

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA UTILIZACIÓN DE LAS DUNITAS SERPENTINIZADAS DE LA REGION DE MOA

José Alberto Pons Herrera⁽¹⁾, **María Caridad Ramírez Pérez**⁽²⁾, **Carlos Alberto Leyva Rodríguez**⁽²⁾

(1) Ferroniquel Minera S. A. Carretera Moa – Sagua, Km 1 1/2. Moa, Holguín. Tel. (53) (24) 60 4954, 4956
Fax: (53) (24) 604953.

E mail: jpons@ferroniquelminera.cu

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez. Las Coloradas s/n. Moa. Cuba.
Teléfono: (53) (24) 60 4476

E mail: mramirezp@ismm.edu.cu, cleyva@ismm.edu.cu

RESUMEN

Cuba posee una de las mayores reservas del mundo de rocas básicas y ultrabásicas, localizadas fundamentalmente, en el complejo ofiolítico Moa – Baracoa, donde abundan las rocas duniticas, portadoras del mineral de olivino con importantes propiedades refractarias. En el presente trabajo se muestran los principales resultados científicos, acumulados durante más de 20 años de investigación de esta materia prima, y la obtención de diferentes productos refractarios, como son: arenas de fundición y pinturas antiadherentes, ladrillos refractarios, entre otros. Se utiliza un diseño experimental de mezcla, tipo Mac Lean - Anderson, que permitió definir las mejores mezclas para la fabricación de productos refractarios, determinándose además las propiedades físico- mecánicas más importantes y su comparación con materiales similares. El uso de esta materia prima contribuiría de forma eficiente, a la disminución del impacto que sobre el ecosistema actualmente ejerce, la acumulación de estos escombros en la región de Moa.

ABSTRACT

Cuba has one of the largest reserves in the world of basic and ultrabasic rocks, located mainly in the ophiolite complex Moa - Baracoa, where rocks are abundant dunite, olivine ore carriers with significant refractory properties. In the present paper shows the main scientific results, accumulated over 20 years of research of this raw material, and obtaining various refractory products, such as: sand casting and paint stick, refractory bricks, among others. It uses a mixture experimental design, type Mac Lean - Anderson, which defined the best mixtures for the production of refractory products, determining also the physical and mechanical properties most important and its comparison with similar materials. The use of this raw material efficiently contribute to the decrease of the impact on the ecosystem currently holds, the accumulation of this debris in the region of Moa.

INTRODUCCIÓN

La región de Moa - Baracoa, cuenta con grandes reservas de dunitas serpentinizadas, las cuales fueron extraídas como parte de las operaciones de extracción y procesamiento de las cromitas refractarias, fundamentalmente, de los yacimientos Merceditas y Amores, formando parte de los rechazos del laboreo minero.

Las extracciones alcanzaron alrededor de 12 000 toneladas anuales entre ambos yacimientos, que se sumaban a las más de 450 000 toneladas de escombros, extraídas durante varios años. Pons, 1997.

Esta importante materia prima se comenzó a estudiar con profundidad, desde el punto de vista geólogo – tecnológico, a partir de los años 90 hasta la actualidad, desarrollándose en este período diferentes trabajos investigativos, que conllevaron a la defensa de una tesis doctoral, una tesis de maestría, 10 trabajos de diploma de ingeniería en geología y metalurgia, así como la publicación y presentación en diferentes eventos nacionales e internacionales.

Por la vigencia de estos trabajos, se exponen en este artículo los principales resultados de 20 años de experiencia en la caracterización y utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa en la industria metalúrgica cubana. Pequeña contribución de los autores, al conocimiento científico y desarrollo de esta materia prima, olvidada por el momento, pero con perspectivas de utilización futura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y preparación de las muestras

El proceso de selección de las dunitas serpentinizadas de los yacimientos de cromitas, Merceditas y Amores, se realizó, según la masa mínima calculada y teniendo en cuenta sus características megascópicas y composición química. Para la preparación mecánica de las dunitas analizadas, se tuvieron en cuenta las principales propiedades físico – mecánicas de estas rocas, sus variadas dimensiones y que para su posible utilización como material refractario, se necesita reducir sus tamaños hasta las fracciones deseadas. Para lograr este objetivo se diseñó el esquema de preparación mecánica, ilustrado en la figura No.1, que permitió procesar ambas muestras, hasta obtener las granulometrías evaluadas como arena de fundición: - 0,5 + 0,15 mm (producto No. 1) y como componente refractario: - 0,15 mm (producto No. 2), Pons, 1999.

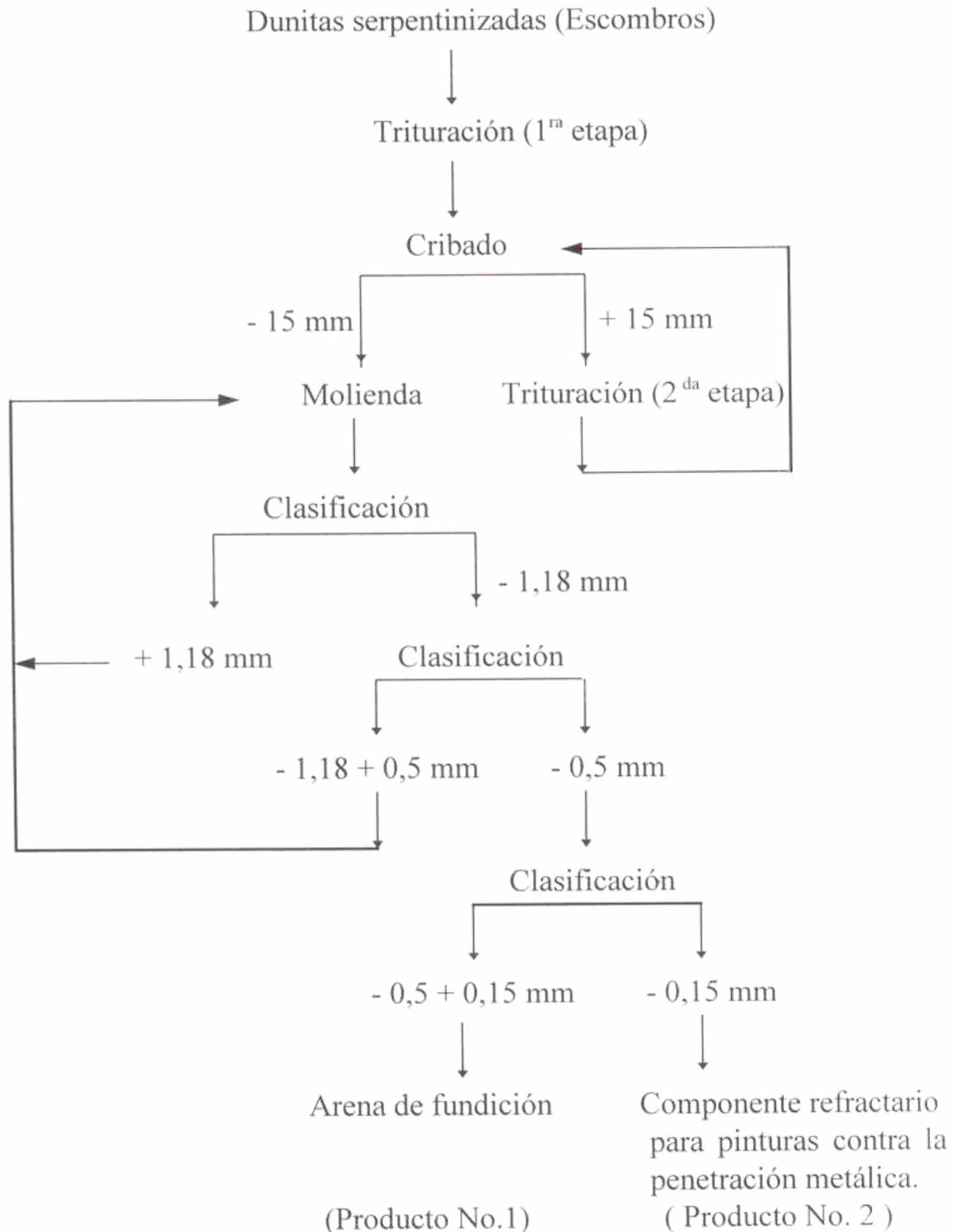


Figura 1.- Esquema de preparación mecánica utilizado para el procesamiento de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa.

MÉTODOS

Métodos de laboratorio empleados

Se utilizaron diferentes técnicas analíticas e instrumentales, así como variados métodos de laboratorio y experimentales, los cuales se resumen a continuación.

Estudios ópticos

Las diferentes asociaciones minerales, así como las relaciones texturales de las dunitas serpentinizadas analizadas, han sido estudiadas en laminas delgadas y secciones pulidas.

Análisis químicos

Los análisis químicos permitieron obtener un criterio general sobre la composición química de las diferentes muestras de dunitas serpentinizadas analizadas.

Análisis de microsonda electrónica de barrido

Se utilizó, para el análisis químico cuantitativo de los minerales de olivino presentes en las dunitas de las zonas de Merceditas y Amores.

Análisis térmico

A través de las técnicas: TG y A.T.D, se caracterizaron térmicamente las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, cuyos resultados permitieron realizar el estudio de la cinética y los mecanismos de las principales transformaciones que experimenta esta materia prima.

Análisis mineralógico por difracción de rayos – x

Esta técnica se utilizó con el objetivo de identificar las fases minerales presentes en las dunitas serpentinizadas naturales, así como las transformaciones de fases existentes en este material luego de su calentamiento a diferentes valores de temperatura.

Estudios cinéticos

A partir de los análisis térmicos empleados, ATD y AT G, se obtuvieron los modelos y parámetros cinéticos, que permiten cuantificar el comportamiento térmico de las dunitas serpentinizadas como material refractario en el proceso de fundición.

El método de Jeréz (Jeréz, A, 1985), se utilizó para la determinación de los modelos cinéticos que mejor ajusten con el verdadero mecanismo de la transformación estudiada, por medio del menor valor de intercepto, en concordancia con la ecuación:

$$\frac{\Delta (\ln(\frac{d\alpha}{dt})) - \Delta (\ln f(\alpha))}{\Delta (\ln(1 - \alpha))} = - \frac{E}{R} \frac{\Delta (\frac{1}{T})}{\Delta (\ln(1 - \alpha))}$$

Obtenida la función $f(\alpha)$, se empleó el método de Achar, (Achar, B.N. y otros, 1966), para la determinación de los parámetros cinéticos, según la ecuación:

$$\ln \left(\frac{\left(\frac{d\alpha}{dT} \right)}{f(\alpha)} \right) = \ln \frac{A}{\beta} - \frac{E}{RT}$$

Donde:

β – Velocidad de calentamiento, $^{\circ}/\text{min}$.

R – Constante universal de los gases.

Métodos experimentales empleados

Los métodos experimentales permitieron evaluar el comportamiento de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, como arenas de olivino, para la preparación de mezclas de

moldeo y para machos, como componente refractario para la preparación de pinturas contra la penetración metálica y en la conformación de ladrillos refractarios manufacturados.

Estudios de las principales transformaciones que experimentan las dunitas serpentinizadas durante el calentamiento

A partir de los resultados de los análisis térmicos, se seleccionaron las temperaturas de calentamiento a que serían sometidas las dunitas serpentinizadas (25 - 1600 °C), para posteriormente a través de la técnica de difracción de rayos-X, determinar las principales transformaciones de fase que experimenta este material, simulando las condiciones de trabajo a que están sometidas en el proceso industrial.

Estudios termodinámicos

Estos estudios, se realizaron con el objetivo de determinar los parámetros termodinámicos, a las temperaturas donde se verifican las principales transformaciones físico - químicas, que experimentan los productos obtenidos, así como evaluar el posible comportamiento de la interfase Metal - Refractario durante el vertido del metal líquido en el molde, en el rango de temperatura entre 25 - 1600 °C. Se obtuvo la ecuación de Gibbs - Helmholtz, para las posibles reacciones químicas, a la temperatura en que estas se producen.

El estudio termodinámico del comportamiento de este material en el intervalo de temperatura comprendido entre, 1500-1900°C, se realizó a través del software Thermodynamic, Puchol, Q. 1999.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Principales características química – físicas de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa

La composición química promedio de las dunitas serpentinizadas presentes en las zonas de Merceditas y Amores se presentan en la tabla No.1, donde se aprecia la gran similitud entre ambas, y el alto contenido de óxido de magnesio y silicio. Los valores de relación $MgO/SiO_2 > 1$ y $Fe_2O_3/FeO = 1,2 - 1.9$, demuestran las características refractarias de estas rocas, comparadas con las de otras regiones del mundo, Griffiths, J., 1989; Pons, H., 1999.

Tabla 1.- Composición química promedio (%) de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores.

Composición (%)	Dunitas serpentinizadas de la zona Merceditas	Dunitas serpentinizadas de la zona Amores.
SiO ₂	38,86	36,51
Al ₂ O ₃	0,81	0,85
TiO ₂	0,02	0,025
Fe ₂ O ₃	4,32	5,27
FeO	3,60	2,67
CaO	0,17	0,11
MgO	40,50	39,46
NiO	0,29	0,30
Na ₂ O	0,05	0,05
K ₂ O	0,05	0,05
CoO	0,010	0,010
Cr ₂ O ₃	0,35	0,37
P ₂ O ₅	0,02	0,02
P.P.I.	12,30	14,40
Total	101,35	100,04
MgO/SiO₂	1,04	1,08
Fe₂O₃/FeO	1,20	1,97

En sentido general, las dunitas de la región de Moa poseen un alto grado de serpentización, fenómeno más acentuado en la zona de Amores que en Merceditas, pero que no limita su aplicación industrial. Sobresalen en ellas otras **regularidades**, como son: la ausencia prácticamente total de piroxenos (menor de 1 %), el alto contenido de forsterita (91 - 94 %), pequeños contenidos de impurezas como el hierro, que en conjunto favorecen su utilización como material refractario.

Mineralógicamente, dunitas serpentizadas (sin calentar) están compuestas por antigorita [$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$], como fase predominante y en menor proporción el crisotilo y la lizardita, fases muy semejantes entre sí. Se destaca además, la presencia de forsterita como fase secundaria, lo que demuestra el variado grado de serpentización que poseen estas rocas y en especial el mineral de olivino, que forma parte fundamental de las mismas.

Las dunitas serpentizadas de la región de Moa, poseen una refractariedad mayor de 1650 °C, asumiéndose, a partir de los resultados de los análisis químicos y mineralógicos, una temperatura de fusión entre 1750 y 1800 °C, aproximadamente 1790 °C, lo que garantiza su utilización como material refractario (arenas de olivino y componente refractario), ya que la temperatura del metal líquido en los procesos de vertido no superan, generalmente, los 1650 °C.

RESULTADOS CINÉTICOS

La descomposición térmica de las dunitas se muestra en la figura No. 2 y se resume en tres etapas fundamentales:

1. La pérdida del agua de hidratación.
2. La pérdida del agua de constitución.
3. Transformación de la fase antigorita en forsterita.

Evidentemente, las dos últimas etapas representan la mayor importancia en el proceso de descomposición térmica de las dunitas, por lo que en ellas se concentra el estudio cinético de este material.

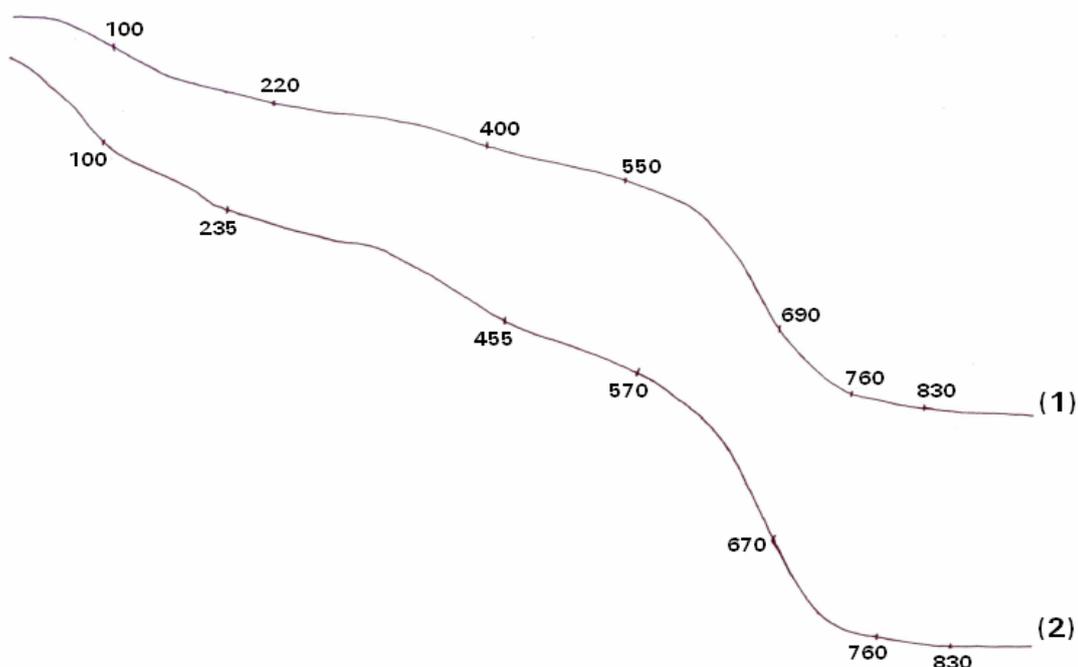


Figura No. 2 Curva de TG de las dunitas serpentizadas de la región de Moa.
1) Merceditas 2) Amores

2da etapa de la descomposición térmica de las dunitas serpentizadas de la región de Moa

El estudio cinético de la descomposición de las dunitas, permitió establecer los modelos más probables de las transformaciones que se verifican en esta etapa, así como los parámetros cinéticos, aplicando las técnicas de termogravimetría y análisis térmico - diferencial.

En el gráfico No. 1 se muestran las dependencias de α vs T para la 2da etapa, aplicando termogravimetría (TG). Las curvas cinéticas reflejan la diferencia existente entre la familia de ambas muestras con períodos de inicio de la reacción pronunciados, y de retardación más cortos, confirmando el grado de transformación escogido ($\alpha = 0,2 - 0,8$), para los cálculos de los modelos y parámetros cinéticos de esta etapa, cuyos resultados reflejan esta diferencia.

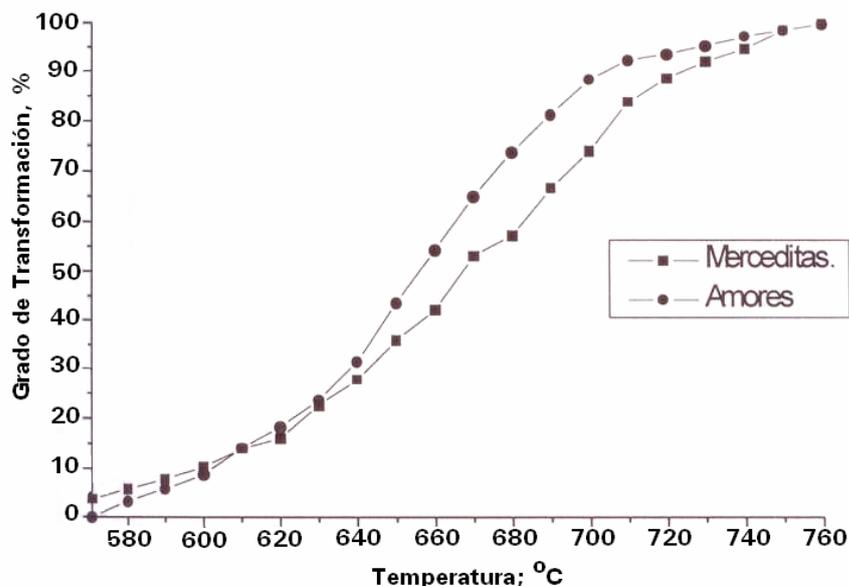


Gráfico No. 1 Grado de transformación con respecto a la temperatura para la 2da etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas, aplicando la técnica de TG.

En la descomposición de las dunitas de Merceditas el modelo cinético más probable en el desarrollo de la segunda etapa es el D_1 , que corresponde a una difusión de simetría simple tridimensional, Sestak, J., 1984, donde el paso limitante de la velocidad de transformación, es la velocidad de difusión de los productos gaseosos de la descomposición a través de la capa de producto en formación y se describe por la siguiente función:

$$f(\alpha) = (-\ln(1-\alpha))^{-1}. \quad (2.1)$$

Para las dunitas de Amores se pone de manifiesto el modelo G_1 de crecimiento bidimensional, Sestak, J., 1984, donde el paso limitante es la velocidad de difusión de los productos gaseosos a través de la capa de producto en formación, que responde a la ecuación:

$$f(\alpha) = 1 - \alpha. \quad (2.2)$$

Aplicando la técnica de A.T.D, se observa en el gráfico No. 2 una gran similitud con los resultados alcanzados por T.G, al comparar las dependencias de α vs T, para la 2da etapa.

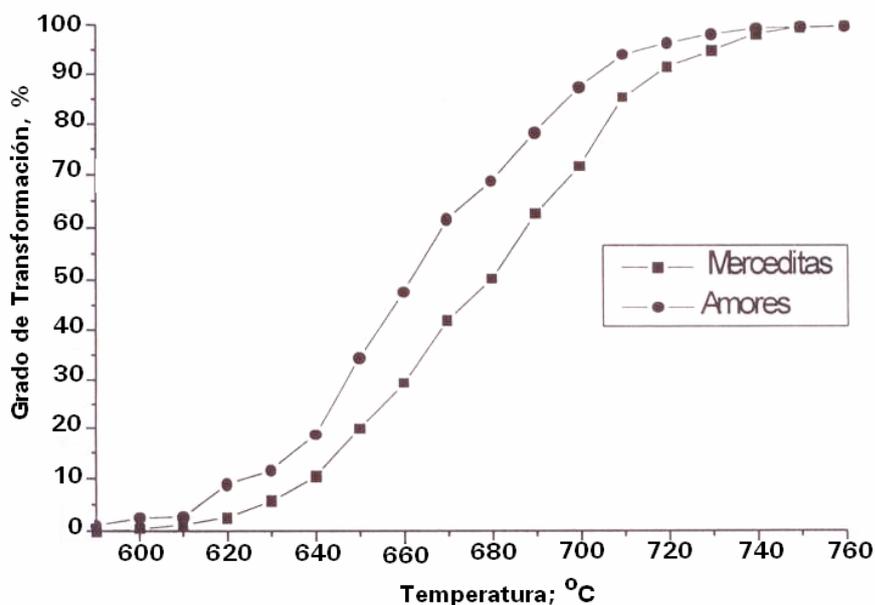


Gráfico No. 2 Grado de transformación con respecto a la temperatura para la 2da etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas, aplicando la técnica de ATD.

Se demuestra la diferencia existente en la descomposición de las dunitas de ambas zonas, lo que quedo confirmado a través de los modelos obtenidos. Sin embargo los mecanismos que se ponen de manifiesto durante la pérdida del agua de constitución tienen como principal característica, que el paso limitante de la velocidad de la reacción, es la velocidad de difusión de los grupos oxidrilos de la descomposición de la dunita, a través de la capa de producto sólido en formación, en este caso la forsterita, con valores de energía de activación que oscilan entre, 97 - 128 kJ/mol, (tabla No. 4. a y b),

Tabla 4.- Resultados de los parámetros cinéticos obtenidos para la segunda etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas, a través de las técnicas de TG. y A.T.D., ($\alpha = 0,2 - 0,8$).

a) Técnica de TG.

Muestras	A (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	r	Error	Modelo
Dunitas Merceditas	1,9 * E+5	106,56	0,992	0,13	D ₁
Dunitas Amores	2,0 * E+5	97,86	0,986	0,15	G ₁

b) Técnica de A.T.D.

Muestra	A (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	r	Error	Modelo
Dunitas Merceditas	3,4 * E+5	128,08	0,96	0,17	D ₁
Dunitas Amores	5,2 * E+6	101,02	0,97	0,49	G ₁

3ra etapa de la descomposición térmica de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa.

Para la tercera etapa, se obtienen iguales modelos de reacción, donde el más probable para ambas muestras es el D₅, lo cual se corresponde con la forma de las curvas de TG y ATD (gráficos 3 y 4). Sin embargo para alcanzar la completa transformación de la antigorita en forsterita, se requieren en el caso de Amores, mayores valores de energía de activación, E = 168,46 y 190, 12 kJ/mol, en correspondencia con la mayor cristalinidad de estas dunitas, y su mayor grado de serpentización con respecto a las de la zona de Merceditas. Para esta etapa el modelo (D₅), corresponde a una difusión con actividad decreciente del reaccionante, donde el

paso limitante de la velocidad de la transformación es la velocidad de difusión de los productos gaseosos de la descomposición, a través de la capa de producto en formación, que se caracteriza por la siguiente ecuación:

$$f(\alpha) = (1 - \alpha)^{4/3} [(1 - \alpha)^{-1/3} - 1]^{-1} \quad (2.3)$$

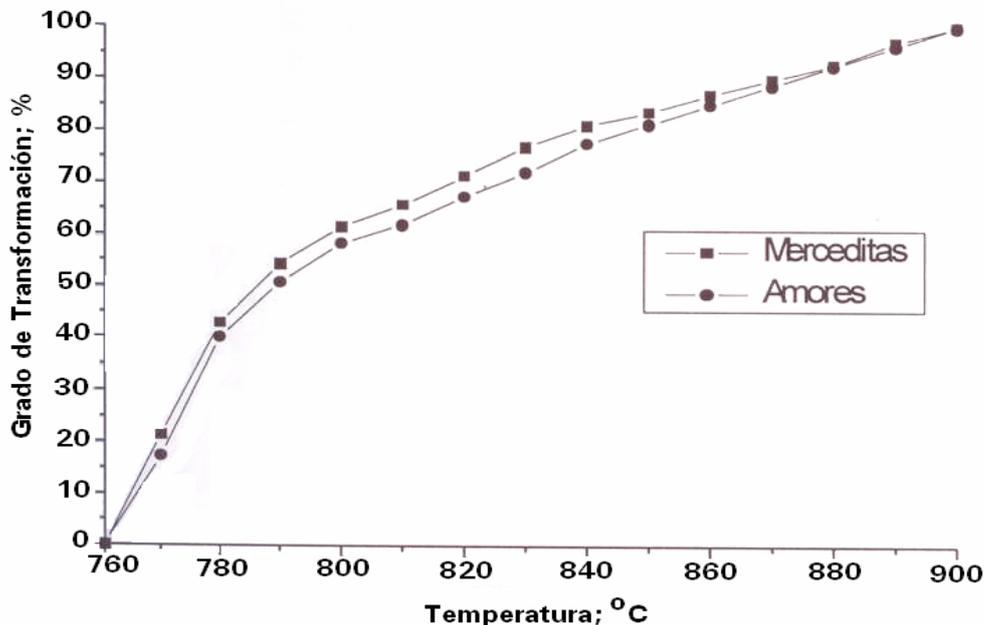


Gráfico No. 3 Grado de transformación con respecto a la temperatura para la 3ra etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas, aplicando la técnica de TG

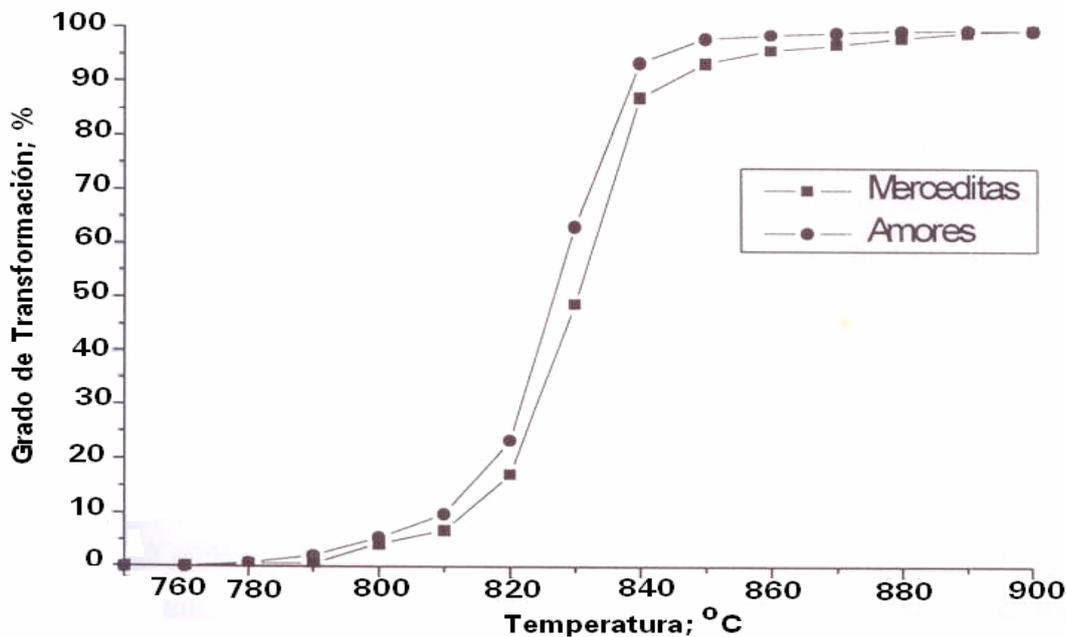


Gráfico No. 4 Grado de transformación con respecto a la temperatura para la 3ra etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas, aplicando la técnica de ATD

Los parámetros cinéticos obtenidos por ambas técnicas de análisis no presentan variaciones significativas entre sus valores, como se muestran en la tabla No. 5 (a y b), lo que confirma la veracidad de los modelos más probables que se verifican durante la 3ra etapa de la descomposición térmica de las dunitas de Merceditas y Amores.

Tabla 5.- Resultados de los parámetros cinéticos obtenidos para la tercera etapa del proceso de descomposición térmica de las dunitas a través de las técnicas de TG. y A.T.D., ($\alpha = 0,2 - 0,8$).

a) Técnica de TG.

Muestras	A (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	r	Error	Modelo
Dunitas Merceditas	2,1*E+3	94,80	0,96	0,38	D ₅
Dunitas Amores	2,2*E+8	168,46	0,95	0,51	D ₅

b) Técnica de A.T.D.

Muestras	A (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	r	Error	Modelo
Dunitas Merceditas	1,6 * E + 5	116,8	0,98	0,42	D ₅
Dunitas Amores	2,2 * E + 9	190,12	0,97	0,55	D ₅

Resultado de los estudios cinéticos se estableció como principal **regularidad**, que en la descomposición térmica de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, todos los mecanismos que se ponen de manifiesto en este proceso, tienen como paso limitante de la velocidad de la reacción, la difusión de los productos gaseosos de la descomposición del reaccionante (grupos oxidrilos), a través de la capa de producto sólido que se está formando (forsterita), y por tanto para la aplicación industrial de los productos refractarios obtenidos, es recomendable utilizar tamaños pequeños de las partículas para facilitar la transferencia de masa.

Estos resultados han sido aplicados por primera vez al estudio de los minerales duniticos cubanos, lo que permite evaluar el consumo energético necesario para la transformación de los minerales del grupo de la serpentina, principalmente, antigorita en forsterita, a través del incremento de la temperatura, además permiten comprender el comportamiento térmico de las dunitas serpentinizadas, al ser empleadas como: material refractario en los procesos de fundición, específicamente, como arenas de olivino, componente refractario en la composición de las pinturas antiadherentes y en la conformación de ladrillos refractarios.

Principales transformaciones físico – químicas que experimentan las dunitas de la región de moa

A partir del estudio del comportamiento térmico de las dunitas serpentinizadas, se estableció el siguiente mecanismo, que explica las principales transformaciones físico - químicas que experimentan estos materiales durante el incremento de la temperatura.

Hasta la temperatura de 235 °C, ocurre la eliminación de la humedad higroscópica que acompaña al material, donde se mantiene como fase principal la antigorita ($d = 7,24 A^0$).

Entre 200 – 700 °C, se verifica un largo proceso de eliminación del agua estructural presente en este material donde se destacan como fase principal la antigorita ($d = 7,26 A^0, 7,28 A^0, 7,33 A^0$) y como fase secundaria la forsterita ($d = 3,88A^0, 2,77A^0, 2,51A^0$), cuya presencia está asociada, fundamentalmente, a la descomposición térmica del olivino que acompaña normalmente al material dunitico.

En el intervalo de temperatura entre 700–850°C, ocurren dos procesos fundamentales: El desprendimiento de los grupos oxidrilos con un máximo entre 670 y 700 °C y la reorganización estructural del olivino, que se verifica entre 800 y 850 °C, con un pico agudo alrededor de 830 °C. A partir de los 750 °C la fase principal presente es la forsterita ($d = 3,88A^0, 2,77 A^0, 2,51 A^0, 2,45 A^0, 2,27 A^0$). Este proceso puede ser explicado mediante la siguiente ecuación de reacción química:

Continuar las investigaciones sobre otros posibles usos de las dunitas serpentinizadas, por ejemplo, en la elaboración de productos refractarios conformables, abrasivos, fundentes, entre otros.

Extender los resultados de esta investigación al estudio de otras manifestaciones de dunitas existentes en el país, para su posible utilización industrial.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Achar, B.N. y otros. Kinetic of solids. Proc. Int. Clay conference. Jerusalem., 1966.
- Coleman, R.G. Petrologic and geophysical nature of serpentines. Geology Society American Bulletin. No. 82. pp: 897-918., 1971.
- Chernosky, J.V., H.W. Day., L.J. Caruso. Equilibria in the system MgO - SiO₂ - H₂O: Experimental determination of the stability of Mg - Anthophyllite. American Mineralogist. Vol. 70. No. 40. pp: 223-236., 1985.
- Cintra, M.V. y J.Pons. Estudio de la preparación mecánica de las dunitas de la región de Moa con vistas a su utilización como material refractario. Informe Técnico. I.S.M.M. Moa., 1996.
- Glasstone, S. Termodinámica para químicos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1977.
- Jeréz, A. y otros. A method for the kinetic analysis of non-isothermal decomposition reactions of solids. Thermochemica Acta. (115). 1985.
- Leyva, C.R., G.N. Muñoz, J.H. Pons, M.A. Salazar. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la región de Moa-Baracoa. III Congreso Internacional de Geología. Ciudad de la Habana., 1998.
- Leyva, R.C., J. Pons. Materias primas minerales de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en la industria del Níquel. Revista Minería y Geología. 13 (1). pp : 73 - 74. 1996.
- Muñoz, G.N. Geoquímica y mineralogía de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa. Cuba. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias geológicas. Moa., 1997.
- Ostrooumov, M.N. Características de la composición química de las cromo espinelas cubanas por el análisis de rayos X. Revista Minería y Geología, Moa. No.1. pp : 31 - 43., 1986.
- Proenza, J.F. Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí - Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias geológicas. Universidad de Barcelona. Barcelona., 1997.
- Proenza, J.F., F. Gervilla, J.C. Melgarejo. Cromititas podiformes refractarias en la transición manto corteza. Propuesta de un modelo genético en el yacimiento Merceditas (cinturón ofiolítico Moa-Baracoa). Bol. Soc. Esp. Min., No. 20-A.. pp : 55 - 56., 1997
- Proenza, J.F., Melgarejo, J.C. y Gervilla, F. Cromititas podiformes del yacimiento Merceditas. Complejo ofiolítico Moa - Baracoa (Cuba). Boletín Geológico y Minero. 1998.
- Pons, H.J. Obtención de productos refractarios para la fundición, a partir de dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zona Merceditas y Amores. Tesis de doctorado. Moa. 2000.
- Pons, H.J., C.R. Leyva. Aplicación de las dunitas serpentinizadas en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología. Moa. Vol. 14. No.1. Moa., 1997.
- Pons, H.J. Aprovechamiento de los escombros de la minería del cromo en zonas de Merceditas y Amores. Taller Internacional de Protección del Medio Ambiente y los Georrecursos, "PROTAMBI 97". Moa., 1997.
- Pons, H.J., N.L. Labory, O.C. Espinosa. Caracterización y empleo de las dunitas serpentinizadas de las zonas de Amores y Miraflores. como arena de moldeo y relleno para pinturas autosecantes. Informe técnico. I.S.M.M. Moa., 1997.
- Pons, H.J., R.C. Estévez. Caracterización y empleo de las dunitas serpentinizadas del yacimiento de cromitas Merceditas como arena de moldeo y relleno para pinturas autosecantes. Informe técnico. I.S.M.M. Moa., 1997.
- Pons, H.J., C.R. Leyva, A.C. Fiol. Características generales de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. (zona Merceditas). Revista Minería y Geología. No.2. Moa., 1998.
- Pons, H.J. Caracterización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Tesis de Maestría. ISMM. Moa. 1999.
- Pons, H.J. Obtención de arenas de fundición (olivino) a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. IX Sesión científica del Centro de Investigaciones de las Lateritas. Moa. 1999.
- Pons, H.J. Obtención de componente refractario para pinturas antiadherentes, a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. IX Sesión científica del Centro de Investigaciones de las Lateritas. Moa. 1999.

- Pons, H.J. Estudio cinético y termodinámico sobre el comportamiento térmico de las dunitas de la región de Moa, durante su calentamiento. IX Sesión científica del Centro de Investigaciones de las Lateritas. Moa. 1999.
- Pons, H.J. Metodología para la obtención de arenas de fundición (olivino) y relleno refractario a partir de las dunitas de la región de Moa. Registro de patente No. 26. 1999.
- Pons, H.J. Metodología para la preparación de mezclas de moldeo y para machos empleando arenas de olivino, obtenidas a partir de las dunitas de la región de Moa. Registro de patente No. 25. 1999.
- Pons, H.J. Metodología para la preparación de pinturas antiadherentes, empleando relleno refractario, obtenido a partir de las dunitas de la región de Moa. Registro de patente No. 27. 1999.
- Puchol, R.Q. Estudio termodinámico de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Informe Técnico. Universidad McGill, Montreal. Canadá. 1999.
- Sestak, J. Thermophysical properties of solids : Their measurements and theoretical thermal analysis. Editorial Academy of Praga. 1984.