Empleo de cenizas volantes para la elaboración de geopolímeros

Claudia A. Hernández-Escobar*
Departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Autónoma de ciudad Juaréz
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
E-mail: claudia.hernandez@cimav.edu.mx

Sergio G. Flores-Gallardo
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
E-mail: sergio.flores@cimav.edu.mx

E. Armando Zaragoza-Contreras
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
E-mail: armando.zaragoza@cimav.edu.mx

Temática general: Materiales

Resumen

El aprovechamiento de residuos agroindustriales tales como la cascarilla de trigo o avena, bagazo de maíz, caña de azúcar, o cáscara de nuez, son gran interés ya que sus componentes (celulosa, lignina, y aluminosilicatos), los convierten en una fuente bio-renovable de materias primas. Los materiales geopoliméricos son una nueva clase de polímeros inorgánicos que se pueden formar a base de aluminosilicatos (cenizas volantes). Los geopolímeros cuentan con un extenso campo de aplicación predominando el uso como cementantes, ladrillos refractarios, o precursores cerámicos. En este trabajo se obtuvieron cenizas volantes de cáscara de trigo de residuo mediante un proceso térmico de calcinación a 1100°C. El análisis termogravimétrico reveló que la cantidad de ceniza en la vaina de trigo fue de 16 %. Con estas cenizas volantes se obtuvieron la formación de geopolímeros mediante una activación alcalina, con hidróxido de sodio en diferentes concentraciones: 8M, 12M y 16M. Subsecuentemente, se evaluó la resistencia a la compresión en especímenes elaborados y evaluados con diferentes tiempos de curado 7, 14 y 21 días, a 20°C. La resistencia a la compresión indicó que a temperatura constante el aumento en la resistencia se relaciona directamente con el curado y con la concentración del activador alcalino, teniendo mejores resultados con la solución alcalina de 16 M.

Palabras clave: Ceniza volante, activador alcalino, geopolímeros, cascara de trigo.

Abstract

The use of agro-industrial wastes such as wheat or oat husk, corn bagasse, sugar cane, or walnut shell, is of great interest since its components (cellulose, lignin, and aluminosilicates), make them a bio-renewable source of raw materials. Geopolymers are a new class of inorganic polymers that can be formed from aluminosilicates (fly ash). Geopolymers have an extensive field of applications, predominating the use of cement, refractory bricks or ceramic precursors. In this research, fly ashes from wheat husk were obtained by a thermal process of calcination at 1100 °C. The thermogravimetric analysis revealed that the amount of ash in the wheat husk was 16%. With these fly ash, the formation of geopolymers was obtained by alkaline activation with sodium hydroxide in different concentrations: 8M, 12M, and 16M. Then, the compressive strength was evaluated in specimens elaborated and evaluated at different curing times 7, 14 and 21 days, at 20°C. The. The compressive strength indicated that at constant temperature the increase in the resistance is directly related to the curing and the concentration of the alkaline activator, having better results with the alkaline solution of 16 M.

Keywords: Fly ash, alkaline activator, geopolymers, wheat husk.

1.Introducción.

Los geopolímeros, también nombrados polímeros inorgánicos obtenidos tras la síntesis de una solución alcalina con un sólido constituido fundamentalmente por aluminosilicatos (aluminio y silicio). Las diferencias en estructura y propiedades de los geopolímeros pueden atribuirse a la variación en la relación molar de la fuente de silicio y aluminio así mismo al tipo y concentración de cationes de metal alcalino, contenido de agua y al régimen de curado entre otras variables en la síntesis de los geopolímeros (Cossu, 2010). Son esencialmente amorfos en su estructura y pueden ser utilizados como aglutinantes cementosos para morteros y hormigones en la industria de la construcción, donde exhiben mayor durabilidad en comparación con productos basados para aglutinantes de cemento Portland (Liew, Heah, Mohd Mustafa, & Kamarudin, 2016).La durabilidad con la que cuentan permite su aplicación en diferentes giros como la industria aeronáutica, refractaria, química. Los geopolímeros se han investigado ampliamente como aglutinantes como captadores de iones metálicos, residuos tóxicos y como recubrimientos en componentes para alta temperatura. El impulso para el manejo de geopolímeros es que se pueden aprovechar recursos naturales y residuos de la industria agrícola, descendiendo la contaminación ambiental especialmente el proceso de obtención del concreto ya que se generan grandes emisiones de CO_2 (Polymers & Cement, 2015).

2. Desarrollo Experimental.

2.1 Materiales

La cáscara de trigo fue provista por la industria Tre-Agro, ceniza volante obtenida de los desperdicios agroindustriales, hidróxido de sodio (J.T. Baker), agua destilada.

2.2 Procedimiento y preparación de los geopolímeros

Para la elaboración de las formulaciones de geopolímero, primero se prepararon tres soluciones de activador alcalino (hidróxido de sodio) en concentraciones de 16M,18M y 20M. Posteriormente, la ceniza volante proveniente de la cáscara de trigo se mezcló con las soluciones alcalinas por separado por un tiempo de 5 min en un rotor mecánico a 1200 rpm. Las pastas frescas se vaciaron en moldes con dimensiones de 3.2 cm de altura y 2 cm de diámetro. Enseguida, se vibraron por 5 min para sacar el aire ocluido. Los moldes se dejaron en reposo a una temperatura entre 23°C y 25°C en un cuarto de laboratorio bajo los reflejos directos del sol. Posteriormente, se evaluó su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 21 días. Con base en lo reportado (Industrial & Arizpe, 2015, Industrial & Arizpe, 2015) el curado más favorable para promover una ganancia de resistencia a la compresión resulta ser más efectivo a largo plazo, ya que se promueve un mayor avance en los procesos de reacción, resultando en la consolidación de microestructuras más densas y con alta resistencia a la compresión.

2.2 Caracterización

El contenido de inorgánicos presentes en las distintas cáscaras de residuo agroindustrial se realizó en un un analizador termogravimétrico (Modelo Q600, TA Instrument), con una rampa de calentamiento de 10 ºC min^{-1}, hasta 800ºC, bajo una atmosfera de aire. Los polvos molidos de ceniza volante obtenidas de la cáscara de trigo se caracterizaron por difracción de rayos-X en un equipo Panalytical Modelo X'Pert PRO MPD en un rango de 15 a 40º 2θ, con un paso de 0.033º y un tiempo de 100 s por paso. Por último, la resistencia a la compresión de los geopolímeros se evaluó en una prensa hidráulica de 120 toneladas de capacidad marca ELVEC.

3. Resultados y Discusión

Con el propósito de conocer cual residuo agroindustrial tenia mayor contenido de ceniza como la fuente de ceniza volante, se llevó a cabo un análisis termogravimétrico. En la Figura 1 se observan las descomposiciones que presentan la cáscara de arroz, trigo y avena, en donde a altas temperaturas podemos observar el contenido de componentes inorgánicos presentes en estos residuos, la cascara de arroz siendo nuestro material de comparación y más empleado para la obtención de cenizas volantes en países asiáticos contiene un 15.76% de material inorgánico, mientras que la cáscara de avena posee un 3.43% y la cáscara de trigo un 15.92%, mostrando un ligero mayor porcentaje de inorgánico. Esto marca a la cáscara de trigo como un primer candidato de fuente de materia prima de cenizas volantes además de darle un valor agregado a este residuo en la formación de geopolímeros (Pouhet & Cyr, 2016).

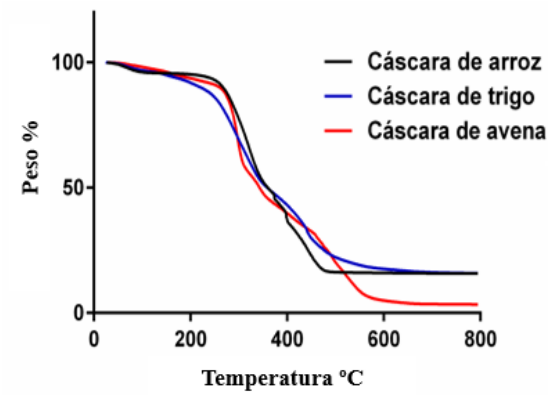

Figura 1. TGA.Contenido de material inorgánico

En la Figura 2 se muestra el difractograma de rayos-X de la ceniza volante de cáscara de trigo, en donde se aprecian picos característicos del óxido de silicio, presentes a 22, 31.5 y 36º, indicando que se encuentra en su estructura cristalina como timidita y cristobalita, atribuido a dióxido de silicio amorfo con base en lo reportado y atribuido a la temperatura de calcinación durante la obtención de la ceniza (Sathanandam, Awoyera, Vijayan, & Sathishkumar, 2017), además, los picos pequeños a 23º y 26.8º indican la presencia de muy poca cantidad de óxido de aluminio. Estos resultados también fueron reportados por Nova *et al*, 2013 en la obtención del difractograma de diversas fases del óxido de silicio. Con base en estos resultados, se puede dar una aproximación a la aplicación de estos geopolímeros hacia materiales refractarios debido a la relación existente entre ambas especies, oxido de silicio y oxido de aluminio (Park, Abolmaali, Kim, & Ghahremannejad, 2016).

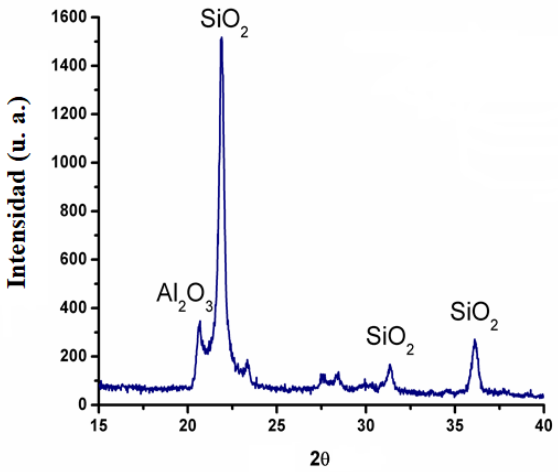

Figura 2. Rayos-X de la ceniza volante de cascara de trigo

La Figura 3 muestra los resultados de resistencia a la compresión de 7, 14 y 21 días de curado de los geopolímeros sintetizados. En general, se observaron dos efectos, primero, la resistencia a la compresión aumentó con el tiempo de curado, y segundo, al subir la concentración molar del activador alcalino, también incrementa la resistencia a la compresión.

Esto se puede atribuir al llenado de la estructura microporosa del geopolímero mediante la formación de más productos de hidratación atribuido al movimiento de las moléculas de agua retenidas aumenta y comienza a escapar de la estructura en forma de vapor produciendo una elevada presión interna que genera expansión en el interior de las microestructura (Al-Majidi, Lampropoulos, Cundy,& Meikle,2016). Weiguo et al. examinaron diferentes proporciones de silicato de sodio e hidróxido de sodio como activador alcalino y los hallazgos de este estudio indicaron que a medida que aumentaba el contenido de estos compuestos, se mejoró la resistencia a la compresión de la mezcla.

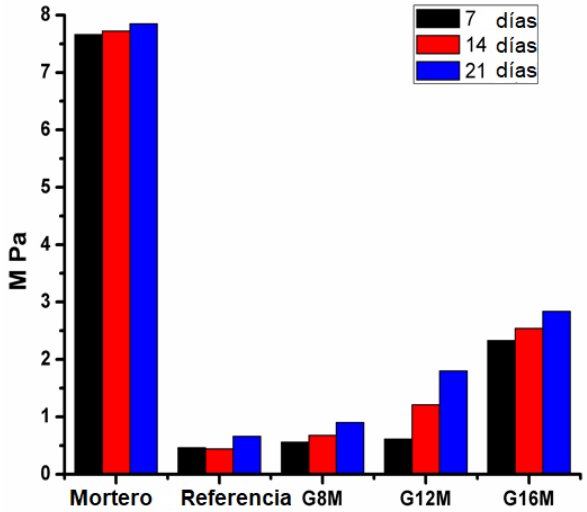

Figura 3. Resultados de resistencia a la compresión

4. Conclusiones

Es de gran interés y provecho seguir explorando este campo de investigación y desarrollo para el manejo de residuos agrícolas como fuentes de materia prima en el desarrollo de geopolímeros. El efecto de la concentración de activador alcalino (NaOH) sobre las propiedades de resistencia a la compresión para todas las formulaciones de los geopolímeros evaluados aumentó con el tiempo de curado y la concentración del activador alcalino, con una mejor resistencia de 16M en esta familia de formulaciones. En términos de competitividad, el comportamiento de la resistencia mecánica y composición química, única de los geopolímeros desarrollados en esta investigación, pueden ser una opción dentro del campo de los material cementantes.

5. Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a la M.C. Bárbara Farías, al Dr. Alejandro Vega, a la M.C. Erika López, a la Lic. Flor Valdez, Dr. José Luis Espinoza, Armando Moya, David Aleman, Remigio Barron, Carlos Miki, Dr. Daniel Lardizabal, M.C. Miguel Bocanegra, M.C. Roberto Camarillo, M.C. Mónica Mendoza, Oscar Olguín, por su valiosa contribución a este trabajo.

6. Referencias

Cossu, R. (2010). Waste and building materials: What type of articles should be submitted to Waste Management? *Waste Management*, *30*, 735–736. http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.006.

Industrial, P., & Arizpe, R. (2015). Revista ALCONPAT, 58–73.

Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). Structure and properties of clay-based geopolymer cement: A review. *Progress in Materials Science*. http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002

Polymers, A. I., & Cement, A. A. (2015). Introduction to Geopolymers. http://doi.org/10.1007/978-981-287-311-8.

Al-Majidi, M. H., Lampropoulos, A., Cundy, A., & Meikle, S. (2016). Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications. *Construction and Building Materials, 120*, 198-211.

Park, Y., Abolmaali, A., Kim, Y. H., & Ghahremannejad, M. (2016). The compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber partially replacing sand. *Construction and Building Materials, 118*, 43-51.

Pouhet, R., & Cyr, M. (2016). Formulation and performance of flash metakaolin geopolymer concrete. *Construction and Building Materials, 120*, 150-160.

Sathanandam, T., Awoyera, P. O., Vijayan, V., & Sathishkumar, K. (2017). Low carbon building: Experimental insight on the use of fly ash and glass fiber for making geopolymer concrete. *Sustainable Environment Research, 27*(3), 146-153.

O. Burciaga-Díaz, J. I. Escalante-Garcia1, R. X. Magallanes-Rivera(2015).Ingenieria Revista ALCONPAT, Volumen 5, Número 1, Enero - Abril 2015, Páginas 58 – 73 Revista