

Evaluación de las dunitas de Cayo Guam para su posible uso como material refractario

Orleidy Loyola Breffe

oloyola@ismm.edu.cu

Yaliesky Hernández Suárez

yhsuarez@metalurgia.ismm.edu.cu

José Alberto Pons Herrera

jpons@ismm.edu.cu

Celso Alexandre Gideo Pires Cuienga

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se evaluó desde el punto de vista químico, granulométrico y térmico los desechos de dunitas generados en la explotación de cromo en el yacimiento de Cayo Guam para su posible utilización como material refractario. Primeramente se realizó una preparación mecánica en dos etapas de trituración, una de molienda y otra de clasificación granulométrica. Se evaluó la pérdida de masa en la estufa modelo JP Selecta, para su comparación con otros minerales de su tipo. La composición química se determinó por fluorescencia de rayos X. Como resultado de la preparación mecánica se obtuvo un material de dunita de granulometría fina, con un 76,74 % de las partículas menores de 0,15 mm, la que presenta una pérdida de masa de un 13 %, con contenidos de SiO₂ entre 34,79 % y 38,44 % y MgO entre 35,85 % y 41,14 %. Del análisis de los resultados obtenidos de la evaluación realizada a las dunitas de Cayo Guam, por su composición química y pérdida de masa experimentada, se considera que se pueden obtener diferentes materiales refractarios de forsterita.

Palabras clave: Dunitas refractarias; estudio térmico de las dunitas; preparación mecánica.

Evaluation of Dunitas from Cayo Guam for possible use as a refractory material

Abstract: Dunitas waste generated in the exploitation of chromium in the Cayo Guam deposit was evaluated from a chemical, granulometric and thermal point of view for its possible use as a refractory material. First, a mechanical preparation was carried out in two crushing stages, one for grinding and the other for granulometric classification. The mass loss was evaluated in the JP Selecta model stove, for its comparison with other minerals of its type. The chemical composition was determined by X-ray Fluorescence. As a result of the mechanical preparation, a Dunita material of fine granulometry was obtained, with 76.74% of the particles smaller than 0,15 mm, which presents a mass loss of 13%, with SiO₂ contents between 34,79% and 38,44% and MgO between 35,85% and 41,14%. From the analysis of the results obtained from the evaluation carried out on the Dunites of Cayo Guam, due to their chemical composition and loss of mass, it is considered that different forsterite refractory materials can be obtained.

Key Words: Refractory Dunitas; thermal study of Dunitas; mechanical preparation.

Introducción

En todo el mundo existen diversos tipos de dunitas, los yacimientos más significativos se encuentran en: Austria, Suecia, Italia, Grecia, Sudáfrica, Canadá, Estados Unidos, Noruega, Nueva Zelanda, España y Brasil. En Cuba existen muchos territorios que son complejos ofiolíticos con presencia de dunitas con distintos grados de serpentización, donde existe un predominio de la fase antigorita; la fase olivino primario que acompaña a estas rocas, presenta pequeñas variaciones en el contenido de forsterita (La Rosa-Vázquez, González-Pontón y Leyva-Rodríguez, 2018).

El macizo ofiolítico Moa-Baracoa presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáficos y máficos, con más de 100 depósitos de cromitas refractarias (Pons-Herrera, 2000; Fonseca y Sladkevich, 1992), con los que se relacionan rocas y minerales de gran provecho en disímiles esferas económicas, como es el caso de las dunitas (Teague, 1983; Griffiths, 1989; Formoso, Sirgado y García, 1994).

Las dunitas se asocian al complejo ultramáfico, el que se identifica, desde el punto de vista petrológico, por una composición heterogénea con predominio de las harzburgitas; en menor proporción se hallan las dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas serpentizadas en mayor o menor grado (Guild, 1948; Thayer, 1966; Fonseca y Sladkevich, 1992; García y Fonseca, 1994).

Importantes sondeos minerales ejecutados hasta la actualidad en la región de Moa-Baracoa se han direccionado hacia las capas ferro niquelíferas y las cromitas refractarias, extractos de materias primas para las industrias metalúrgicas del territorio. No obstante, parte de los minerales y rocas existentes en el macizo Moa-Baracoa, a partir de una perspectiva de sus empleos en la industria no han sido suficientemente estudiados. Tal es el caso de las dunitas desechadas por la industria del cromo, a pesar de su posible uso en los talleres metalúrgicos del país (Leyva y Pons-Herrera, 1996; Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva, 1997; Pons-Herrera, 2000). Tal aseveración responde a que este material posee como fase fundamental la antigorita (silicatos de magnesio), que al someterse a elevadas temperaturas se transforma en la fase forsterita, la que posee propiedades refractarias (Pons-Herrera *et al.*, 2000, 2019; Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011).

Por tal razón se han desarrollado numerosas investigaciones geológicas en la zona de Miraflores, la que constituye un área con perspectiva (Picayo, 1988; Campos, Muñoz y

Ríos, 1989; Castellanos y Casas, 1994; Muñoz-Gómez, 1995), enfocados al estudio de las dunitas de esta región, para su utilización como rocas ornamentales, como componente refractario para pinturas contra las costras de penetración y como arenas de fundición (Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva, 1997).

Esta importante materia prima se empezó a estudiar con profundidad, desde el punto de vista geólogo-tecnológico, a partir de los años 90 hasta la actualidad (Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011).

Estudios teóricos y experimentales sobre las dunitas serpentinizadas de la provincia oriental de Cuba han expuesto sus posibilidades de uso como material refractario en los procesos de fundición (Pons-Herrera, 1999, 2000) y han permitido, además, conocer el mecanismo cinético de las transformaciones que experimentan las dunitas serpentinizadas con el aumento de la temperatura, en las condiciones de trabajo a que son sometidas durante tales procesos metalúrgicos.

Estudios térmicos en dunitas serpentinizadas de los yacimientos de cromitas de las zonas de Merceditas, Amores y Miraflores, de la región de Moa-Baracoa (Pons-Herrera, 1999, 2000) se desarrollaron como promedio a 1 600 °C, temperatura a que sería sometida esta materia prima en los procesos de fundición. Consecutivamente mediante la técnica de difracción de rayos X se determinaron las principales transformaciones de fase que experimenta este material durante su utilización como material refractario.

En diferentes territorios del país existen reservas de rocas duníticas, portadoras del mineral de olivino, con significativas propiedades refractarias que certifican su manejo en la elaboración de pinturas contra la penetración metálica y como arena de fundición. Por todas estas razones, en el presente trabajo se realiza una evaluación de las dunitas de Cayo Guam para su posible utilización como material refractario.

Materiales y métodos

Dentro de los principales equipos que se utilizaron para el procesamiento del material se encuentra, una trituradora de mandíbula marca Benver fire olay, un molino de bolas a escala de laboratorio, con un tiempo de molienda de 60 min, una estufa modelo P selecta, un juego de tamices determinado por la escala de Taylor, con aberturas de tamiz de 0,44; 0,31; 0,20; 0,147 y 0,10 mm, a través de la que se realiza la caracterización de tamaño del material molido. Para lograr una buena

homogeneización del material se utilizó el método del anillo y el cono. Para determinar la pérdida de masa se tomaron tres muestras del material de partida, de 30 g cada una; las que se sometieron a un calentamiento gradual, manteniéndola por una hora a 110 °C, 235 °C, 570 °C, 760 °C y 900 °C, respectivamente. Las temperaturas de trabajo fueron seleccionadas sobre la base de la experiencia para otros yacimientos de este tipo (Pons-Herrera *et al.*, 2000 y Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011).

La composición química de las muestras de dunitas iniciales, y de las clases granulométricas obtenidas después del proceso de molienda, se determinó empleando el equipo de fluorescencia de rayos X (FRX), marca Phillips PW.

Resultados y discusión

Para evaluar las rocas duníticas como material refractario son sometidas a un proceso de preparación mecánica, ya que las mismas son de varias dimensiones y de propiedades mecánicas diferentes. Es necesario reducir su tamaño hasta la fracción granulométrica adecuada mediante diferentes procesos de trituración, molienda y clasificación. El esquema de preparación mecánica llevado a cabo en el presente trabajo se presenta en la Figura 1.

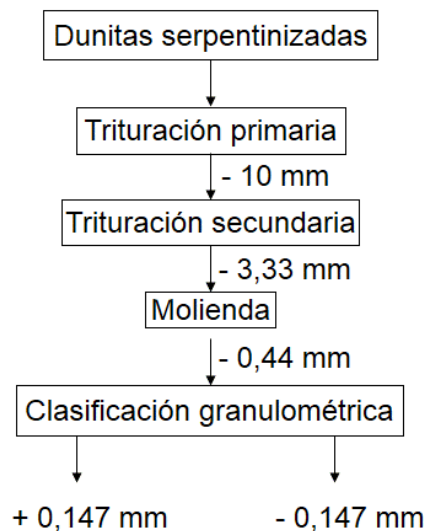


Figura 1. Esquema de preparación mecánica de las dunitas.

Análisis granulométrico del material triturado

Como puede observarse en la Figura 2, el 74,43 % del material, una vez terminado el proceso de trituración en su segunda fase, posee una granulometría por debajo de 3,33 mm, lo que significa que el material está apto para someterse a un proceso de molienda, granulometría requerida necesaria para obtener productos que se puedan emplear como material refractario. Un aspecto importante que arroja la segunda etapa de trituración es que el 10,5 % del material puede ser usado en la confección de moldes para fundición, el que se puede separar con un tamiz de 0,59 mm.

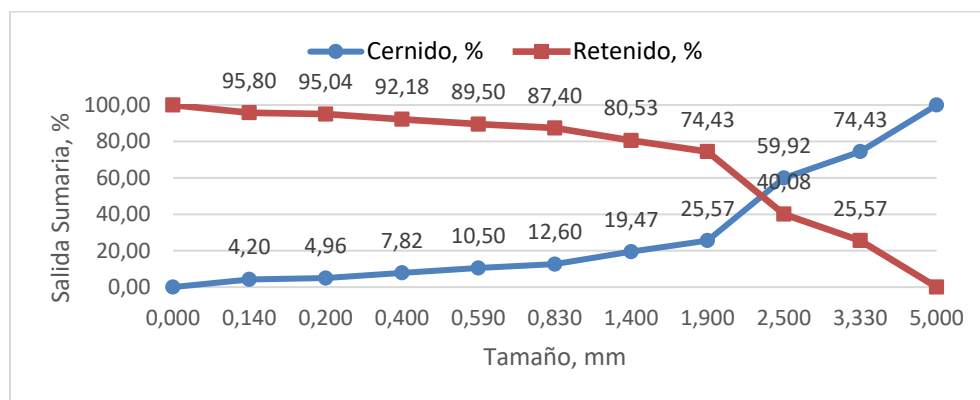


Figura 2. Comportamiento granulométrico del material después de la segunda etapa de trituración.

Análisis granulométrico del material molido

En la preparación del material para su obtención como materiales refractarios, a las dunitas hubo que someterlas a un proceso de molienda. Para ello se usó una masa de 3 kg. La Figura 3 muestra los resultados del análisis granulométrico de la etapa de molienda. En esta se representa, según la abertura del tamiz, lo que se cierce y lo retenido del mineral.

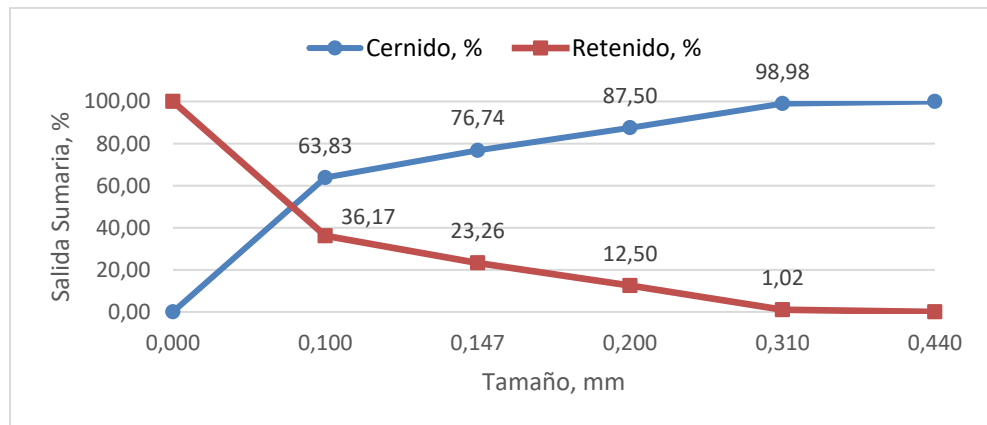


Figura 3. Resultados del análisis granulométrico del material molido.

Como resultado del proceso de molienda se obtiene un 76,74 % del material molido, con un tamaño de partículas menor que 0,147 mm, lo que permite afirmar que esta fracción granulométrica puede ser empleada como material de relleno para las pinturas refractarias en los talleres de fundición, ya que cumple con las características granulométricas necesarias para estos fines (Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva, 1997). De la misma forma se pudo determinar que el 23,26 % del material molido se encuentra en la fracción granulométrica $-0,50 + 0,147$ mm, adecuadas para su uso como arena refractaria (Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva, 1997 y Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011).

Tales valores indican similitud en los porcentajes obtenidos por Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva (1997) para las dunitas de Mercedita y Amores. En ambos casos se utilizó un molino de bolas con un tiempo de molienda de 60 min, en el que se obtuvo un elevado contenido de material en polvo.

Mediante el análisis químico realizado por fluorescencia de RX se pudo determinar la composición química, tanto de la muestra de dunitas de partida, como a las clases granulométricas del material después de la molienda, las que se exhiben en las Tablas 1 y 2.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, las muestras de dunitas analizadas poseen un contenido de SiO_2 del 38,32 % y de MgO del 40,73 %, compuestos más importantes a tener en cuenta en la fabricación de materiales refractarios de forsterita, según los trabajos de Elmaghraby, Ismail y Abd El Ghaffar (2015) y Aleixandre-Ferrandis y González-Peña (1967). Tales resultados concuerdan con la composición química obtenida por Pons-Herrera y demás colaboradores (2000) para las dunitas de

Merceditas y Amores, lo que significa que existe cierta similitud entre los desechos de la industria del cromo en la región de Moa-Baracoa.

Tabla 1. Composición química de las dunitas de Cayo Guam

Elementos	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Mn
Contenidos (%)	0,21	8,70	38,32	40,73	0,78	1,36	0,09

En la Tabla 2 se representa la composición química de la muestra de dunita después del proceso de molienda, según las clases de tamaño.

Tabla 2. Composición química según las clases de tamaño, %

Clases de tamaño (mm)	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Mn
+0,31	0,19	8,20	34,79	35,85	0,96	0,64	0,07
-0,31 +0,20	0,20	8,40	35,13	37,11	0,92	0,87	0,07
-0,20 +0,15	0,20	8,50	35,04	37,70	0,88	0,97	0,07
-0,15 +0,10	0,21	8,60	34,62	37,67	0,89	1,07	0,08
-0,10	0,21	8,50	38,44	41,14	0,77	1,45	0,08

Para un mejor análisis de la composición química según las clases de tamaño, los valores del contenido de SiO₂ y MgO, tal como se advierten en la Figura 4, se mantienen en un rango estrecho en todo el espectro granulométrico. Se puede observar que la mayor concentración de tales compuestos se encuentra en la clase más fina (-0,10 mm), lo que indica que esta granulometría puede ser beneficiosa para su aplicación como materiales refractarios.

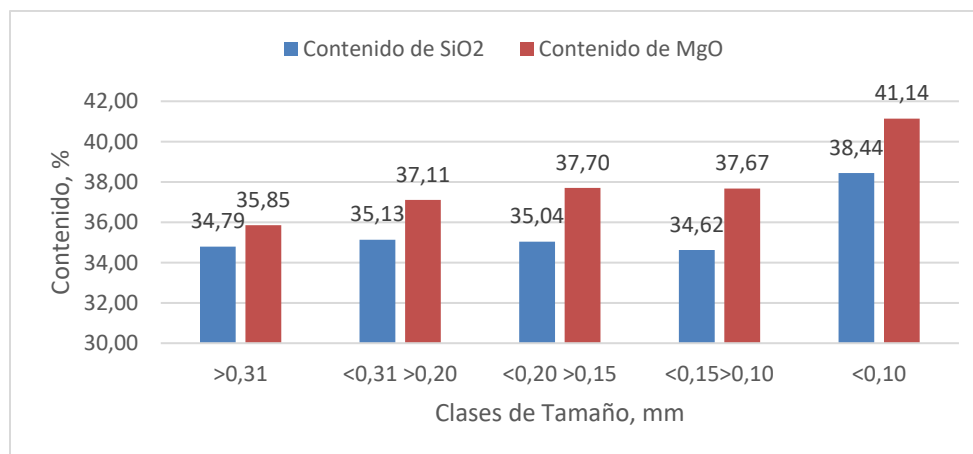


Figura 4. Comportamiento de los contenidos de SiO₂ y MgO por clases granulométricas.

Análisis de la pérdida de masa

Para la determinación de la pérdida de masa, las muestras se sometieron a diferentes temperaturas según la metodología expuesta en el acápite de materiales y métodos. En la Tabla 3 se reflejan los valores de la pérdida de masa en porcentaje a las temperaturas de trabajo de las muestras de partida de dunitas. Tales resultados fueron graficados y se observan en la Figura 5. Como se puede apreciar, las tres muestras poseen un comportamiento similar, en la que se pierde aproximadamente entre el 11 % y el 13 % de su masa inicial hasta la temperatura de 900 °C. Tal conducta es semejante a los resultados obtenidos por algunos investigadores (Pons-Herrera *et al.*, 2000; Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011) para las dunitas de Amores y Merceditas.

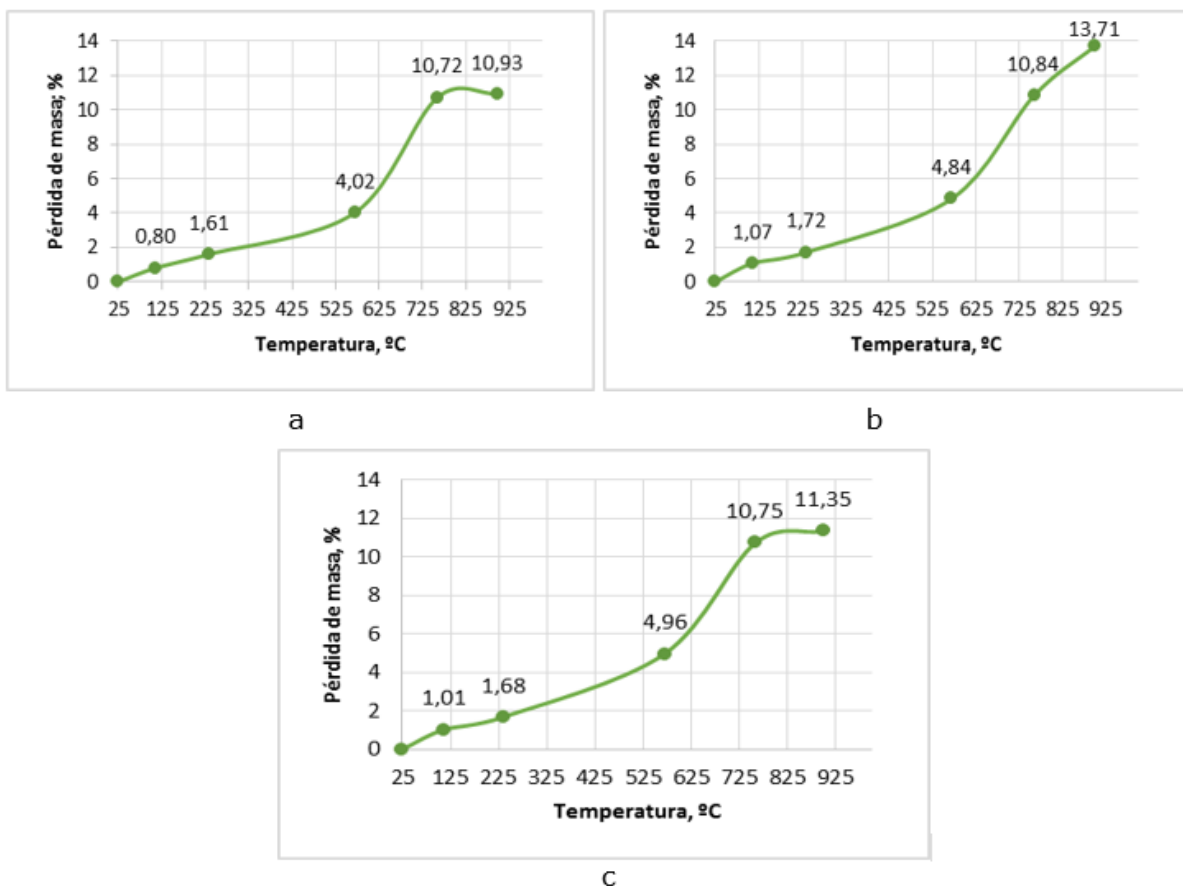


Figura 5. Curvas de pérdida de masa de las muestras iniciales de dunitas. a) Muestra 1. b) Muestra 2. c) Muestra 3.

Como se observa en la Figura 5 y por los valores reportados en la Tabla 3, por debajo de 235 °C solo se pierde aproximadamente el 1 % de la masa inicial. Esta pérdida de masa corresponde a la pérdida de humedad adsorbida por el mineral dunita.

Cuando la temperatura se incrementa por encima de 600 °C se produce la descomposición de las dunitas serpentinizadas, como ya fue determinada por otros autores (Brindley y Ryoza, s.a.). A esta temperatura se produce una pérdida de masa de 2,4 %. Durante este proceso se libera el agua de constitución, lo que provoca la transformación de la fase antigorita (principal fase mineral de la dunita) en forsterita, según fue reportado anteriormente (Pons-Herrera *et al.*, 2000, 2019; Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez, 2011). Como resultado final del tratamiento térmico hasta 900 °C se produce una pérdida de masa total entre un 11 % y 14 %, asociados a la pérdida de masa de humedad y de agua de constitución.

Tabla 3. Comportamiento de la pérdida de masa de las muestras de dunita

Temperatura (°C)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Masa; g	%	Masa; g	%	Masa; g	%
25	0	0	0	0	0	0
110	0,24	0,80	0,32	1,07	0,30	1,01
235	0,48	1,61	0,52	1,72	0,50	1,68
570	1,21	4,02	1,45	4,84	1,49	4,96
760	3,22	10,72	3,25	10,84	3,22	10,75
900	3,28	10,93	4,11	13,71	3,40	11,35

Las dunitas están constituidas por un 90 % de olivino, el cual consiste en una solución sólida de ortosilicatos de magnesio y de hierro. El ortosilicatos de magnesio se conoce como forsterita, que es un mineral que soporta altas temperaturas, por lo que se utiliza en la industria de la producción de materiales refractarios (Sarabia, 1962).

Según los resultados mostrados en el análisis de pérdida de masa del material analizado, y la composición química de las diferentes clases granulométricas estudiadas, se considera que es posible el uso de las dunitas de Cayo Guam como material refractario, debido a la posibilidad de la formación de forsterita. Ya sea como arena para la fundición, donde se puede usar un tamaño de partículas de +0,15 -0,44 mm en correspondencia con lo planteado por Pons-Herrera, Machado-Serrano y Leyva (1997) y Pons-Herrera, Ramírez-Pérez y Leyva-Rodríguez (2011); pintura refractaria contra la penetración metálica con la granulometría de -0,15 mm; y ladrillos refractarios con las partículas mayores que 0,2 y menores que 0,63 mm en

consonancia con lo reportado por La Rosa-Vázquez, González-Pontón y Leyva-Rodríguez (2018) para los minerales de Camagüey.

Conclusiones

La composición química de las dunitas de Cayo Guam iniciales, así como las clases de tamaño de su molienda son adecuadas para usarlas como material refractario; con contenidos que oscilan entre 34,79 % y 38,44 % para el SiO₂ y 35,85 % y 41,14 % para el MgO.

El material de dunitas sometido a un calentamiento hasta 900 °C verifica una pérdida de masa de hasta un 13 %, que debe corresponderse con la eliminación del agua de humedad y de constitución, transformándose en forsterita.

En correspondencia con los resultados obtenidos para las dunitas de Cayo Guam, y lo planteado por la literatura para otros yacimientos similares, se pueden obtener diferentes productos: arena para la fundición con un tamaño de partículas de entre 0,15 mm y 0,44 mm; pintura refractaria contra la penetración metálica con tamaño menor de 0,15 mm; y ladrillos refractarios con las partículas entre 0,2 mm y 0,63 mm.

Referencias bibliográficas

- ALEIXANDRE-FERRANDIS, V. Y GONZÁLEZ-PEÑA, J. M. 1967. Obtención de forsterita a partir de varias serpentinas españolas. Acción de diversos mineralizadores sobre la serpentina del Barranco de San Juan (Granada). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica* 6(1): 19-42.
- BRINDLEY, G. W. Y RYOZO, H. s.a. Kinetics and mechanisms of dehydration and recrystallization of serpentine. Twelfth National Conference on Clays and Clay Minerals. The Pennsylvania State University.
- CAMPOS, M.; MUÑOZ, N. Y RÍOS, Y. 1989. Informe sobre el levantamiento geológico escala 1: 50 000 del Cerro Miraflores. ISMM. Moa.
- CASTELLANOS, P. Y CASAS, M. 1994. Caracterización preliminar de las rocas ornamentales del Cerro Miraflores en el municipio de Moa. Informe Técnico. ISMM. Moa.

- ELMAGHRABY, M. S.; ISMAIL, A. I. M. Y ABD EL GHAFAR, N. I. 2015. Atalla Egyptian Serpentine for Producing Forsterite and its Thermo-Mechanical Behavior. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology [IJRSSET]* 2(7): 137-146. ISSN 2349-476X.
- FONSECA, E. Y SLADKEVICH, V. 1992. Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación y pronóstico. Informe Técnico. IGP. La Habana.
- FORMOSO, A.; SIRGADO, M. Y GARCÍA, L. 1994. La dunita como agente de eliminación de alcalinos en el horno alto. *Revista de Metalurgia* 30(4): 227-234.
- GARCÍA, I. Y FONSECA, E. 1994. La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores. *Minería y Geología* 11(1):50-54.
- GRIFFITHS, J. 1989. Olivine. Volumen the key to success. *Industrial Mineral* (1): 25-35.
- GUILD, P. W. 1948. Petrology and structure of the Moa chromite district Oriente. Cuba. *U.S. Geological Survey Bulletin* 3(2): 37-55.
- LA ROSA-VÁZQUEZ, R.; GONZÁLEZ-PONTÓN, R. Y LEYVA-RODRÍGUEZ, C. 2018. Perspectivas de utilización como refractarios de las ultra basitas asociadas a la mineralización cromífera de la provincia Camagüey. Minería y minerales metálicos. En: IV Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, Mine metal. Varadero, Cuba.
- LEYVA, C. Y PONS-HERRERA, J. 1996. Posibilidades de utilización de materias primas de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en las industrias del níquel. *Minería y Geología* 13(1): 27-30.
- MUÑOZ-GÓMEZ, J. N. 1995. Composition and genesis of the ophiolite rocks and associated chromite deposits in the Baracoa massif, eastern Cuba. 3er. Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago.
- PICAYO, P. H. 1988. Petrografía de las ofiolitas del Cerro Miraflores. Informe Técnico. ISMM. Moa.
- PONS-HERRERA, J.; LEYVA-RODRÍGUEZ, C. A.; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, G. Y RAMÍREZ-PÉREZ, M. C. 2000. Características físico-químicas de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa (zonas Amores y Miraflores). *Minería y Geología* XVII(3-4).

- PONS-HERRERA, J. A.; RAMÍREZ-PÉREZ, M. C. Y LEYVA-RODRÍGUEZ, C. A. 2011. Fundamentos científicos para la utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias´2011. Memorias en CD-Room. La Habana, 4-8 abril 2011. ISBN 978-959-7117-30-8.
- PONS-HERRERA, J. 1999. *Caracterización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 80 p.
- PONS-HERRERA, J. 2000. *Obtención de productos refractarios para la fundición a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores*. Rafael Quintana Puchol (Tutor). Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 100 p.
- PONS-HERRERA, J. A.; RAMÍREZ-PÉREZ, M. C.; QUINTANA-PUCHOL, R.; SALAZAR-MORENO, A.; MONTERO-GIL, E. Y ÁLVAREZ-ORTIZ, A. 2019. Comportamiento térmico y mineralógico de las dunitas serpentinizadas de la región Moa-Baracoa bajo temperaturas de hasta 1 600 °C. *Minería y Geología* 35(2): 183-195.
- PONS-HERRERA, J. A.; MACHADO-SERRANO, E. Y LEYVA, C. 1997. Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición. *Minería y Geología* 14(1): 37-42.
- SARABIA, A. 1962. El revestimiento refractario en la industria del cemento. *Rev. Materiales de Construcción* 12(106): 5-21.
- TEAGUE, H. K. 1983. Olivine. *Industrial Minerals and Rocks* 12(50): 989-996.
- THAYER, T. P. 1966. Serpentinization considered as a constant-volume metasomatic process. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials* 51(5-6): 685-710.