación de nuevos productos a partir del uso de residuos industriales en combinación porcentual con grafeno, contribuyendo a la protección del medio ambiente. Esta investigación presenta una metodología para evaluar la fabricación de nuevos productos a partir de residuos industriales en combinación con grafeno, generando un aporte, en la protección y conservación del medio ambiente, dando alternativas de reutilización de residuos industriales para la producción de nuevos materiales de uso cotidiano.

Son evidentes los problemas ambientales generados por las industrias y más aún cuando no se cuenta con estrategias que permitan dar una adecuada disposición final de algunos residuos generados por los procesos industriales, como es el caso en particular de la escoria, casco de vidrio, y ceniza volante, que, de acuerdo a estudios previos contienen microestructuras y propiedades mecánicas adecuadas para la producción de nuevos materiales, adicionalmente, se aborda el grafeno, material en auge en la ciencia teniendo en cuenta que es un cristal de carbono que combina una gran cantidad de propiedades y se caracteriza por tener los átomos dispuestos en un plano de forma hexagonal, permitiendo mejorar las propiedades de cualquier material con el cuál se combinen, entre las cuales, se podría destacar la excelente conductividad térmica y eléctrica, y la buena resistencia mecánica y anticorrosiva [1]

2. Antecedentes

3. Materiales y métodos

Para dar inicio a este estudio se presenta las investigaciones relacionadas con el uso del grafeno/cerámicas y sus propiedades, encontrando que el objetivo en esta primera investigación es analizar el efecto del GNP (nanoplaquetas de grafeno/graphene nano-platelets) en dos matrices amorfas que fueron estudiadas; matrices amorfas como vasos (sílice, BG Bioglass- biovidrio) y matrices policristalinas como la cerámica (alúmina). Se estudió el efecto del GNP en la conductividad



eléctrica y en la bioactividad de los compuestos BG-GNP, encontrando que puede mejorar la conductividad eléctrica de BG que se puede utilizar más para aplicaciones de ingeniería de tejido óseo [2].

En investigación realizada por Porwal y colaboradores [3] definen los pasos necesarios para procesar GCMC (compuestos de matriz cerámica de grafeno) y poder identificar cómo influyen estos en la elaboración de la matriz del grafeno para generar elementos cerámicos del grafeno, también se muestran las posibles opciones futuras en las que se podrá hacer uso de este compuesto.

En una investigación relacionada con el proceso de sinterización del grafeno, con el fin de comparar muestras procesadas con técnicas SPS (Spark Plasma Sintering) y HP (Hot Pressing), indicando que la de SPS utiliza corriente continua pulsada, mientras que HP utiliza otros mecanismos de conducción de calor no pulsados para sintetizar polvos cerámicos y nanocompuestos. De esta forma se obtuvo que de SPS una muestra de nanocompuesto completamente sinterizado utilizaba una temperatura más baja y una duración más corta (10 - 20 min), mientras que con el HP se necesitó de temperaturas más altas y duraciones más largas (60 min) para obtener una densidad completa. Como resultado de esta investigación se analizó que la mejor forma para la elaboración de nanocompuestos cerámicos es implementando la técnica de SPS, ya que es la forma más eficiente controlada para llevar a cabo este proceso [4].

Se encontró un estudio que buscaba analizar si el grafeno ayuda a fortalecer una matriz cerámica, ya que contiene compuestos que logran un endurecimiento debido a la formación de puentes del grafeno, sin embargo, se encontró que debido al aumento de volumen del material, el grafeno con la estabilidad de sus puentes puede llegar a fraccionar, lo cual conlleva a una disminución de la tenacidad y fortalecimiento de la cerámica [5].

Para esta investigación se buscó analizar mecanismos de endurecimiento gracias a la aplicación de grafito, encontrando que para la obtención de compuestos dispersos en sílice-GNP y sílice-GONP fueron más óptimas en procesamientos en polvo y coloidal. Para esto, se prepararon polvos compuestos de sílice-GONP bien disperso y completamente denso y así se observó una matriz de sílice perpendicular a la dirección de prensado en SPS, generando una mejora en la tenacidad en los materiales compuestos con la adición de 2,5% en volumen de GONP. Los compuestos de sílice-GNP y sílice-GONP se densifican utilizando un horno SPS (HPD 25/1, sistemas FCT, Alemania, horno) a 1200 °C (velocidad de calentamiento, enfriamiento 100 y 50 °C/min⁻¹ respectivamente) con la aplicación simultánea de 50 MPa de presión durante un tiempo de permanencia de 7 min. La presión se elevó durante el calentamiento (1100-1200 °C) de 12 a 50 MPa, y luego disminuyó linealmente en 6 minutos a 1200 °C. Las muestras se trituraron y pulieron utilizando papeles de SiC de hasta 4000 granos y suspensiones de diamante. Las densidades aparentes de los compuestos preparados se midieron utilizando el método de Arquímedes. Las densidades teóricas se estimaron utilizando la regla de las mezclas y tomando las densidades de la sílice en 2,2 g cm.⁻³ y GNP, GONP a 2,1 g cm.⁻³, concluyendo que las condiciones de procesamiento para preparar bien los compuestos dispersos de sílice-GNP y sílice-GONP fueron optimizados utilizando diferentes rutas de procesamiento, incluido el polvo y procesamiento coloidal. Usando las condiciones optimizadas, bien disperso y completamente denso (densidad relativa > 99%) [6].



Los polvos compuestos de sílice-GONP se prepararon utilizando una ruta de procesamiento coloidal seguida de densificación SPS en 1200 °C con 50 MPa de presión. Alineación de GONP en él se observó matriz de sílice perpendicular al prensado dirección en SPS. Hubo una mejora de ~ 35% en la tenacidad a la fractura de los compuestos con la adición de 2,5% en volumen de GONP medido utilizando la muesca de chevron método de tenacidad a la fractura. Varios mecanismos de endurecimiento incluyendo cuello GONP, extracción GONP, puenteo de grietas, se observaron deflexiones y ramificaciones de fisuras para compuestos de sílice-GONP. GONP induce tensiones locales en el matriz de sílice que hace que las grietas se desvíen de su camino normal, aumentando la tenacidad a la fractura de los composites e igualmente, la dureza y el BI de los compuestos disminuyen en ~30 y ~50% respectivamente en comparación con la sílice pura. La adición de GONP a matriz de sílice mejora la maquinabilidad de compuestos de sílice-GONP. Muestra de compuestos de sílice-GONP de fácil procesabilidad y mejores propiedades mecánicas cuando en comparación con los compuestos de sílice-CNT. Esto se puede atribuir a la superficie específica más alta y la geometría 2D de GONP en comparación con los CNT, que tienen tendencia a aglomerarse [6].

En este artículo, se presentan los resultados de una investigación relacionada con la morfología y la estructura del grafeno, a su vez de las propiedades físicas, mecánicas, electrónicas, mecánicas, ópticas y termal (e. La conductividad térmica (κ) de grafeno está dominado por el transporte de fonones, es decir, conducción difusiva a alta temperatura y conducción balística a temperatura suficientemente baja.), analizando las posibles aplicaciones de este, para lograr concluir cuál es la forma más eficaz de producir grafeno de alta calidad y rentable, basándose en las técnicas ya existentes (como mezcla de solución, mezcla de fusión o en el lugar polimerización; de estos métodos, en el lugar la polimerización podría ofrecer una dispersión superior de este relleno) para la producción del mismo [7].

Se encontró un estudio donde se tuvo en cuenta la elaboración de dos tipos de grafeno usando sinterización por plasma de chispa, para esto prepararon un método de exfoliación en fase líquida con grafito. Dicha investigación se dividió en tres aspectos; la preparación, la fabricación de compuestos de alúmina con grafeno de diferentes tamaños, y por último la investigación del efecto del tamaño de GNS sobre las propiedades mecánicas y la maquinabilidad de los nanocompuestos. Esto dando como resultado que los GNS de tamaño pequeño son refuerzos ideales para producir compuestos cerámicos-GNS con una resistencia a la fractura mejorada del 35% en la tenacidad a la fractura del compuesto de alúmina-GNS, mientras que los GNS de tamaño grande son ideales para producir cerámicas mecanizables. Pero también se detectó que un cambio en el tamaño del GNS influye en las propiedades mecánicas y la maquinabilidad de alúmina-GNS de tal forma que sugiere que los GNS de tamaño pequeño (200 nm) son refuerzos ideales para producir compuestos cerámicos-GNS con una resistencia a la fractura mejorada, mientras que los GNS de tamaño grande (1100 nm) son ideales para producir cerámicas mecanizables [8].

Se estudia la cerámica/grafeno teniendo en cuenta las investigaciones previas de este material, analizando los tipos de relleno de grafeno, y evaluando las 6 posibilidades existentes para la elaboración del grafeno según la clasificación realizada en este mismo artículo, se investiga también las propiedades mecánicas de los compuestos de grafeno / cerámica a granel, para buscar



principalmente mejorar las propiedades mecánicas de la cerámica y, particularmente, el parámetro de tenacidad a la fractura [9].

3.1 Materias primas y preparación

Los materiales utilizados en esta investigación son residuos industriales proveniente del Departamento de Boyacá (escoria de arco eléctrico, ceniza volante de carbón y casco de vidrio), e igualmente se usó grafeno, a cada uno de estos materiales se les realizó proceso de microparticulado hasta lograr un tamaño de partícula de 75 μm para la escoria y cenizas volantes de carbón, para el casco de vidrio se trabajó con un tamaño de partícula de 149 μm , este proceso se llevó a cabo utilizando un molino de Bolas y un mortero de ágata, verificando el tamaño de partícula mediante tamices de malla 100 y 200. Para el caso en particular del grafeno, no se realizó ningún proceso que modifique el tamaño de partícula, una vez logrados estos tamaños se procedió a realizar 4 diseños de mezclas así:

Tabla 1. Diseños de mezclas realizadas bajo el proceso de molturación.

Muestra	% en peso				
	Escoria	Ceniza Volante de Carbón	Casco de vidrio	Grafeno	peso Total (100%)
Grap 1	55%	35%	10%	-	100%
Grap 2	53,6%	34,1%	9,8%	2.5%	100%
Grap 3	52,3%	33,3%	9,5%	5.0%	100%
Grap 4	49,5%	31,5%	9%	10%	100%

Una vez realizadas las 4 mezclas, se llevó a cabo proceso de molturación de las diferentes mezclas en mortero de ágata durante 30 minutos, con cada mezcla se elaboraron 22 pellets de aprox. 14 mm de diámetro por 5 mm de grosor usando una prensa hidráulica a 30 MPa sin la adición de algún aglutinante, posteriormente, los materiales fueron tratados térmicamente a 1050°C /2h, con rampas de calentamiento de 10°C/min, para evaluar la composición elemental obtenida, la microestructura, las fases cristalinas logradas, y el comportamiento térmico, se procedió a realizar análisis mediante el procesos de caracterización SEM. El análisis por Microscopía electrónica de barrido (SEM) se realizó en un equipo Q600 SDT V20.9 Build 20 con acercamientos de 10 y 20 μm para cada imagen.

4. Resultados y discusión

4.1 Análisis por Microscopía electrónica de barrido SEM

En la Fig. 1, podemos observar la micrografía de la mezcla de 55% de escoria, 35% de ceniza volante y 10% de casco de vidrio sin la adición de grafeno que fue tratada térmicamente a 1100°C

con 2 horas de permanencia, observamos que la composición química que predomina es el silicio, seguido de hierro, aluminio y calcio, con trazas de otros elementos como sodio y el calcio, composición química típica de las cenizas volantes, la escoria y el casco de vidrio [10].

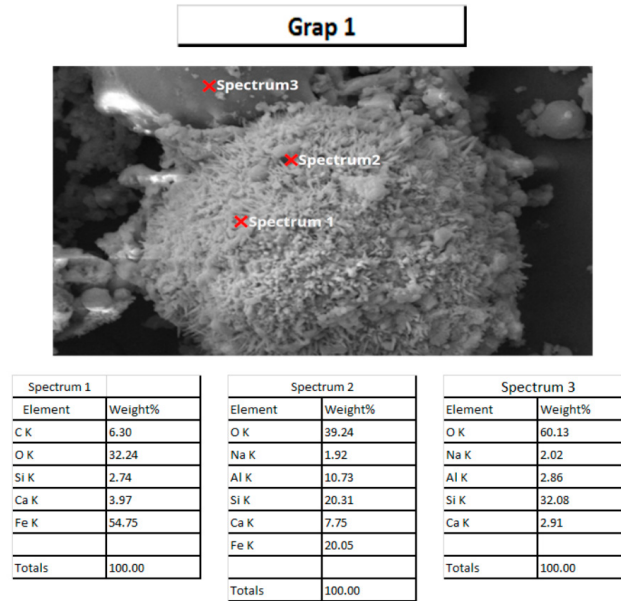


Fig. 1 La muestra de Grap 1 sin adición de grafeno.

Por su parte, en la Fig. 2, se presenta la micrografía de la mezcla de 53,6% de escoria, 34,1% de ceniza volante, 9,8% de casco de vidrio y 2.5% de grafeno tratada térmicamente a 1100°C con 2 horas de permanencia, podemos observar mayor compactación en la micrografía, sin embargo, es evidente la presencia en varias secciones de la muestras, la presencia de elementos como el Fe, Al, Si, Na, Ca, P, con trazas de Ti, V y Mg, que son típicos en este tipo de material [11]. Sin embargo, no observamos la presencia del grafeno que suele ser brillante en las micrografías así mismo en la composición elemental dada por el EDS [12].

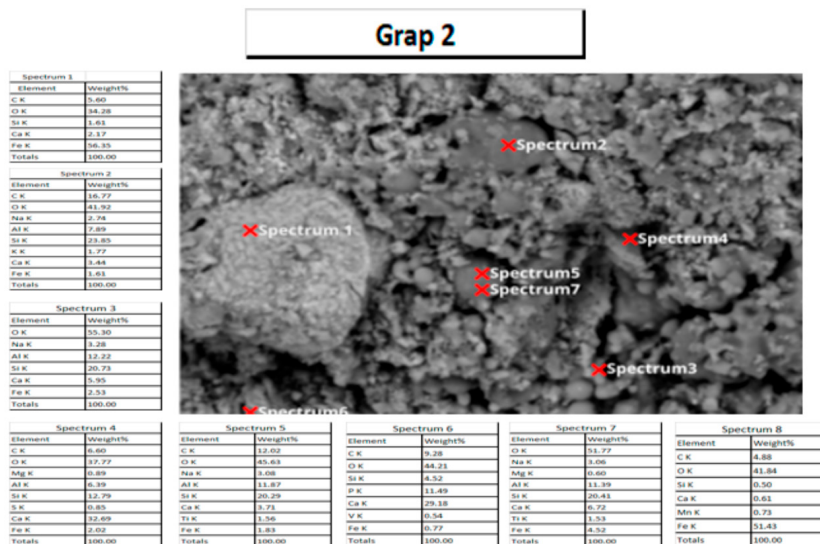


Figura 2. Muestra de grap 2 con 2.5% de contenido de Grafeno.

Adicionalmente, tenemos la muestra denominada de Grap 3, que es el material tratado a 1100°C/2 horas con composición de 52,3% de escoria, 33,3% de ceniza volante de carbón, 9,5% de casco de vidrio y 5,0% de grafeno (Fig. 3), se evidencia una micrografía compacta con algunas secciones cortantes, y la presencia de elementos como el Fe, Al, Si, Na, Ca, P, con trazas de Ti, V y Mg [12].[11][13][10]., sin embargo, al igual que la muestra Grap2, no observamos la presencia del grafeno que suele ser brillante en las micrografías ni la composición elemental dada por el EDS [12]

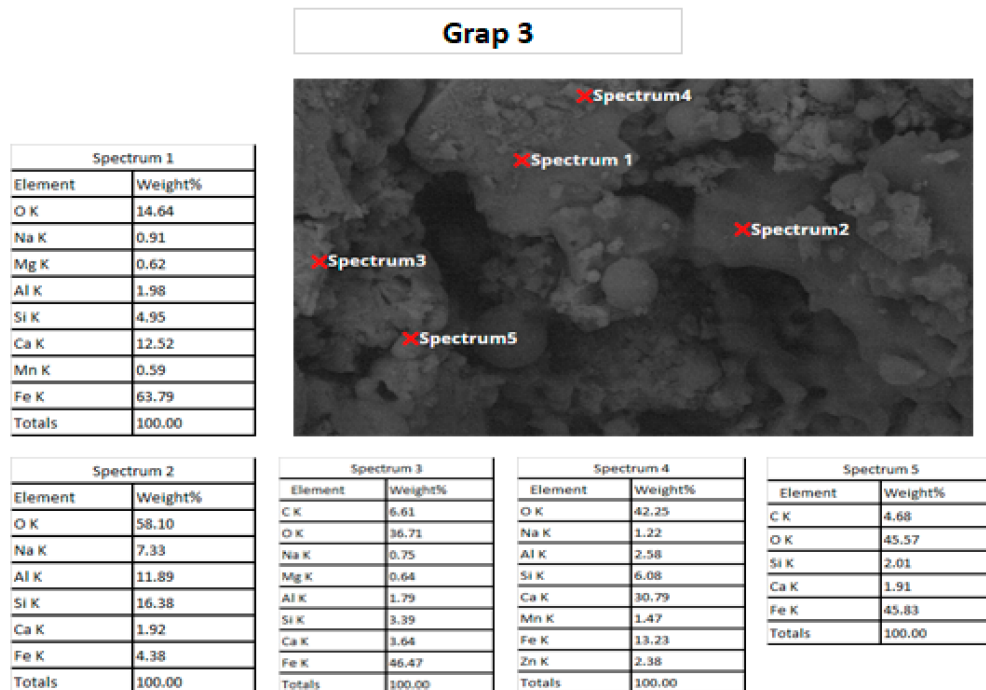


Fig. 3 Muestra con una adición de grafeno del 5%

En la Fig. 4 presentamos el material que corresponde a la mezcla de 49,5% de escoria, 31,5% de ceniza volante de carbón, 9% de casco de vidrio y 10% de grafeno observando menor segregación del material tratado térmicamente, en los diferentes espectros tomados, evidenciamos la misma composición química de Fe, Al, Si, Na, Ca, P, con trazas de Ti, V y Mg. En esta muestra tampoco fue evidente la presencia del grafeno en la micrografía que suele ser brillante así mismo no se evidencio la composición elemental dada por el EDS [12]

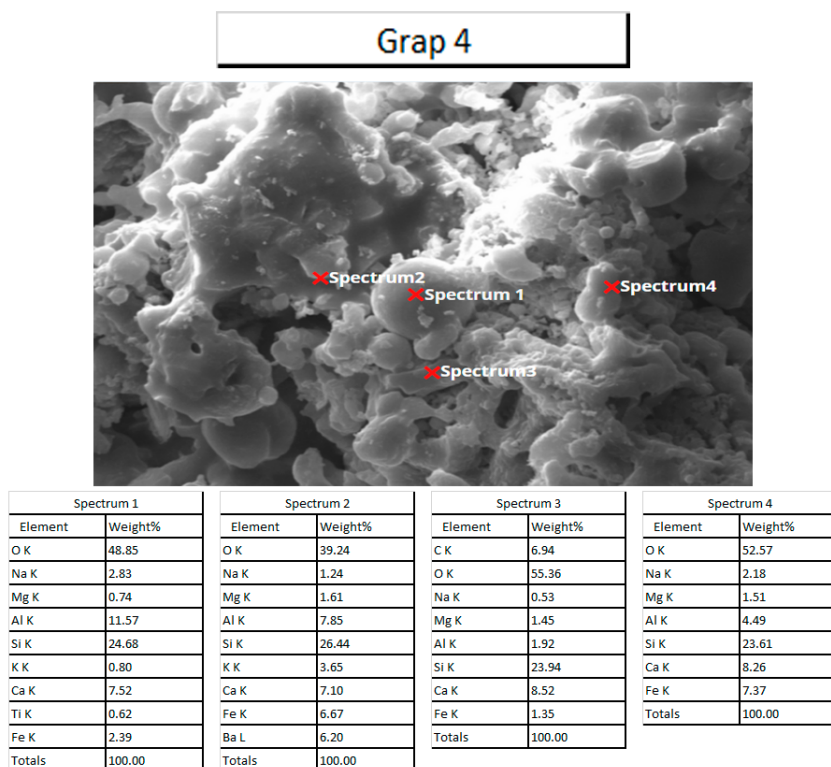


Fig. 4 Muestra con una adición de grafeno del 10%

Conclusiones

Las muestras obtenidas en esta investigación demostraron que es posible dar un segundo uso a los materiales residuales de procesos industriales, tal es el caso de la escoria, ceniza volante y casco de vidrio. No obstante, aquellas muestras que fueron obtenidas con adición de grafeno no mostraron dicho compuesto en las micrografías SEM. Esto se debe presumiblemente a una deposición del compuesto durante el proceso de manufactura, lo que imposibilitó su visualización en las micrografías. En futuras investigaciones es necesario mejorar el proceso de mezclado de los componentes para obtener una mejor homogenización en las muestras.

Referencias

- [1] E. A. Lazareva and Yu S. Mamaeva, "Synthesis of decorative glass-ceramic material based on tinted slag," *Glas. Ceram. (English Transl. Steklo i Keramika)*, vol. 61, no. 5–6, p. 160, 2004, doi: 10.1023/B:GLAC.0000043080.10824.56.
- [2] H. Porwal, "Processing and properties of graphene reinforced glass / ceramic composites," no. September, pp. 1–212, 2015.
- [3] H. Porwal, S. Grasso, and M. J. Reece, "Review of graphene-ceramic matrix composites," *Adv. Appl. Ceram.*, vol. 112, no. 8, pp. 443–454, 2013, doi: 10.1179/174367613X13764308970581.
- [4] F. Inam, T. Vo, and B. R. Bhat, "Structural stability studies of graphene in sintered ceramic nanocomposites," *Ceram. Int.*, vol. 40, no. PB, pp. 16227–16233, 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.07.058.

- [5] C. Ramirez and M. I. Osendi, "Toughening in ceramics containing graphene fillers," *Ceram. Int.*, vol. 40, no. 7 PART B, pp. 11187–11192, 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.03.150.
- [6] H. Porwal *et al.*, "Toughened and machinable glass matrix composites reinforced with graphene and graphene-oxide nano platelets," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 14, no. 5, 2013, doi: 10.1088/1468-6996/14/5/055007.
- [7] Y. Zhu *et al.*, "Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications," *Adv. Mater.*, vol. 22, no. 35, pp. 3906–3924, 2010, doi: 10.1002/adma.201001068.
- [8] H. Porwal *et al.*, "Effect of lateral size of graphene nano-sheets on the mechanical properties and machinability of alumina nano-composites," *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 6, pp. 7533–7542, 2016, doi: 10.1016/j.ceramint.2016.01.160.
- [9] P. Miranzo, M. Belmonte, and M. I. Osendi, "From bulk to cellular structures: A review on ceramic/graphene filler composites," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 37, no. 12, pp. 3649–3672, 2017, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.03.016.
- [10] S. M. Shaheen, P. S. Hooda, and C. D. Tsadilas, "Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements - A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 145, pp. 249–267, 2014, doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.005.
- [11] M. Tiwari, S. K. Sahu, R. C. Bhangare, P. Y. Ajmal, and G. G. Pandit, "Elemental characterization of coal, fly ash, and bottom ash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 90, pp. 53–57, 2014, doi: 10.1016/j.apradiso.2014.03.002.
- [12] X. Ji, Y. Xu, W. Zhang, L. Cui, and J. Liu, "Review of functionalization, structure and properties of graphene/polymer composite fibers," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 87, pp. 29–45, 2016, doi: 10.1016/j.compositesa.2016.04.011.
- [13] E. A. Saad M. Salman, Samia N. Salama, Mahdy, "Microstructure and Properties of Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-P₂O₅ Glass-Ceramics with In₂O₃ and Fe₂O₃ additives," *Process. Appl. Ceram.* 9, vol. 4, pp. 215–223, 2015, doi: 10.2298 / PAC1504215S.

Sobre los autores

- **Valentina Moreno Moreno:** Estudiante de pregrado de 5 semestre de ingeniería industrial. eliana.morenom@usantoto.edu.co
- **Diana M. Ayala Valderrama²:** Ingeniero Industrial, magister en dirección y administración de empresas, doctor en Ingeniería y ciencia de los materiales, actualmente, docente y coordinador de investigación de la Universidad Santo Tomás Tunja diana.ayala@usantoto.edu.co
- **Leonel Paredes Madrid:** Ingeniero Electrónico por la Universidad Simón Bolívar, Caracas Venezuela con Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Automática por la Universidad Complutense de Madrid, España. Actualmente se desempeña como profesor Asistente en la Universidad Antonio Nariño sede Tunja. paredes.leonel@uan.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

